C.GENIAL Fondation pour la culture scientifique et technique

PAR SELMA BARADAT, ORIANE BUI, PAUL-ÉTIENNE DE MONTENON ET SAMUEL REVISE, ASSISTÉS PAR CHARLENE THAUVIN, DAN OUIYA, ELLA RICAUD ET MAXIME ZELENKO

ANNÉE 2016-2017

Sciences à l'École

ROCHAMBEAU
THE FRENCH INTERNATIONAL SCHOOL

Le reTour à la Terre

Résumé :

Dans le cadre du développement de l'agriculture urbaine, nous proposons un projet ambitieux d'édifice agricole. Le but de ce concept est de multiplier les surfaces utiles en exploitant la hauteur comme un arbre exploite l'espace.

Notre projet consiste en la conception d'un immeuble dont la structure a été inspirée de celle d'un arbre. Cet immeuble est constitué de sortes de branches-plateformes, supports pour la culture de différentes sortes de végétaux. Cet édifice doit être esthétique et productif dans le respect des principes du développement durable. L'édifice inclut un centre de transformation des récoltes pour la distribution et pour la restauration sur place. Il y a aussi un bassin d'aquaponie alimenté par les eaux de pluie, filtrée. C'est la source de l'eau alimentant les plantes. Enfin, des éoliennes, des panneaux solaires et un système de récupération des eaux de pluie à différents niveaux de la structure la rende autonome. L'eau descendant dans des conduites forcées alimente des turbines.

Avec ce projet, nous répondons à la question : *comment maximiser l'espace utilisable pour l'agriculture en ville tout en limitant la surface utilisée au sol?*

Sommaire:

1. Introduction ……...……. (p. 4)

2. Structure et Technologie …….. (p. 6)

3. Production: Que faire pousser? ……....(p. 8)

4. Le système d'eau: aquaponie …….. (p. 9)

5. Énergie …….…. (p. 17)

6. Conclusion ……. (p. 19)

7. Sources …….. (p. 22)

8. Remerciements …….. (p. 23)

1. Introduction:

De nos jours, le changement climatique est devenu une obsession globale. Ce problème nous est présenté de multiples manières, sans toujours être accompagné par des solutions. Au delà du changement climatique, il existe encore un autre probleme: la diminution de l'eau comme ressource. Ces enjeux déjà problématiques le deviennent encore plus avec l'augmentation de la population mondiale. Ces problèmes nous concernent tous, mais en tant que jeunes, ils nous sont encore plus pertinents. Vivant dans un milieu dans lequel la surabondance alimentaire et consommation des ressources d'énergie sont omniprésentes, nous avons voulu trouver une solution holistique qui ne prend pas uniquement en compte les aspects environnementaux, mais leurs échanges avec la société aussi. Nous nous sommes donc posé comme défi de faire un projet innovant qui prend en compte le développement durable dans le contexte de l'agriculture. Notre projet comprend des éléments préexistants que nous avons rassemblés afin de créer un cycle de permaculture durable.

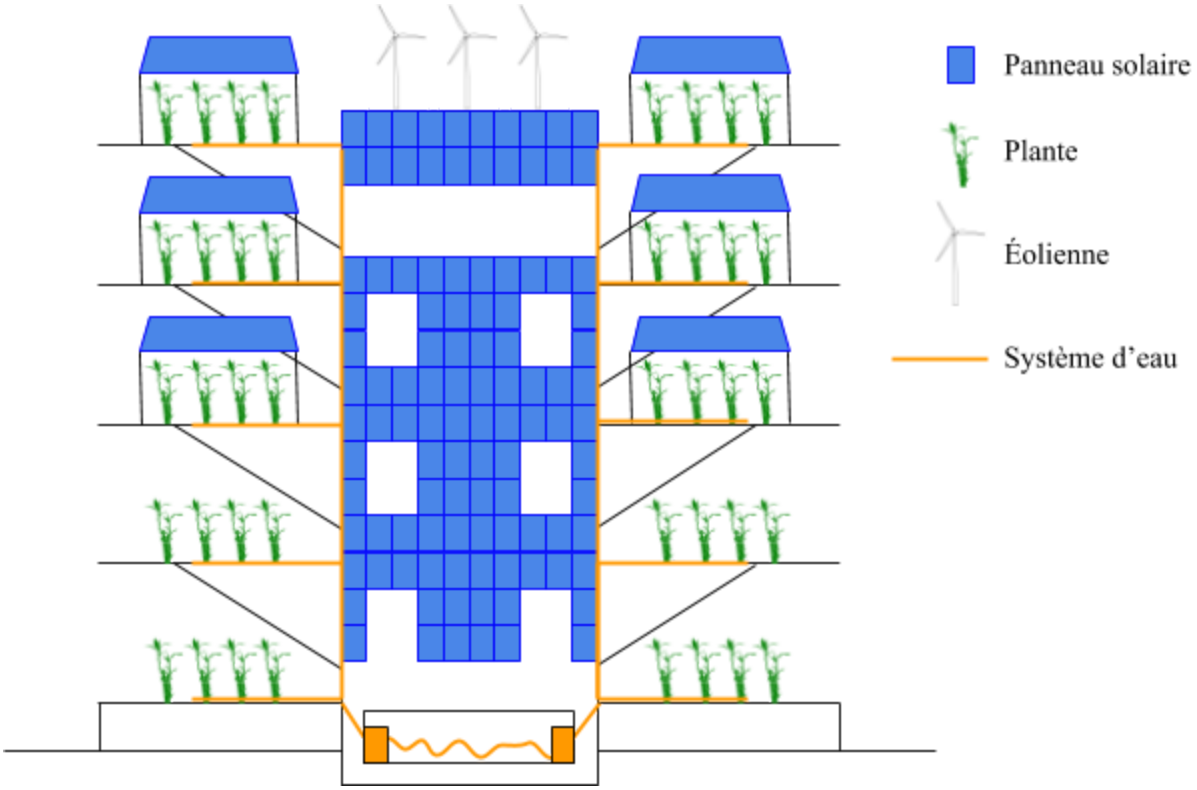
Nous avons fait l'hypothèse qu'il ne suffit pas uniquement de créer une solution, mais de l'incorporer dans la vie des gens afin de la rendre accessible à tous et lui donner une place dans la vie quotidienne.

La permaculture est le développement des agrosystèmes afin qu'ils soient durables et auto-suffisants. Afin de respecter ces piliers, nous avons rassemblé les éléments suivants:

- L'énergie renouvelable
- L'agriculture
- L'architecture
- L'aquaponie
- La communauté locale

L'idée est que cette tour soit similaire à un centre de sport: que les membres de la communauté locale aient un abonnement (une portion de terre) et y consacrent une petite heure régulièrement. Ceci leur permettrait de produire eux-mêmes des produits frais, bios. Cela les aiderait à retrouver une certaine harmonie avec la nature. Cette harmonie a plusieurs bénéfices. Premièrement, elle rend les gens plus sereins et heureux. Deuxièmement, la présence plus inhérente du développement durable dans leur vie les rendrait plus conscients de leurs actions vertes et écologiques. De manière plus globale, la production de nourriture locale diminuerait l'empreinte carbone des produits importés, ce qui diminuerait également la pollution.

