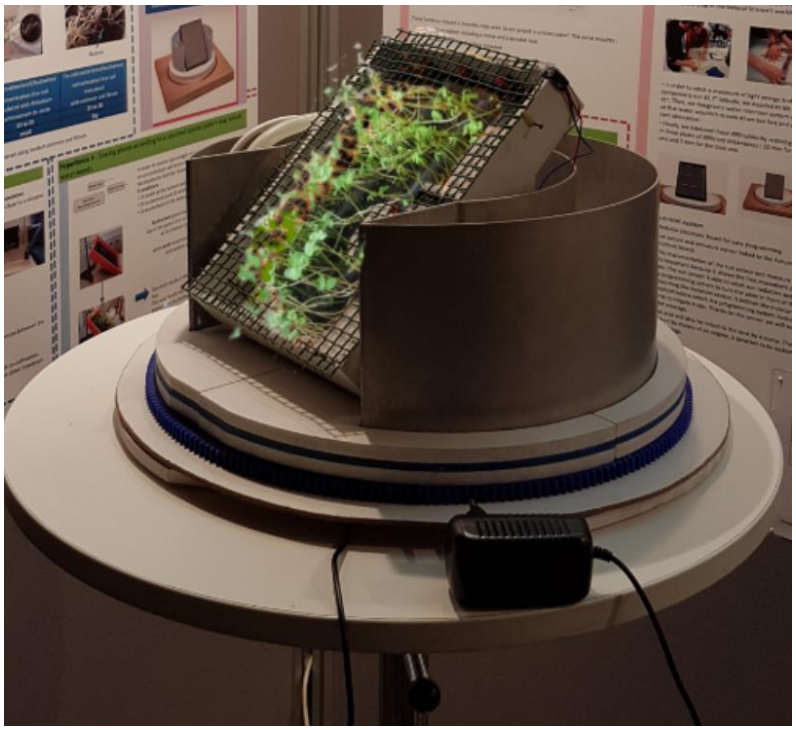
Meteogyre

Un système de culture hors sol automatisé permettant de gérer au maximum L'APPORT EN EAU nécessaire à la croissance végétale en s'adaptant aux conditions météorologiques



Sciences à l'École

FONDATION CGENIAL

Atelier scientifique
Lycée René Descartes
Saint Genis Laval 69

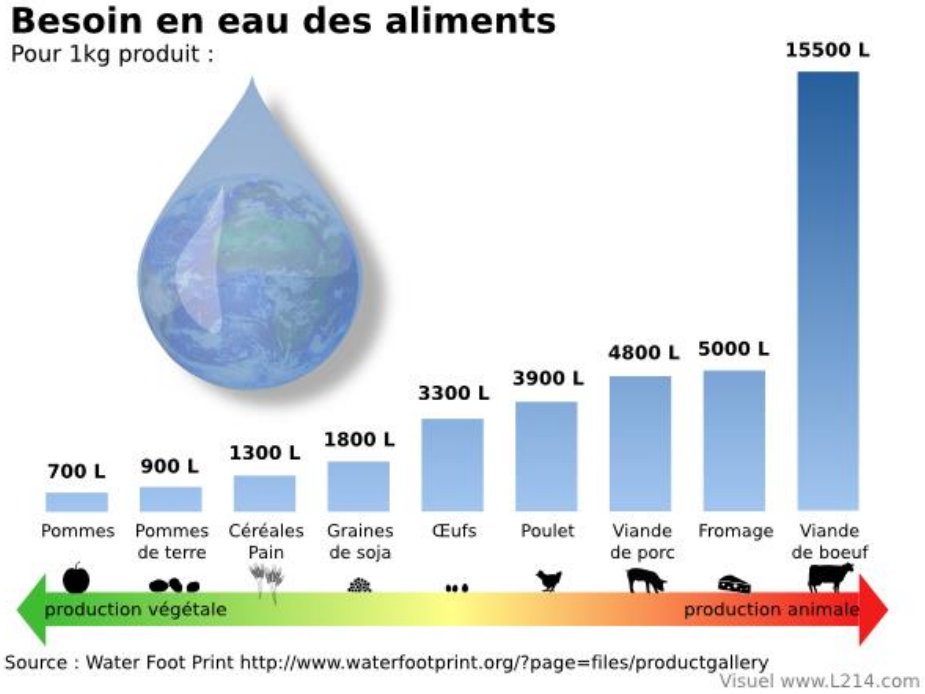
Lorsque l'on observe le compteur présenté sur cette page Web http://www.worldometers.info/fr/population-mondiale/ qui fournit une estimation de l'accroissement de la population mondiale, nous sommes en mesure de nous interroger sur l'alimentation des 10 voire 15 milliards d'humains sur Terre en 2100.
Un des enjeux pour la science du XXIème siècle sera donc de participer à l'amélioration quantitative et qualitative de la production agricole alimentaire.
D'un autre côté des solutions technologiques innovantes et performantes sont maintenant envisageables grâce aux progrès de la technique.

Comment pouvons-nous créer une culture hors-sol qui optimiserait la qualité nutritionnelle en se substituant à une alimentation carnée consommatrice d'eau mais qui optimiserait aussi l'apport hydrique en s'adaptant aux conditions météorologiques ?

Nous sommes une dizaine d'élèves en filière scientifique mais de spécialité différentes : "Sciences de la Vie et de la Terre" et "Sciences de l'Ingénieur". Nous avons donc choisi une problématique permettant de travailler sur nos spécialités respectives tout en mettant en commun nos résultats pour la résoudre.
Nous allons vous présenter ci-dessous nos démarches respectives et nos mises en commun.
Nous avons commencé cet atelier en septembre 2016 et continuons de l'achever cette année.

Recherche de la culture idéale permettant de fournir tous les acides aminés nécessaires dont ceux apportés par l'alimentation carnée

Comme nous l'avons précisé en introduction, nous souhaitons créer la culture idéale permettant de se substituer à une alimentation carnée qui, comme le montre le document ci-dessous est trop consommatrice d'eau.