Voici un premier schéma de notre projet:

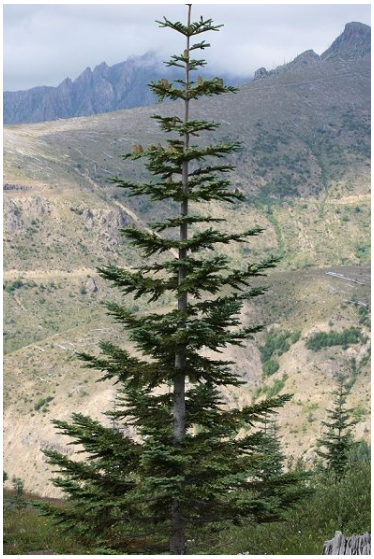


2. Structure et Technologie:

Afin de rester fidèle au thème naturel et d'avoir le plus de rendements, nous avons adopté la structure d'un arbre. Ceci nous permet aussi de mieux orienter nos plateformes-branches pour avoir accès à la lumière naturelle du soleil, telles les branches et feuilles sur un arbre.

Nous avons été inspirés par plusieurs formes:

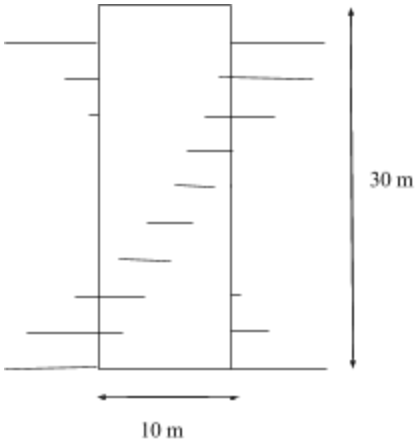
Agave Americana



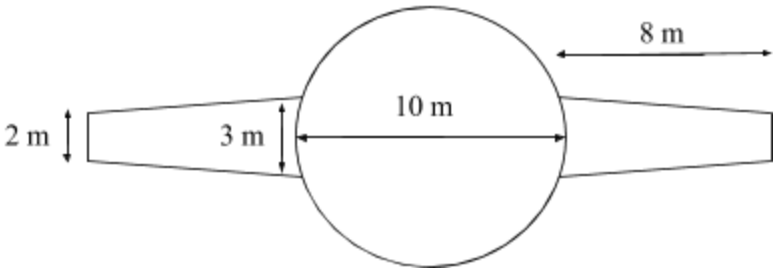
Abies Procera

Araucaria Heterophylla

Après l'étude de ces modèles, nous avons décidé de garder la structure espacée en forme de spirale des branches. Par contre nous n'avons pas adopté la forme de cône des arbres car nous cherchons à maximiser la surface productive des plateformes.



Tour (vue laterale)



Tour (vue haut)

Calculs

Surface exploitable du toit:

- Aire d'un cercle = πr^2
- $= \pi (10)^2$
- $= 100\pi$
- ≈ 314 m^2

Surface exploitable sur une plateforme:

- Aire d'un trapézoïde = $((a + b)/2)h$
- $= ((2+3)/2)8$
- $= 20$ m^2

Surface exploitable sur toutes les plateformes:

- Nombre de plateformes: 20
- Aire totale = (Nombre de plateformes)(aire par plateforme)
- $= (20)(20)$
- $= 400$ m^2

Surface exploitable sur la surface de la tour:

- Circonférence = $2\pi r$
- $= 2\pi (10)$
- $= 20\pi$
- ≈ 63 m
- Aire du côté d'un cylindre = (circonférence)(hauteur)
- $= (63)(30)$
- $= 1890$ m^2

3. Production: comment et quoi faire pousser?

Puisque nous utilisons l'aquaponie pour nourrir les plantes, les seules contraintes impliquées sont que les plantes doivent pousser hors de la terre. Nous avons évalué plusieurs variétés de plantes selon les critères de lumière, eau et climat dont elles ont besoin.

Au delà de la faisabilité de la production, nous avons aussi trouvé que certaines associations de plantes sont plus favorables aux rendements. Notre contact avec une agronome nous a permis d'établir quelques groupes de plantes comestibles qui pourraient être cultivées en tandem sur les plateformes:

Persil → Tomates

Courgettes → Haricots

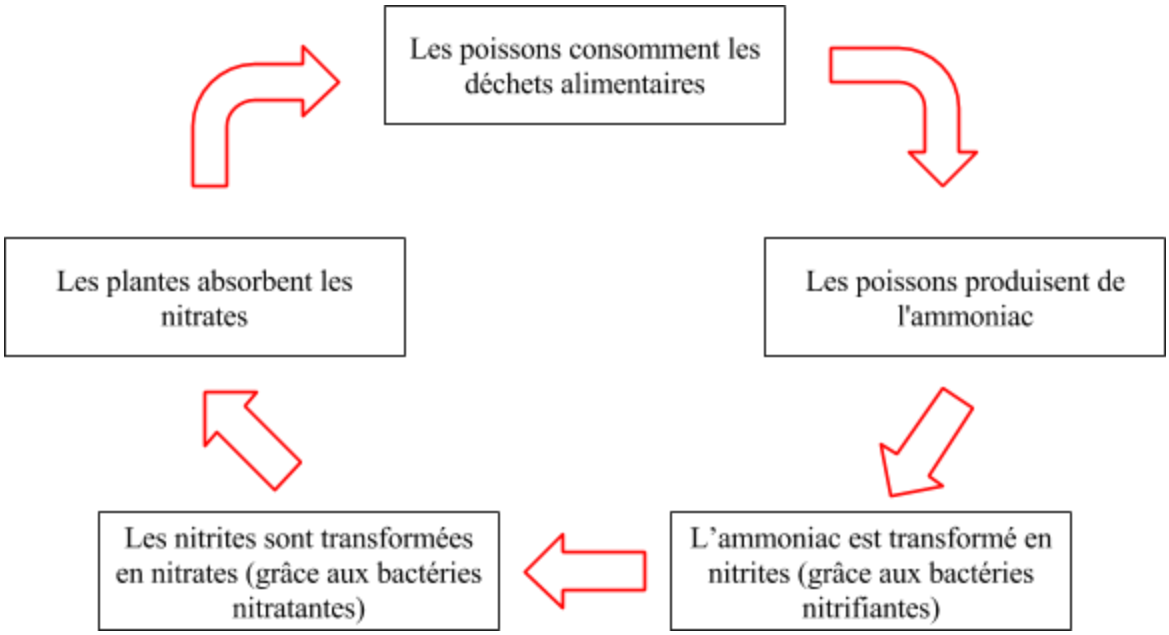
Épinards → Laitue → Poivron

Choux → Menthe → Fraisiers

Le système aquaponique laisse beaucoup de choix en termes de variétés de plantes, ce qui permet aux personnes qui utiliseraient la tour de faire pousser ce qu'ils veulent consommer.