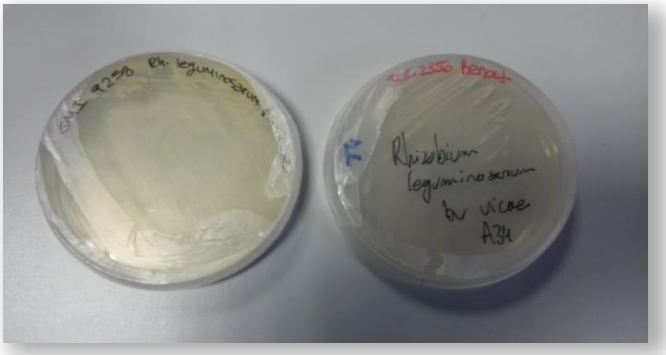
Un cahier *"spécial INRA"* du magazine *"Sciences et Avenir" de novembre 2016,* nous a permis de voir que **les légumineuses** sont fortement étudiées aujourd'hui pour leurs qualités nutritionnelles (et leur impact positif sur l'effet de serre).
Mais pour assurer l'apport de tous les acides aminés nécessaires, il faut obligatoirement associer ces légumineuses à **des céréales.**
Nos recherches nous ont menées vers une publication de l'INRA : *"Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse"* qui nous a permis de comprendre **l'intérêt de cette association sur le plan nutritionnel mais aussi au sein des cultures** (voir **(1)**).

Pour plus de facilité dans notre culture nous avons choisi :

- **La lentille** comme légumineuse
- **Le sarrasin** comme "pseudo - céréale" intéressante par son apport nutritionnel mais aussi par sa taille finale et ses conditions de cultures proches de celle de la lentille

La lecture de l'article de l'INRA nous a fait découvrir **la symbiose des légumineuses** et son intérêt dans la croissance de la plante mais aussi dans l'approvisionnement naturel des sols en azote lors de la saison suivante.

Nous avons aussi appris que **(1)** *"grâce à son système racinaire plus profond et à sa croissance plus rapide, la céréale est plus compétitive que la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol, « forçant » la légumineuse à dépendre davantage de l'azote atmosphérique pour sa nutrition azotée au moyen de la fixation symbiotique. Cette complémentarité de niche entre les deux espèces associées pour l'utilisation de ces deux sources d'azote explique en grande partie les performances généralement supérieures observées pour les associations par rapport aux cultures monospécifiques"*

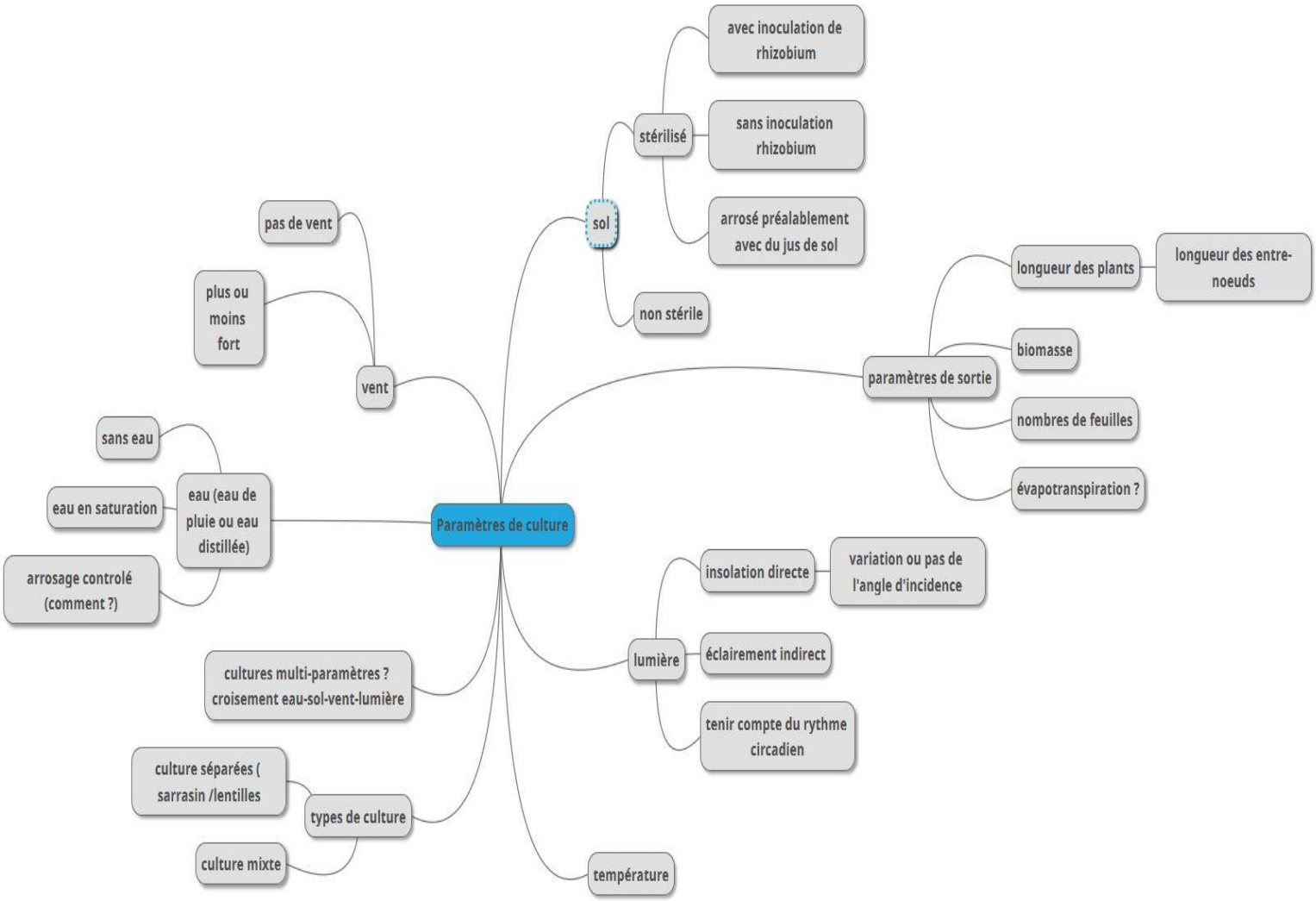


Nous avons pris contact avec M. Benoit Lefebvre de l'INRA Toulouse qui nous a gracieusement fourni des souches bactériennes *"Rhizobium leguminosarum bv viciae "* spécifiques à la lentille du Puy pour nos expériences.

Afin de pouvoir réutiliser les souches bactériennes, nous les avons **multipliées** dans un milieu spécifique *(0.5% Tryptone, 0.3% Yeast extract, 1.5% gelose pH 7.0)* puis nous les avons **stockées dans du glycérol et congelées dans des tubes Eppendorf** .
Cela nous a permis de découvrir l'expérimentation en milieu stérile.

Hypothèses de travail, expérimentations et perspectives

Voici sur la carte mentale ci-dessous l'ensemble des expériences que nous souhaitons réaliser



Voici les diverses hypothèses formulées lors de l'avancée de notre projet :

Hypothèse n°1 : L'apport de bactéries Rhizobium permet d'augmenter le nombre de nodosités et augmente **la production végétale** en évitant **les engrais azotés néfastes aux nappes phréatiques**

Hypothèse n°2 : Un ensoleillement direct permet d'optimiser **la croissance d'un végétal cultivé**

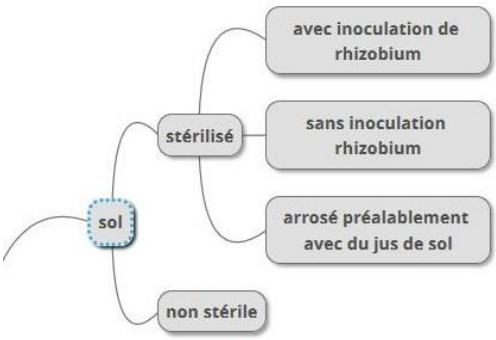
Hypothèse n°3 : Une bonne organisation spatiale des plantes sur notre support **permet de gérer leurs besoins hydriques**

Hypothèse n°4 : Une bonne protection du vent permet d'optimiser la croissance d'un végétal cultivé tout en **gérant son hydratation**

Hypothèse n°5 : **Un apport en eau de pluie** continu suffit à lui seul à une production de qualité

Hypothèse n°1 : L'apport de bactéries Rhizobium permet d'augmenter le nombre de nodosités et augmente la production tout en limitant l'apport d'engrais azoté néfaste pour les nappes phréatiques

Expérimentations



Nous avons réalisé plusieurs milieux de culture :

- ❑ Terre stérile
- ❑ Terre stérile préalablement arrosée par du jus extrait de terre (susceptible de contenir naturellement des bactéries Rhizobium)
- ❑ Terre stérile avec inoculation de bactéries Rhizobium (préalablement mises en culture 24h dans une solution nutritive)

Pour chaque condition nous avons réalisé des godets de
- 20 graines de sarrasin seul
- 20 graines de lentilles seules
- 10 graines de sarrasin et 10 graines de lentille

Résultats

Voici nos résultats 3 semaines après mise en culture

Terre stérile + bactéries Rhizobium

Terre stérile + jus de Terre

Terre stérile

Analyse des résultats et perspectives

Nous avions décidé de ne pas sacrifier nos cultures pour les mesures avant les vacances de février 2017 afin de prolonger l'expérimentation au-delà car nous avions estimé que le délai d'expérimentation de 3 semaines était encore trop court pour une quelconque évaluation car les plantes venaient juste de sortir des réserves de leur graine.

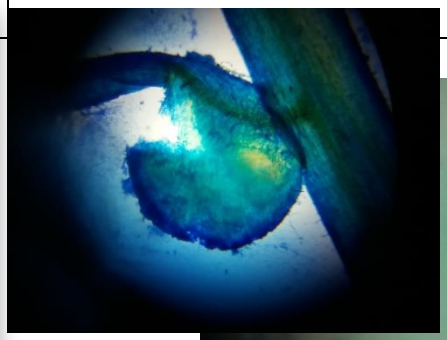
Durant les vacances, nous avions arrosé abondamment les cultures et à notre retour, nous avons pu constater que les plants de sarrasin n'ont pas aimé l'excès d'eau et ont en partie pourri (présence de moisissures) tandis que les plants de lentille ont bien supporté l'excès d'eau mais en revanche ont mal supporté le déficit d'eau qu'ils ont pu avoir dans une autre cuvette.
Bilan : Les lentilles n'aiment pas le déficit d'eau mais supportent l'excès
Le sarrasin n'aime pas l'excès d'eau mais supporte bien le déficit hydrique.
Nous avons décidé de nous servir de ses résultats pour travailler sur **notre hypothèse 3**

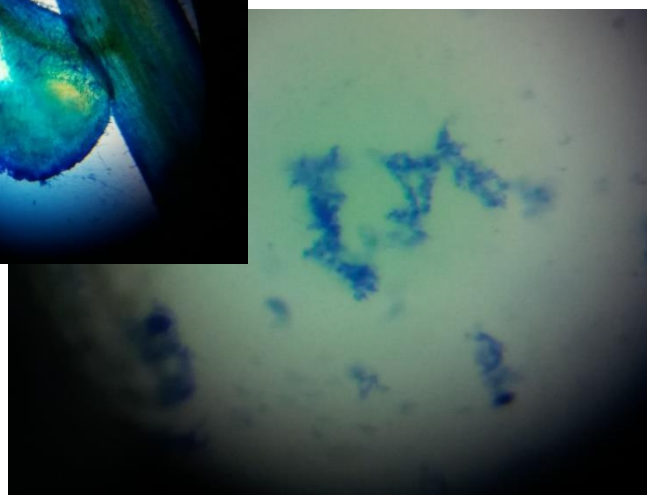
À notre retour de vacances, nous avons observé la taille de nos plants et recherché la présence de nodosités sur les racines

Nous avons tenté d'écraser une nodosité afin d'observer les bactéries.

Voici nos observations microscopiques. Nous avons observé des structures pouvant correspondre aux bactéries préalablement observées avant l'inoculation mais nos microscopes étant limités à un grossissement de 400 nous ne sommes pas sûrs de nos conclusions.