4. Système d'eau: aquaponie

L'aquaponie est un système qui date des Maya, 2000 ans av. JC. Ce moyen d'agriculture est une forme d'aquaculture qui intègre en symbiose la culture de plantes et celle des poissons. Elle fonctionne comme un cycle fermé:



Les avantages de ce système sont nombreux. Premièrement, il permet d'économiser l'eau, un pilier essentiel dans notre thématique du développement durable en vue du changement climatique. Deuxièmement, il est auto-suffisant, ce qui garantit une production avec engagement minimum.

Dans le cas de notre projet, nous cherchons à ajouter une étape à ce cycle: celle de la récolte d'eau de pluie. Ceci nous permet de rester fidèles à notre but d'avoir une tour la plus "verte" possible. Cette eau serait ajoutée au bassin contenant les poissons. Par contre, pour maintenir le fonctionnement du système, il faudrait que cette eau soit de l'eau douce et qu'elle ait un pH qui favorise la pousse des plantes. Nous avons donc mesuré les pH de l'eau de pluie: 5,5. Nous avons aussi pris en compte que celui ci peut varier, et grâce aux recherches, avons trouvé qu'il peut varier entre 4.5 et 8. Ensuite, nous avons effectué une expérience pour déterminer sous quelles conditions les plantes peuvent grandir.

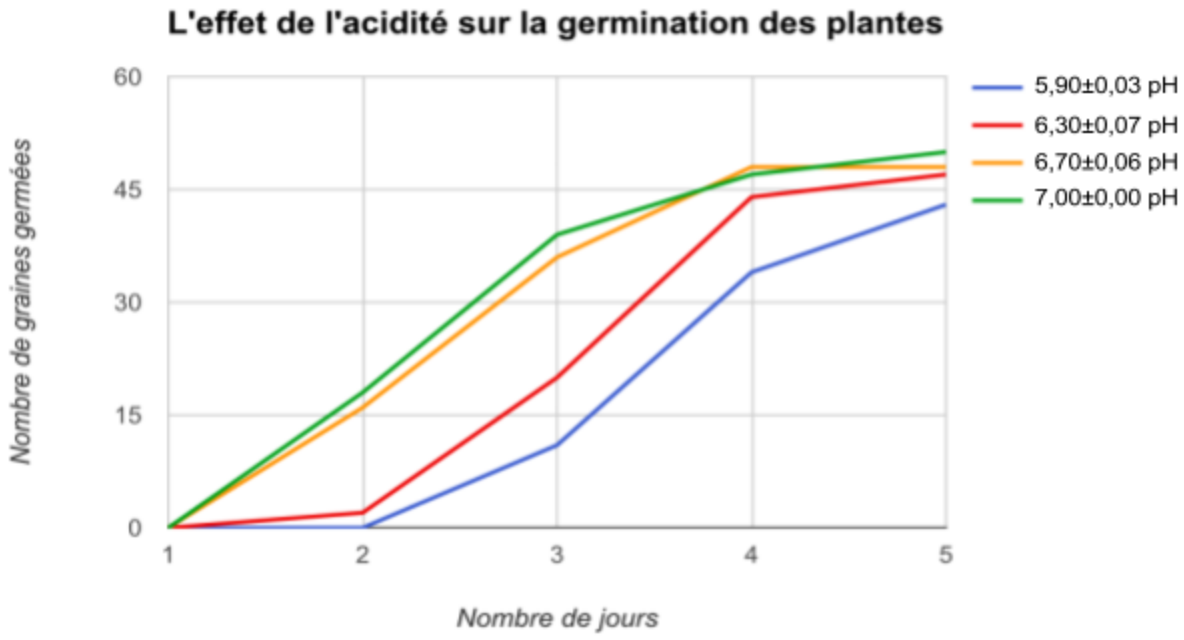
Processus:

Nous avons pris 200 graines de haricot et les avons mises dans quatre boîtes avec le même milieu (sur du coton, en présence de lumière, aéré), 50 dans chacune. Ensuite, nous avons préparé des solutions plus ou moins acides en mélangeant de l'eau distillée avec du vinaigre blanc, afin d'imiter différentes eaux de pluie. Pour vérifier le pH, nous avons utilisé un pH mètre. Nous avons préparé des solutions avec des pH de $5{,}90 \pm 0.03$, $6{,}30 \pm 0.07$, 6.70 ± 0.06 et 7.00 ± 0.00 . Nous avons ensuite arrosé les graines avec ces solutions, 15 mL dans chaque boîte. Pendant 5 jours nous avons arrosé les graines et avons compté le nombre d'entre elles qui avaient germé, en qualifiant un germe par l'apparition d'un radicule à l'hypocotyle. Les résultats que nous avons trouvés sont rassemblés dans le tableau suivant:

Jours apres plantation	Acidité de solution et nombre de graines qui ont germé			
	5.90 ± 0.03 pH	6.30 ± 0.07 pH	6.70 ± 0.06 pH	7.00 ± 0.00 pH
1	0	0	0	0
2	0	2	16	18
3	11	20	36	39
4	34	44	48	47
5	43	47	48	50

**Pour tableaux 1 et 2, le calculateur de pH a donné des valeurs qui fluctuent, donc les incertitudes sont les étendues des valeurs données pour chaque pH divisé par deux.*
**Pour tableaux 1 et 2, comme il y avait 50 graines à compter chaque jour, il y a une incertitude de une graine pour prendre en compte l'erreur humaine possible*

Tableau des résultats



Graphique des résultats

Grâce à cette expérience, nous avons pu conclure que l'acidité a bien un effet sur la germination des plantes et donc nous supposons donc aussi sur leur croissance. Plus la solution est acide, plus le temps que prennent les graines pour germer est long. De plus, leur nombre de graines germées final est moins élevé (le cinquième jour les graines non germées étaient mortes car elles avaient commencé à se

décomposer). Nous avons donc décidé d'utiliser de l'eau avec un pH neutre (7) dans le cycle aquaponique.