Observation microscopique des bactéries Rhizobium avant inoculation (x400)	Observation d'une nodosité écrasée entre lame et lamelle (x400)





Voici nos résultats de comptage de nodosités

	Culture Mixte Sol stérile + Inoculation de bactéries Rhizobium	Culture mixte Sol stérile + solution extraite d'un sol extérieur
Nombre de nodosité	**Environ 15 -20**	**Environ 15 -20**
Taille des nodosités	**petites**	**Grosses**

De cette expérience nous pouvons constater **que l'apport de bactérie peut se faire à moindre coût, tout simplement en apportant à notre terreau du filtrat de sol extérieur.**

L'intérêt de l'apport de rhizobium par une solution extraite d'un sol permet ainsi la croissance optimale de la lentille mais devrait surtout d'enrichir le sol en azote l'année suivante pour la céréale.
Ainsi la production végétale sera augmentée mais surtout l'apport d'engrais azoté sera supprimé. Ceci permettra de créer une culture propre et de protéger les nappes phréatiques polluées par ces nitrates

Expérimentations 2018

Nous avons donc voulu tester, cette année, le bénéfice des nodosités sur l'apport en nitrate dans le sol de culture lorsque la plante meure et que ses racines se désagrègent pour démontrer que la présence de nodosité est aussi utile à l'instant présent pour les plantes que pour la culture suivante lorsque ces dernières meurent.

Pour cela, **nous avons cultivé des lentilles et sarrasin sur différents milieux de culture** (vermiculite, terre, terre ensemencée par des bactéries Rhizobium)

Après 4 semaines de culture, **nous avons mis nos cultures à l'étuve afin que les bactéries existantes dans le sol meurent pour ne pas fausser nos tests de nitrates**. En effet, nous avons lu que des bactéries dénitrifiantes prolifèrent dans les sols mal irrigué comme ont pu l'être nos godets de culture.

Puis nous avons réhydraté nos culture et testé la présence d'ions nitrate (NO3-) et nitrite (NO2-) à l'aide de bandelettes tests.
Voici nos résultats.

	Teneur en ions (mg/L) **t=0**		**TEMOIN-Test-eau seule** = taux de prélèvement des NO3- par les cultures	**Témoin-Test-eau seule** = taux de prélèvement NO2 par les cultures	Teneur en ions (mg/L) **t=10 jours**	
	NO3-	**NO2-**			**NO3-**	**NO2-**
eau du robinet seule	15	0			15	0
vermiculite + eau robinet = TEMOIN Vermiculite	**250**	0			**300**	30
Terre + eau robinet = TEMOIN Terre	**200**	0			**0**	0
Terre + Rhizobium + eau robinet = TEMOIN Terre + Rhizobium	**200**	0			**0**	0
10 g sarrasin + vermiculite + eau robinet	200	0	35		0	0
10 g sarrasin+ Terre + eau robinet	50	0	135		0	0
10g sarrasin +Terre + Rhizobium + eau robinet	70	0	115		0	
5g lentilles + vermiculite + eau robinet	250	10	-15	**-10**	0	0
5g lentilles+ Terre + eau robinet	25	0	160		0	0
5g lentilles+Terre + Rhizobium + eau robinet	100	0	85		0	0
10g lentilles + vermiculite + eau robinet	100	10	135	**-10**	0	0
10g lentilles+ Terre + eau robinet	25	0	160		0	0
10g lentilles+Terre + Rhizobium + eau robinet	25	0	160		0	0

- Concernant les tests NO3- :

Les analyses montreraient que les cultures ont prélevé des nitrates dans le sol. Les lentilles prélèveraient plus de nitrates que le sarrasin et en quantité plus importante si le nombre de plants est doublé.

En revanche, nous ne notons aucun apport de NO3- par les nodosités des lentilles.

Nos premières expériences ne sont pas concluantes sur l'apport en NO3- que les nodosités sont susceptibles d'apporter au sol. Nous n'avons pas pu cultiver nos plants au-delà de 4 semaines car ces derniers ont commencé à dépérir dans les godets (cause ?). **On peut donc supposer que les nodosités ont à peine commencé à être effectives ce qui peut expliquer nos valeurs.**

- Néanmoins ces expériences nous ont montré que contrairement à ce que nous pensions, la vermiculite n'est pas un support si neutre vis-à-vis des nitrates et nitrites et que ce support apporte plus de nitrates NO3 - dans l'eau que la terre. On a pu noter aussi que cette libération augmente avec le temps de trempage.

Cette observation est totalement contradictoire avec la formule chimique de la vermiculite qui ne contient pas d'atome d'azote (Mg,Ca)0,7(Mg,Fe,Al)6(Al,Si)8O22(OH)4.8H2O . Cela remet donc en doute la fiabilité des bandelettes test pour nos expérimentations.

Concernant les tests NO2- :

Nos tests ont montré que les lentilles cultivées dans de la vermiculite libèrent des ions nitrites NO2-

L'absence de ces ions sur des cultures de lentilles en terre s'explique peut-être par leur consommation par des bactéries qui seraient uniquement présentes dans la terre.

Nous avons tenté de laisser tremper les différents échantillons pendant 10 jours, afin de laisser le temps aux nitrates et nitrites de diffuser dans l'eau mais les milieux ont fermenté et nos mesures ont été totalement faussées par les bactéries présentes.

- Nos recherches sur les nitrates et nitrites utilisables dans le sol nous ont montré la complexité de cet apport nutritionnel.

En effet, Lorsque la plante meure ou simplement par diffusion racinaire, les NH3 sont transformés par des bactéries (nitrosation NO2- (Nitrosomas) et nitratation NO3- (nitrobacter)).

L'ion nitrate NO3- est soluble dans le sol. Une fois formé par les microorganismes, il faut qu'il soit absorbé par la racine sinon, la pire situation est un sol filtrant avec précipitations. Là, les nitrates s'enfoncent et ne sont plus accessibles par la plante : ils sont lessivés.

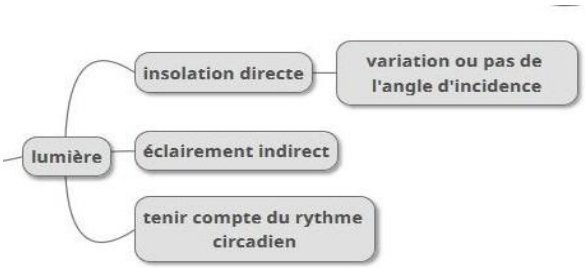
➔ Il est donc bien nécessaire que nos camarades de SI récupèrent l'eau de lessivage pour la réinjecter aux plantes

D'autre part les plantes utilisent les deux (NO3- et NO2-) mais la forme nitrate est la forme préférée des végétaux.