Afin d'assurer que l'intégration de l'eau de pluie dans notre système soit efficace, nous avons décidé de la filtrer. Il nous faudrait deux étapes:

1. Le filtrage des bactéries et polluants
2. La régulation du pH

Pour la première, nous avons trouvé un modèle de filtre naturel que nous avons fabriqué nous-mêmes. Il comprend plusieurs parties: du gravier, du sable, et du charbon actif en granulés. Le gravier sert à filtrer les déchets de taille plus importante comme les brindilles. Le sable filtre ensuite les plus petits déchets, et le charbon actif, ayant une structure poreuse, piège les particules impures dans l'eau comme le chlore et des substances organiques grâce au processus de l'adsorption. Ceci est utile car la présence de chlorure dans l'eau peut nuire aux poissons. Or les recherches de l'Université de Carleton montrent que le chlore est présent dans l'eau de pluie des 51 États testés:

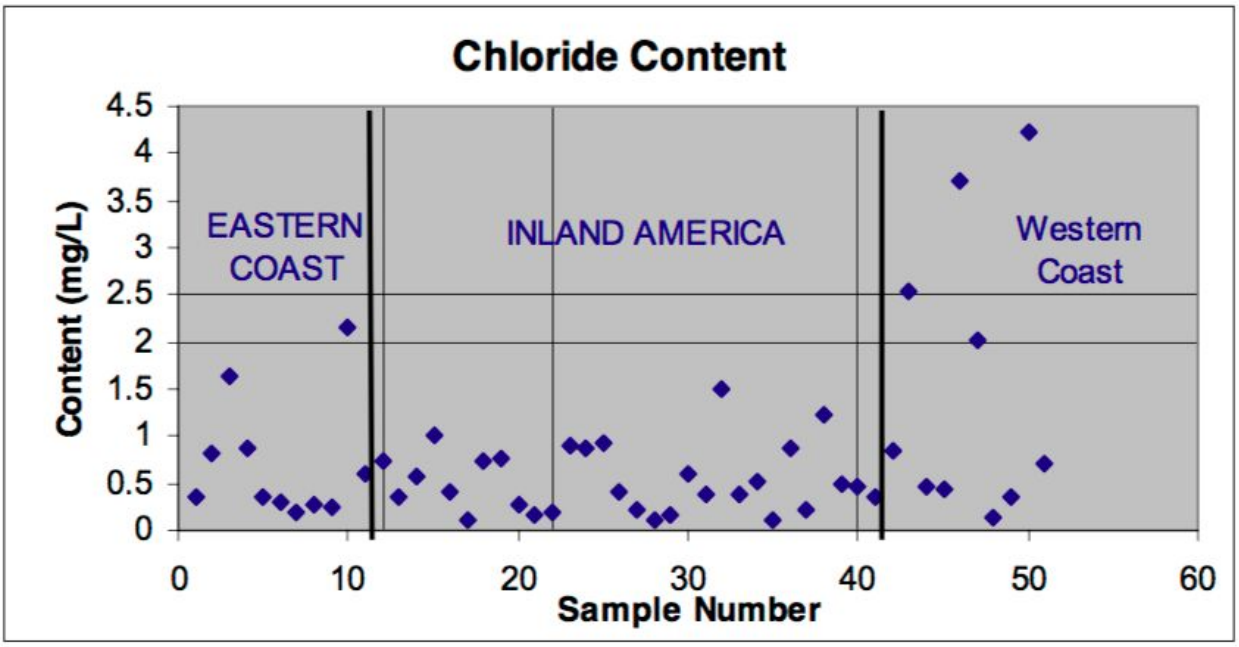
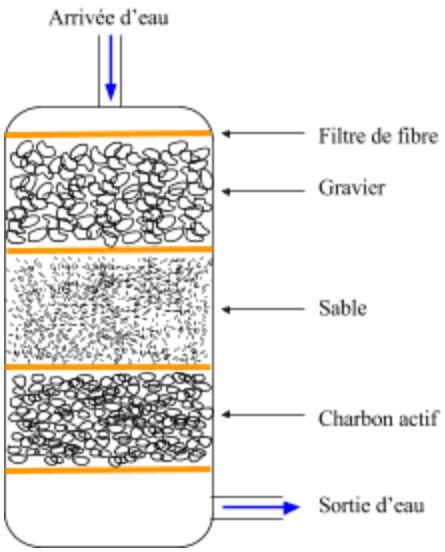


Figure 5. Inland America is defined as West of Pennsylvania and East of Nevada.



Le schéma du filtre naturel

Notre filtre naturel:

Afin de tester la fonctionnalité de ce type de filtre, nous y avons fait passer de l'eau de pluie. Ceci est donc un petit format du filtre qui serait dans la tour. Entre la première photo et la dernière, le changement le plus évident est celui de la couleur de l'eau. Il est évident qu'elle passe de marron clair à complètement transparent, ce qui nous indique que le filtre parvient à éliminer les grosses et moyennes particules tels les brindilles, et le gravier. Ensuite, nous avons voulu tester sa capacité à filtrer les plus petites particules, invisibles à l'oeil nu. Nous nous sommes servis de bandelettes mesurant le pH (de 1 à 14) et le taux de chlore de 0 à 10.

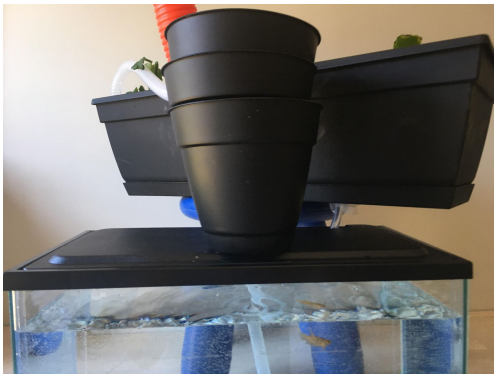
	Eau de pluie	Eau filtrée	Eau des poissons	Eau des plantes
Chlore	1	0	0	0
pH	6	9	7	7

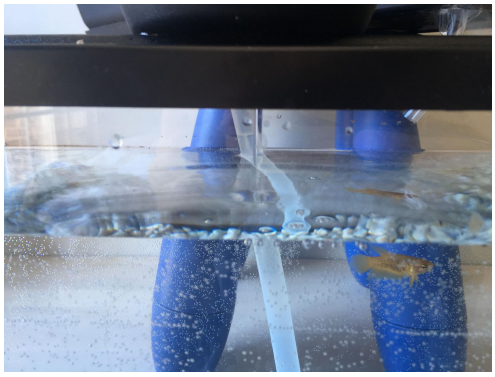
Le Systeme d’aquaponie:

Afin de mieux comprendre le fonctionnement d’un système aquaponique et de sa place dans la tour, nous en avons créé un de petite taille. A l’aide de recherches, nous avons pu nous procurer le matériel nécessaire pour réaliser notre expérience. Ce système a pour but d'être autonome, il a donc fallu que nous trouvions des solutions permettant à l’eau de circuler seule.