Certaines catégories de microorganismes, qui vivent en absence d'oxygène dans des sols mal travaillés ou inondés, dégradent directement le nitrate en N2. Cet azote est libéré dans l'atmosphère, c'est une perte sèche. On parle de dénitrification. **C'est pour cela que nous pensons que nos tests ne sont pas fiables car les bactéries dénitrifiantes venues coloniser nos cultures ont utilisé les nitrates présents dans la vermiculite ou la terre.**

Hypothèse n°2 : Un ensoleillement direct permet d'optimiser la croissance d'un végétal cultivé

Expérimentations



Pour nos premières expériences nous avons décidé **de respecter les rythmes circadiens et** travailler uniquement sur :

- **L'éclairage direct**
- **L'éclairage indirect**

Nous n'avons pas voulu tester l'éclairage permanent car notre Météogyre étant censé être à l'extérieur, un éclairage permanent aurait été superflu et pas du tout écologique

Les plants sont situés près d'une fenêtre à l'ouest et directement sous un plafonnier

<u>Lumière indirecte</u>
(artificielle + soleil)
Les plants sont situés loin de la vitre et des plafonniers

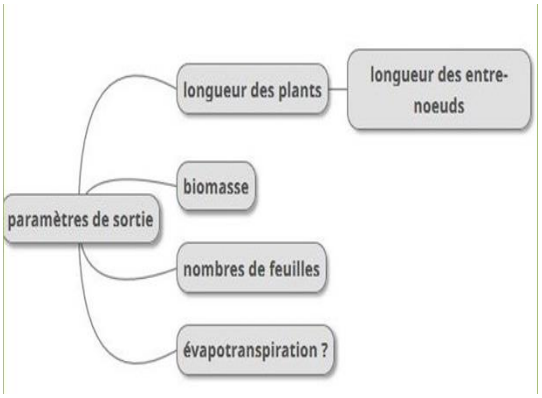
Résultats

Lentilles seules (20 graines)

Cultures mixtes (10 lentilles + 10 sarrasins)

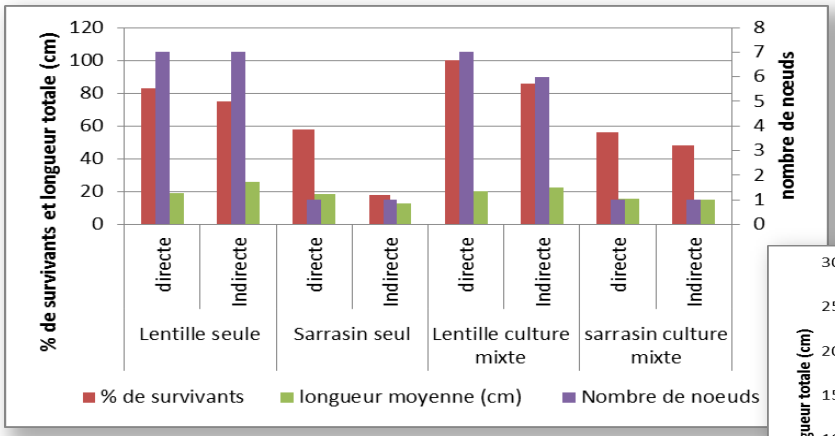
Sarrasins seuls (20 graines)

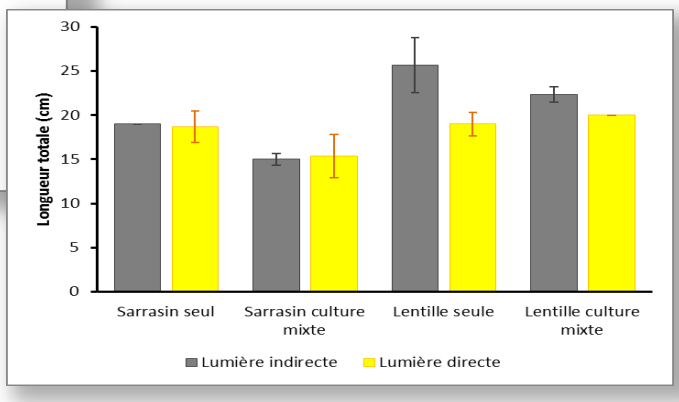
Nous avons comparé nos différentes cultures sur les paramètres suivants. Nous vous présentons nos résultats ci-dessous :