1. *Intégrer l’eau filtrée dans l’aquarium*

Pour que l’eau de pluie filtrée entre dans l’aquarium, nous l’avons simplement placée au dessus d’un trou où l’eau coule directement.





2. *Apporter cette eau aux plantes*

L’eau dans l’aquarium sert à nourrir les plantes et doit donc leur parvenir. Pour faire monter l’eau, nous avons utilisé une simple pompe à batteries; en revanche, dans notre projet, l’eau sera montée grâce à des sources d’énergie renouvelables.

3. *Bactéries*

Les poissons produisent de l'ammoniac (*NH3*) et de l'ammonium (*NH4+*). Dans un système aquaponique, il faut que ces excréments soit convertis en nitrites (*NO2-*) puis en nitrates (*NO3-*) car l'ammoniac est nocif pour les poissons tandis que les nitrates favorisent la croissance des plantes. Pour le développement des bactéries nécessaires, il existe deux méthodes:

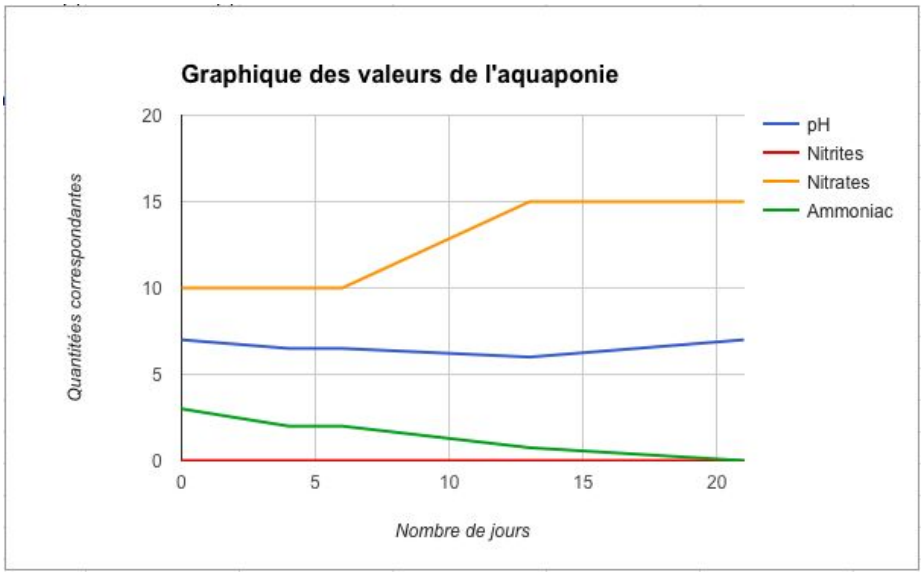
1. La méthode "naturelle": mettre le système en place et attendre que les bactéries se développent naturellement.
2. La méthode "productiviste": utiliser une flore bactérienne préexistante.

Nous avons utilisé la deuxième méthode, soit celle productiviste.

Pour faire proliférer ces bactéries, nous avons utilisé la méthode d'anciens camarades et avons introduit de l'ammonium pour simuler la présence de poissons dans le système. Nous avons utilisé 57 litres d'eau distillée (en mettant de côté le filtre d'eau de pluie afin de garder un niveau constant d'eau dans le système) et 0,285 litres d'ammonium, soit 0,5 mg/L. Puisque nous n'avons pas eu de résultats pour la semaine de vacances (pendant laquelle nous n'avons pu rester pour mesurer les données), nous avons eu la permission de présenter les résultats de nos camarades au fil de 3 semaines:

Jour (numéro)	0	4	6	13	21
pH	7	6,5	6,5	6	7
Nitrites	0	0	0	0	0
Nitrates	10	10	10	15	15
Ammoniac	3	2	2	0,75	0

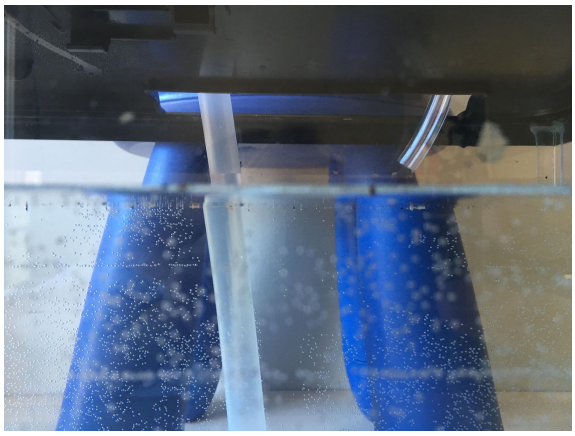
Tableau de valeurs

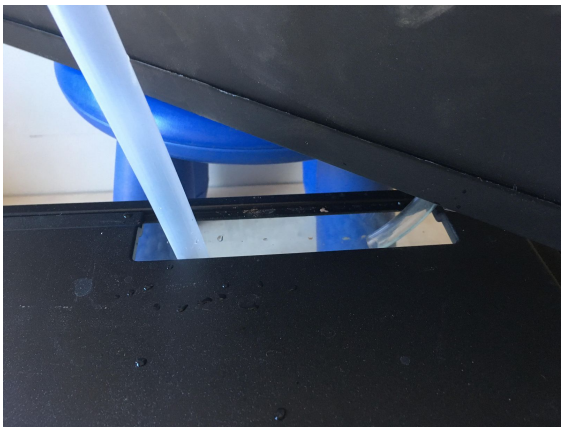


Grâce à ce graphique il est clair qu'au fur et à mesure que les bactéries se développent, le taux d'ammoniac diminue, jusqu'à disparaître et le taux de nitrates augmente. Par contre le taux de nitrites ne change pas (à 0), ce qui laisse penser que l'étape nitrites dans la transformation NH3 en nitrites puis en nitrates est trop brève ou instantanée pour être mesurée. Une autre hypothèse est que la mesure des nitrites n'est pas précise est que ces calculs ne sont donc pas justes. Mais de manière générale, le cycle de l'azote est respecté, ce qui montre que le système aquaponique fonctionne.

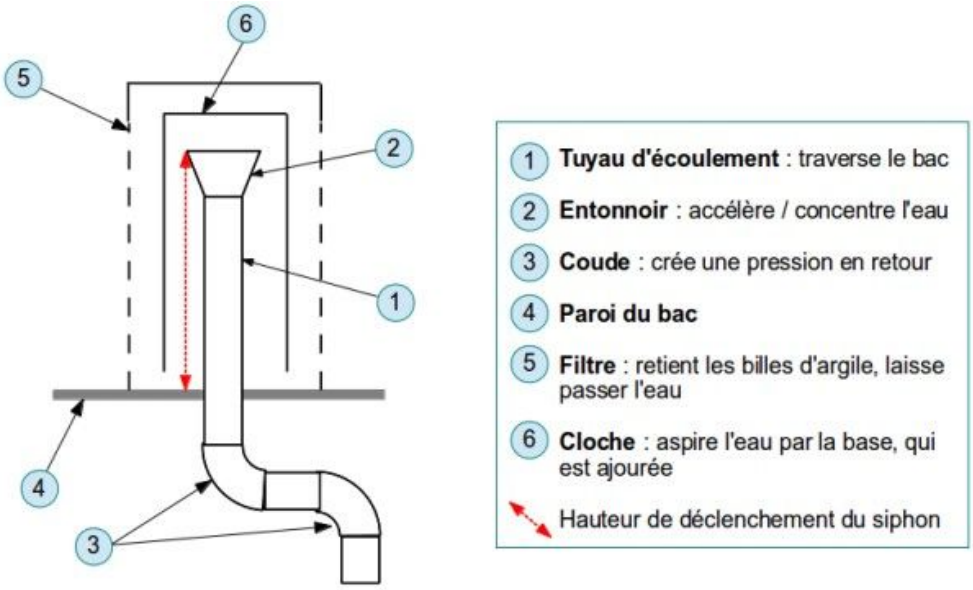
4. *Récupérer l'eau des plantes*

Dans le but de créer un cycle, l'eau des plantes doit retourner chez les poissons. Pour cela, il suffit d'installer un tuyau tourné vers le bas en dessous des plantes, qui absorbe l'eau (avec un filtre pour que la terre ne passe pas), et l'eau descendra naturellement.



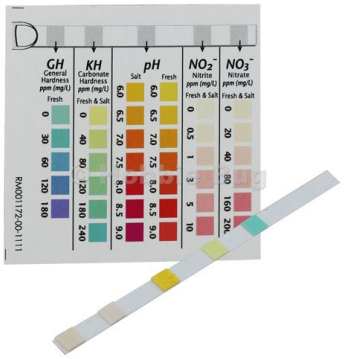


Nous pourrions également tester le système "siphon à cloche" pour faire descendre l'eau et le comparer à notre structure actuelle. Le siphon à cloche ressemble à ceci:



Calculs

Une fois notre système aquaponique installé, nous avons pu examiner l'eau à l'aide de bandes de tests (kit de chromatographie pour aquariums).



Voici un tableau de nos résultats:

	Eau de pluie	Eau filtrée	Eau des poissons	Eau des plantes
Chlore	1	0	0	0
pH	6	9	7	7
Nitrate	10	10	15	10
Nitrite	0	0	0	0

- PH: D'après ces résultats, il est clair que les bactéries aident à maintenir un certain équilibre en terme de transformation d'ammoniac et de nitrates, qui influence le pH. Nous avons fait l'hypothèse que celle-ci régule en partie le pH et le garde entre 6 et 8 dans le système aquaponique, une marge favorable à la croissance des plantes. Nous n'allons donc pas introduire un deuxième filtre pour changer le pH de l'eau.
- Contrôle niveau d'eau: Nous nous sommes aussi aperçus qu'il nous fallait mettre en place un système de régulateur d'eau au cas où il y aurait de trop hauts niveaux d'eau de pluie. Ce système sera mis en place dans le bassin-piscine des poissons. Si le niveau d'eau dépasse une certaine limite, l'excès sera transféré dans un réservoir, afin de ne pas la gaspiller.

Dans la tour réelle, il est évident que nous envisageons un système aquaponique adapté à son échelle et sa structure propre. De plus, il serait nécessaire d'utiliser des poissons produisant des plus grandes quantités de nitrates tel les tilapias ou les kois. Nous n'avons pas pu obtenir de tels poissons. Ces espèces sont aussi adaptées car elles grandissent vite et sont consommables. Surtout, le système serait plus grand: plus d'eau et de poissons pour plus de plantes; par ailleurs, le projet serait de plus longue durée ce qui améliorera encore les résultats.

5. Energie:

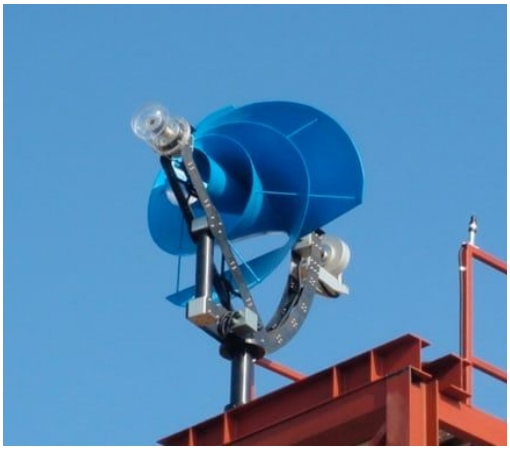
L'énergie est une partie importante de notre projet. Nous aurons besoin d'une quantité importante pour faire fonctionner toute la tour afin de respecter au plus le thème de l'écologie. Cette démarche permettra de limiter l'émission de CO2 par la tour. Nous alimenterons notre immeuble à partir d'éoliennes, de panneaux solaires et de turbines hydroélectriques.

Les éoliennes

L'utilisation de ces machines n'est pas souvent pratiqué sur les toits des immeubles car elles font du bruit et des vibrations, ce qui n'est pas idéal pour une résidence mais pas problématique pour une tour dans laquelle il n'y a pas d'habitants.

Nous utiliserons des "Liam F1 Urban Wind Turbine" par le Néerlandais Marinus Mieremet car elles sont petites (1,5 m de largeur) et légères (75 kg), et peuvent s'orienter selon les différentes provenances du vent. De plus, elles peuvent fonctionner avec peu de vent, ce qui donne plus de flexibilité pour les choix d'emplacements de la tour possibles (des zones plus ou moins venteuses).

Ces engins peuvent produire 1500 kW/ans avec des vents de 5 m/s chaqu'une.



Les panneaux solaires photovoltaïques

Nous utiliserons des panneaux solaires de deux manières différentes:

1. Sur les murs de la tour face sud (avec inclinaison possible, dans des zones ensoleillées, pas directement sous les plateformes)
2. Sur une partie des toits des serres (afin de ne pas complètement bloquer la lumière du soleil et pour que les plantes aient accès à celle-ci)

Les calculs d'énergie dépendent de l'efficacité des panneaux, des nombres d'heures de soleil par jour, et de la température ambiante.

En Suède par exemple, il y a une production de 1 100 kWh par m^2 par an au minimum.