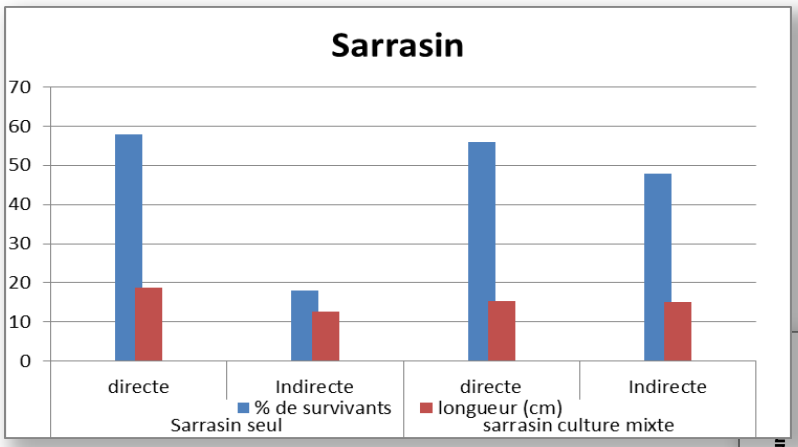


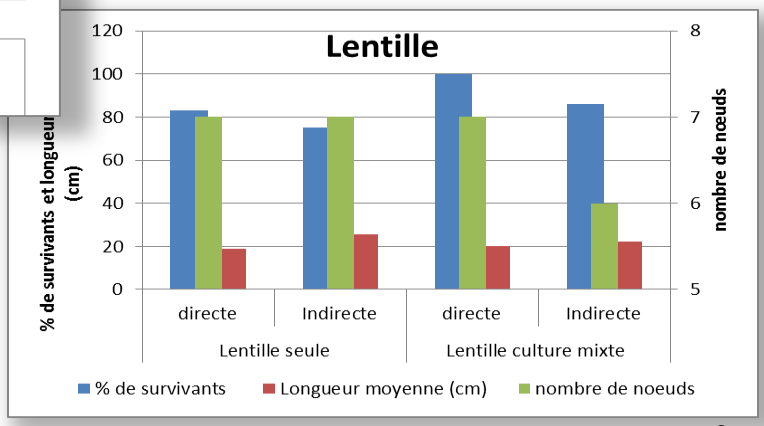
Résultats

Pots	Lentilles		Sarrasins		Mixtes			
					Lentilles		sarrasin	
Type de lumière	directe	Indirecte	directe	Indirecte	directe	Indirecte	directe	Indirecte
Nombre de plants ayant survécu par pots : P1, P2, P3	P1 : 16	14	15	5	10	8	6	3
	P2 : 18	16	11	0	10	8	5	15
	P3 : 16	17	9	6	10	10	6	4
% de survivants	80	70	75	25	100	80	60	50
	90	80	55	0	100	80	50	75
	80	76	45	30	100	100	60	20
Moyenne	83	75	58	18	**100**	**86**	**56**	**48**
Longueur Totale (cm)	17	26	19	19	20	21	19	16
	20	30	16	0	20	23	15	14
	20	21	21	19	20	23	12	15
Nombre de nœuds	7	7	1	1	7	**6**	1	1
	7	7	1	1	7	**6**	1	1
	7	7	1	1	7	**6**	1	1









Nous n'avons pas observé de grandes différences entre nos diverses cultures néanmoins nous pouvons faire quelques remarques concernant la survie des plants :

On observe

- **Plus de survivants** parmi les plants cultivés de **façon mixte**
- **Plus de survivants en lumière directe** quel que soit les cultures

Concernant la longueur des plants:

- On observe une longueur supérieure en lumière indirecte chez les lentilles mais les tiges sont très fragiles et très allongées (visible par le nombre de nœuds inférieur pour une taille supérieure)
- On n'observe pas de différence de longueur significative chez le sarrasin mais les plants sont très fins et très fragiles.

Il semblerait donc que les cultures mixtes en éclairage direct soient plus rentables

Hypothèse n°3 : Une bonne organisation spatiale des plantes sur notre support permet de gérer leurs besoins hydriques

Nous avons exploité les résultats obtenus lors des cultures abandonnées pendant les vacances d'hiver pour peaufiner notre projet **et optimiser l'apport en eau** de notre Météogyre . En effet, nous avons pu conclure que :

- **Les lentilles n'aiment pas le déficit d'eau mais supportent l'excès**
- **Le sarrasin n'aime pas l'excès d'eau mais supporte bien le déficit hydrique.**

Terreau trop sec (les plants de lentille sont morts mais seul le sarrasin survit)

Notre plan de culture final dans le Météogyre sera incliné à 45° (pour pouvoir capter le maximum de lumière) nous envisageons donc de placer les lentilles en bas et le sarrasin en haut . Ainsi les lentilles pourront bénéficier de l'eau qui sera plus en excès en bas et le sarrasin pourra être hydraté mais sans excès car celle-ci descendra par gravité.

Nous avons décidé de tester néanmoins notre future disposition suivant le protocole suivant :

<u>3 expérimentations :</u>

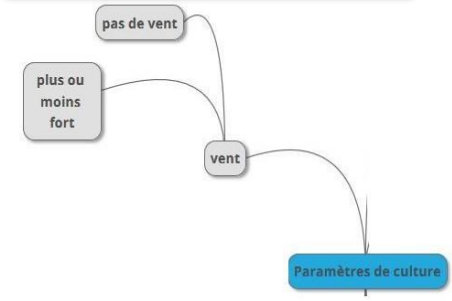
- 20 lentilles en bas et 20 sarrasins en haut
- 20 sarrasins et 20 lentilles placés aléatoirement
- 20 sarrasins en haut et 20 sarrasins en bas

Résultats

Effectivement, le sarrasin pousse très bien en haut de notre culture (moins d'eau) et pourrit en bas de notre cuvette (excès d'eau) contrairement aux lentilles qui préfèrent l'eau en excès.

Hypothèse n°4 : Une bonne protection du vent permet d'optimiser la croissance d'un végétal cultivé tout en gérant son hydratation

Expérimentations

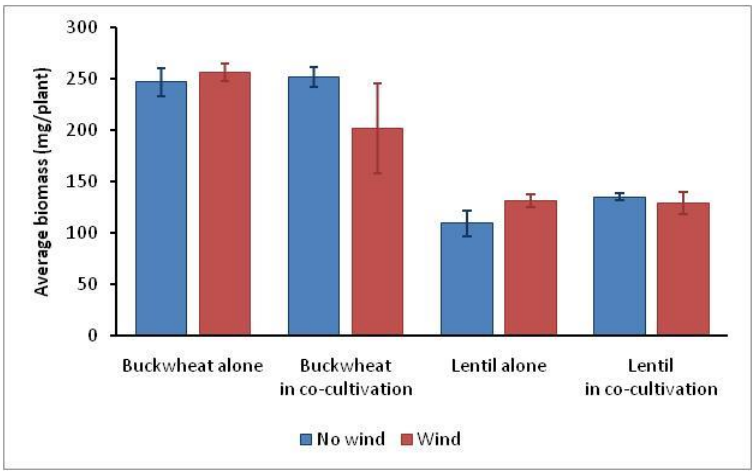


Nous avons testé le facteur "vent" sur nos cultures"
Nous avons, le 16/02/17 (soit après seulement 2 semaines de culture) découpé et pesé les parties aériennes de chacune de nos cultures afin de comparer les différentes masses produites.