Si nous prenons donc l'exemple de la Suède et comptons la surface exploitable sur la tour grâce aux calculs faits dans le chapitre 2:

20 m^2 par platforme => 4 m^2 exploitables (car nous ne prenons que la moitié du toit d'une serre)
20(0,7)x4 (0,7 car il faut prendre en compte le mouvement du Soleil)
56 m^2

1 890 m^2 de surface
1 890 x0.7 = 1323 (0,7 car il faut prendre en compte le mouvement du Soleil)
1 323 - 14(6x3) (6x3 ou 18 m^2 est la surface à l'ombre à cause des 14 plateformes impliquées)
1 323 - 252
1 071 m^2

Total m^2: 56 + 1071 = 1 127 m^2
Total énergie: 1 127 x 1 100 = 1 239 700 kWh/an

Les turbines hydroélectriques
Nous utiliserons 4 petites centrales hydroélectriques dans les conduites redescendant l'eau de pluie vers les bassins. Puisque l'aquaponie est un cycle, le mouvement d'eau est continu et il suffit de le canaliser afin d'avoir plus de puissance en descente.
Elles produisent 1000 W de puissance chacune avec une chute de minimum 3 m et un débit d'eau de minimum 70 L/s, soit 24000 Wh; soit 24 kWh; soit 8760 kWh/an.
8760 x4

Total énergie: 35,040 kWh/an

Puisque nous ne connaissons pas exactement la quantité nécessaire pour alimenter la totalité de la tour, nous ne pouvons calculer le pourcentage d'énergie renouvelable dans celle-ci. Mais nous pouvons estimer que dans un pays comme la Suède, la tour produirait approximativement 1 274 740 kWh/an, ce qui est une énorme quantité.
L'énergie produite sera utilisée pour alimenter les ascenseurs (dans une tour à 10 étages, ils sont nécessaires), l'éclairage, les pompes à eau, les chaudières, l'eau courante et la climatisation du bâtiment.

6. Conclusion:

Nous avons réussi à planifier et tester le fonctionnement de notre tour verte. Grâce au regroupement des multiples aspects du développement durable, notamment ceux de l'écologie, l'agronomie, l'énergie renouvelable, l'aquaponie, et la participation de la communauté, nous avons créé un édifice d'architecture moderne qui parviendrait à réduire la pollution d'une communauté.

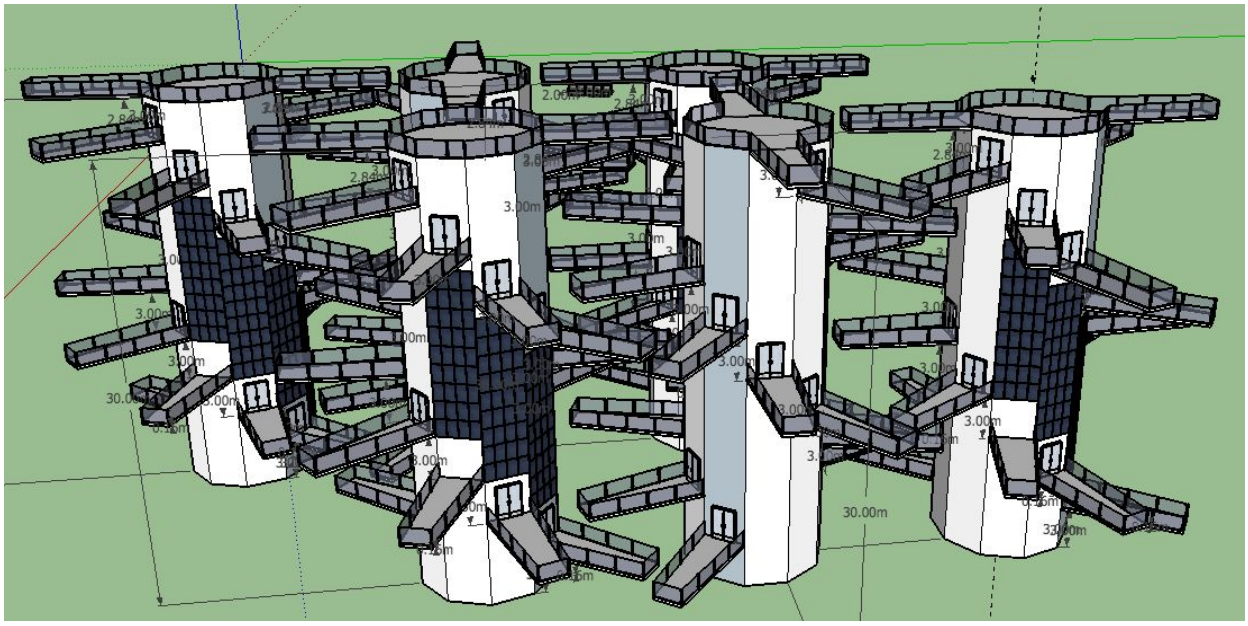
Nous pensons que notre projet est innovant car il allie l'architecture végétale, l'urbanisation (architecture et socio-économie), l'agriculture biologique urbaine, la gestion de l'eau, les énergies renouvelables et l'économie circulaire. Nous sommes dans le cadre de la transition écologique.

Nous nous sommes focalisés sur la production locale, ce qui permet de réduire les kilomètres et donc les carburants nécessaires au transport de nourriture.

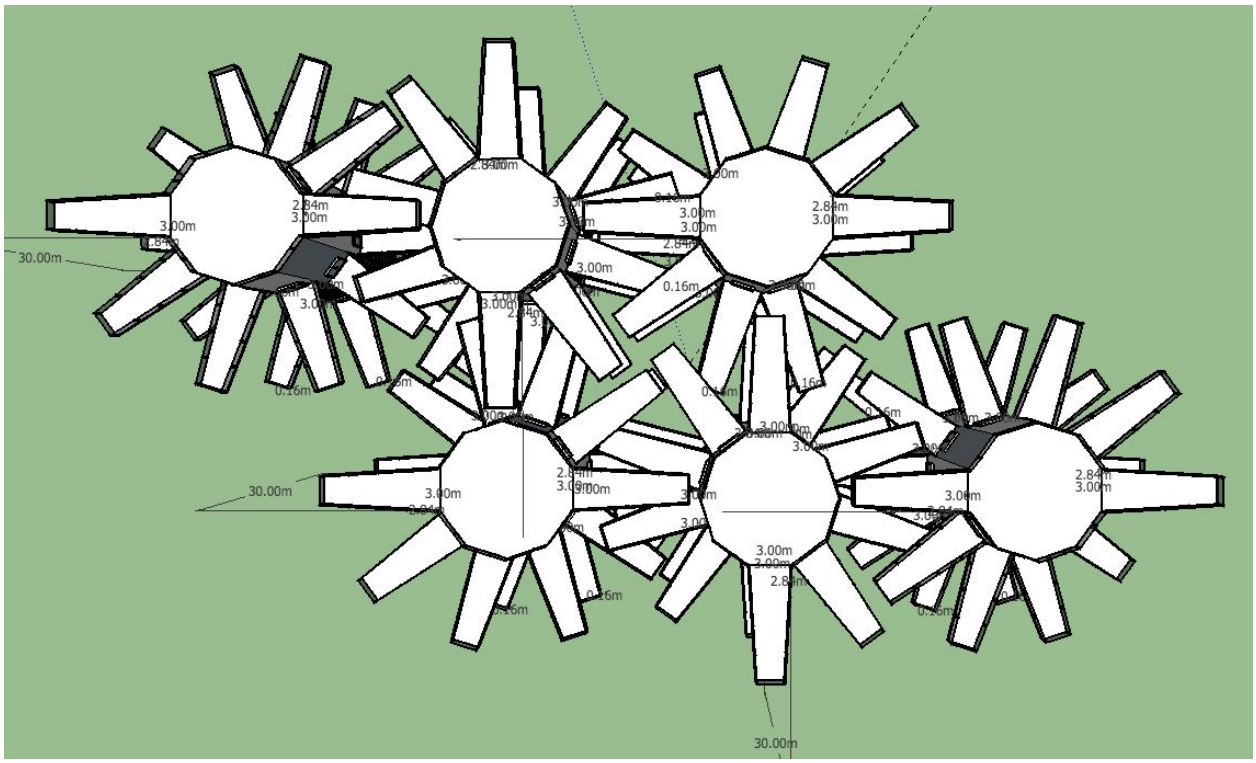
Nous avons donc répondu à notre problématique originale de "*comment maximiser l'espace utilisable pour l'agriculture en ville tout en limitant la surface utilisée au sol,*".

L'architecture de la tour comme celle d'un arbre permet la création d'une "forêt". Pour une production plus importante, il suffit de positionner les tours, de façon à superposer les branches-plateformes, tournées à 90 degrés les unes par rapport aux autres. Les doubles spirales se complémentent et permettent de réduire l'espace au sol et donc de maximiser la production. Afin d'assurer la production des plantes malgré l'augmentation de l'ombre, il serait possible de mettre en place des éclairages artificiels de type agronomique.

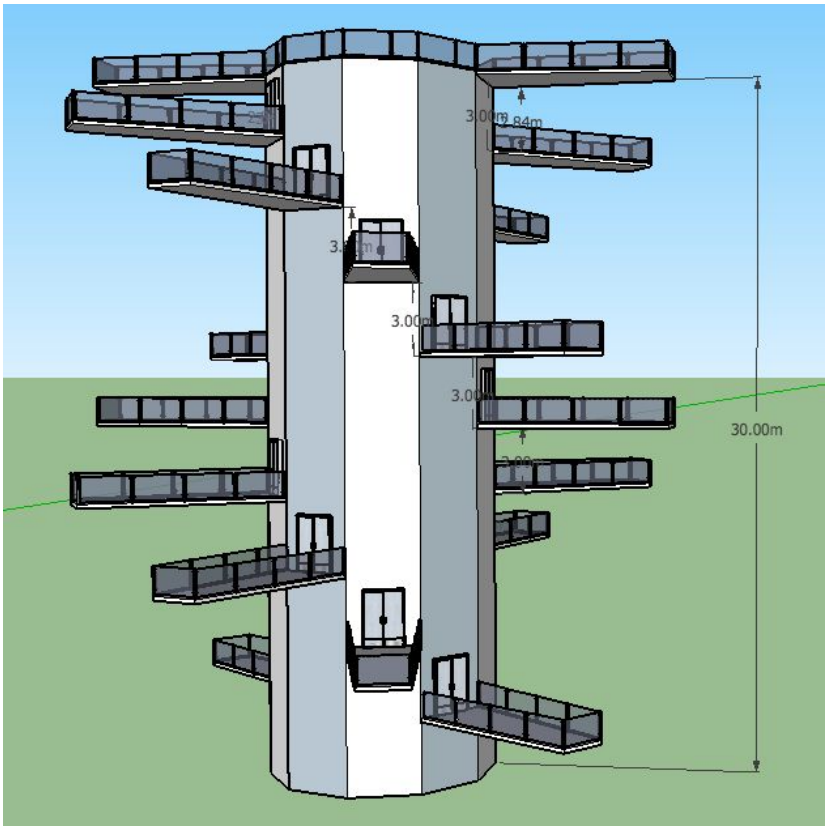
Ci-dessous se trouve un exemple de cette forêt productrice qui maximalise l'espace utilisable pour l'agriculture en ville tout en limitant la surface utilisée au sol:



Vue du haut:



Voici un dernier schéma du projet “ReTOUR à la Terre” réalisé à partir du programme sketchup:



7. Sources et Partenaires:

Sources:

http://www.people.carleton.edu/~bhaileab/EnvironmentalGeology/RainWater.pdf

https://www.teqoya.fr/blog/purification-air-filtres-charbon-actif-efficacite-polluants/

https://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/installations/panneaux-solaires-photovoltaiques

http://www.energiedouce.com/hydro-turbine/91-micro-turbine-hydro-electrique-a-helice-220-volts-1000-watts-basses-eaux-3700908502527.html

http://www.safewater.org/PDFS/resourcesknowthefacts/Acid_Rain.pdf

https://www.agropolis.fr/pdf/publications/dossier-agronomie.pdf

Images:

http://nathistoc.bio.uci.edu/Plants%20of%20Upper%20Newport%20Bay%20(Robert%20De%20Ruff)/Liliaceae/Agave%20americana.htm

http://www.nwplants.com/business/catalog/abi_pro.html

https://selectree.calpoly.edu/tree-detail/araucaria-heterophylla

http://blog.risebox.co/prototype-risebox-amelioration-du-siphon/

http://newatlas.com/the-archimedes-liam-f1-urban-wind-turbine/32263/

http://energies-renouvelables.consoneo.com/actualite/2012-06-06/l-une-des-plus-grandes-serres-solaires-europe-equipe-solaire/12615/

http://www.cleanri.com/post_api-saltwater-test-color-chart_234649/

Partenaires:

- Pentair Pool
- Agronome de SupAgro: Aurelie Metay

8.Remerciements:

- Merci à notre professeur de SVT, monsieur Roux, qui nous a encouragés à nous inscrire à ce concours et nous a soutenus pendant ces mois.

- Merci à tous les professeurs de sciences qui nous ont laissé continuer des manipulations pendant leurs cours et qui nous ont toujours laissé utiliser l'eau distillée dans la salle des professeurs.

- Merci à tous ceux qui ont cru en notre projet si ambitieux.

- Merci aux créateurs du film “Demain” qui nous a fortement marqué et inspiré.

- Merci à nos parents, qui nous ont soutenus moralement.

- Merci à tous les professionnels: agronomes, chercheurs, vendeurs qui ont accepté de répondre à nos nombreuses questions.

- Merci à la fondation Science à l’école pour avoir financé ce projet.