Découpage des parties aériennes, mise sous enveloppe puis pesées

Résultats

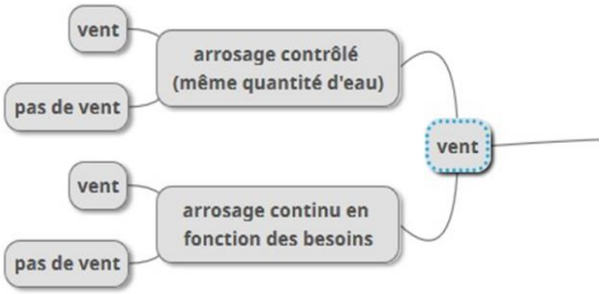
	Sans vent												Avec vent											
	Sarrasin seul			Lentille seule			Sarrasin culture mixte			Lentille culture mixte			Sarrasin seul			Lentille seule			Sarrasin culture mixte		Lentille culture mixte			
	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3	lot 1	lot 2	lot 3
nombre de plants	12	18	17	20	20	20	8	9	7	10	10	9	15	19	17	19	19	17	10	8	9	10	9	10
biomasse totale (g)	3,099	4,077	4,343	1,944	2,048	2,556	2,035	2,13	1,844	1,302	1,374	1,237	3,973	4,931	4,15	2,312	2,629	2,266	1,7	2,143	1,508	1,437	1,17	1,12
biomasse (mg/plant)	258,3	226,5	255,5	97,2	102,4	127,8	254,4	236,7	263,4	130,2	137,4	137,4	264,9	259,5	244,1	121,7	138,4	133,3	170	267,9	167,6	143,7	130	112
biomasse moyenne (mg/plant)	246,7			109,1			251,5			135,0			256,2			131,1			201,8		128,6			
écart moyen	13,5			12,4			9,9			3,2			8,0			6,3			44,0		11,0			



Comme nous pouvons le voir, les résultats ne sont pas significatifs Nous avons dû attendre une semaine de germination avant d'allumer le ventilateur. **La période expérimentale a été trop courte** (une semaine seulement)

Néanmoins nous avons dû davantage arroser les cultures placées au vent. **Il faudrait donc, que l'on rajoute le facteur "arrosage" lors de notre seconde expérimentation après les vacances.**

Pour cela il faudrait contrôler l'apport en eau de nos deux cultures pour pouvoir fournir à nos camarades de SI des conclusions plus fiables.



Comme nous pouvions nous y attendre, à arrosage égal, les plants soumis au vent commencent à dépérir au bout de 2 semaines. Une bonne protection du vent est donc nécessaire.

Analyse des résultats et perspectives

Afin d'optimiser notre culture en gérant la rotation du panneau en fonction du vent mais aussi de la lumière, nous avons fait des recherches sur **l'évapotranspiration des plantes.**

En effet la plante a besoin d'ouvrir ses stomates pour capter le CO2 nécessaire à la photosynthèse et pour l'ascension de la sève brute (eau et sels minéraux) par aspiration.

Mais en cas de fortes chaleurs, d'insolation directe et de vent, la plante ferme ses stomates (souvent de midi à 14h).

Nous en déduisons donc que le facteur premier qui entraine la fermeture des stomates est le dessèchement de la plante (lié au dessèchement de la terre).

Nous allons donc demander à nos camarades de SI de privilégier l'ensoleillement direct pour favoriser la photosynthèse mais si la terre manque d'eau, d'orienter le panneau dos au soleil direct et s'il y a du vent d'orienter le panneau dos au vent.

Conditions extérieures	Pas de vent Terre humide	Vent Terre humide	Pas de vent Terre sèche
Programmation du panneau	Orientation automatique du panneau face au soleil	Orientation automatique du panneau dos au vent	Orientation automatique du panneau dos au soleil

Hypothèse n°5 : Un apport en eau de pluie continu suffit à lui seul à une production de qualité

Nous nous sommes posés la question de savoir, si notre culture "hors sol" pouvait fonctionner uniquement avec **un approvisionnement en eau de pluie** c'est-à-dire avec une **eau dépourvue de matière minérale (comme** de l'eau distillée) étant donné que nos plantes se développeront dans des godets de terre qui peuvent peut-être apporter les éléments minéraux

Expérimentations

Nous avons donc envisagé de réaliser des cultures **arrosées avec de l'eau du robinet et des cultures arrosées avec de l'eau distillée**

Mises en culture le 02/02/2017

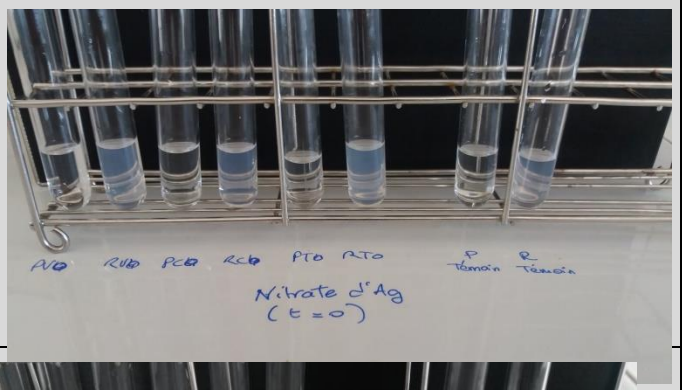
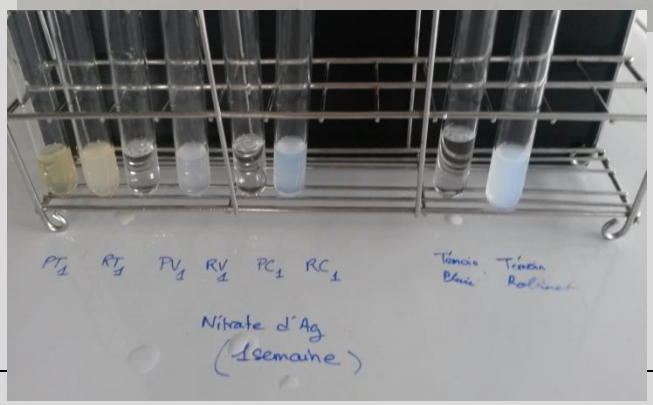
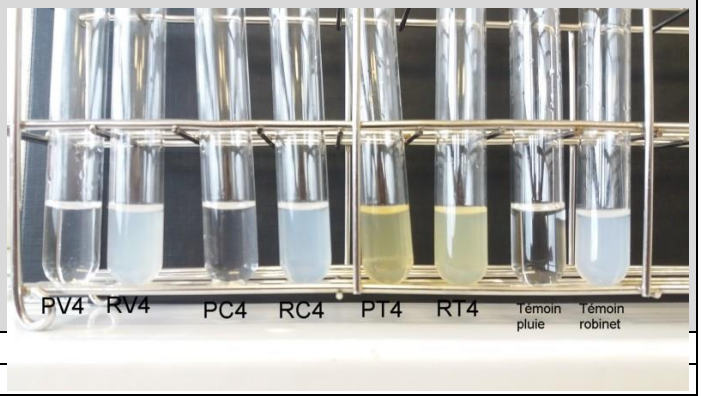
Analyse des résultats et perspectives

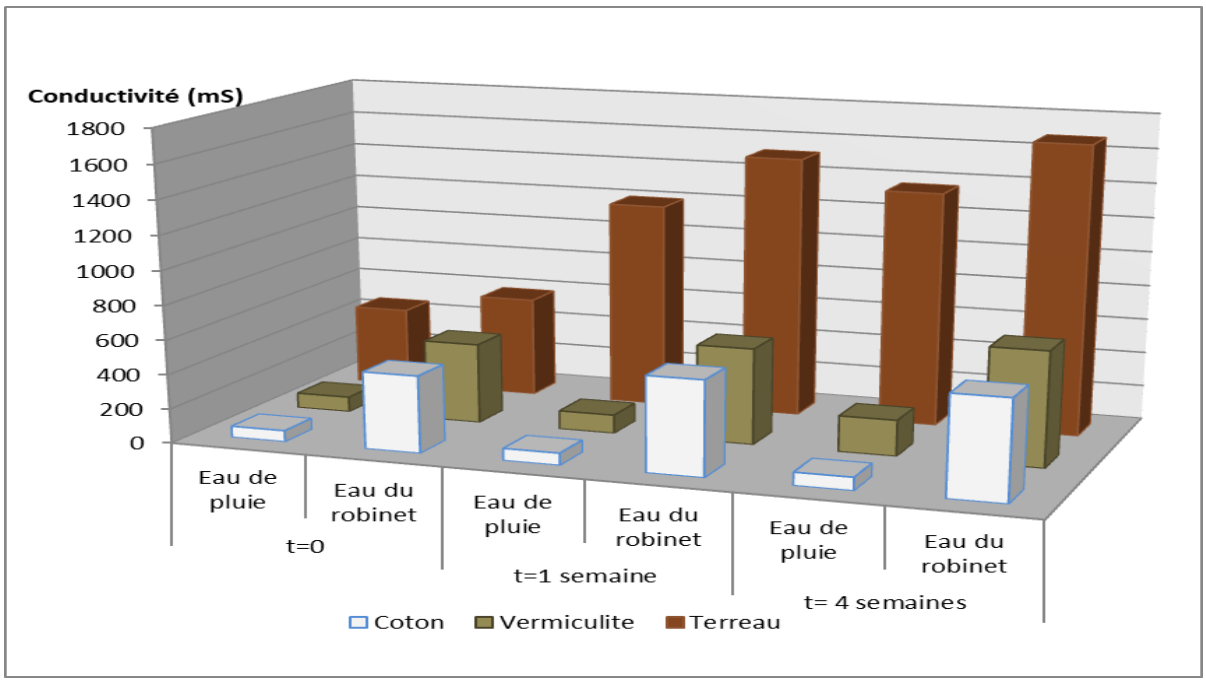
Les résultats observés 5 semaines après n'ont montré aucune différence significative sur la taille des plants ni sur leur survie

Nos observations tendent à montrer que notre culture pourra donc être hydratée simplement par de l'eau de pluie sans besoin de pompe qui puiserait l'eau du sous-sol

Mais comme nos cultures ont été réalisées sur de la terre, nous avons conscience **que notre milieu de culture doit contenir des éléments chimiques** qui permettent d'assurer l'alimentation minérale de la plante malgré une hydratation par de l'eau de pluie dépourvue en sels minéraux.

Nous avons donc réalisé les expériences suivantes pour mettre en évidence si la vermiculite, le coton et la terre libèrent des éléments minéraux pouvant être transmis à nos cultures.

	Conductivité µS	Test au nitrate d'argent
Eau de pluie + vermiculite (t = 0)	88	
Eau du robinet + vermiculite (t = 0)	467	
Eau de pluie + coton (t = 0)	65	
Eau du robinet + coton (t = 0)	448	
Eau de pluie + terre (t = 0)	163	
Eau du robinet + terre (t = 0)	585	
Eau de pluie + vermiculite (t = 1 semaine)	108	
Eau du robinet + vermiculite (t = 1 semaine)	559	
Eau de pluie + coton (t = 1 semaine)	70	
Eau du robinet + coton (t = 1 semaine)	550	
Eau de pluie + terre (t = 1 semaine)	1200	
Eau du robinet + terre (t = 1 semaine)	1520	
Eau de pluie + vermiculite (t = 4 semaines)	209	
Eau du robinet + vermiculite (t = 4 semaines)	666	
Eau de pluie + coton (t = 4 semaines)	75	
Eau du robinet + coton (t = 4 semaines)	578	
Eau de pluie + terre (t = 4 semaines)	1364	
Eau du robinet + terre (t = 4 semaines)	1682	
Eau du robinet (PH ajusté)	**539**	
Eau de pluie	**20**	



Nos résultats sont cohérents et démontrent bien que :

- Plus l'eau stagne dans notre support (terre, coton, vermiculite) plus elle s'enrichit en éléments minéraux.

- La terre est le support qui libère le plus d'ions face au coton et à la vermiculite.

- L'eau de pluie est bien plus pauvre en éléments minéraux que l'eau du robinet.

Bilan : Nos cultures devront être réalisées sur de la terre afin d'apporter aux plantes les éléments minéraux dont elles ont besoin d'autant plus qu'elles seront uniquement hydratées par de l'eau de pluie très pauvre en ions.

Pour une culture optimale, nous proposons donc de :
- recycler l'eau d'arrosage en excès qui, par son passage dans la terre s'enrichit en minéraux
- changer la terre tous les 2-3 ans ou d'apporter du compost afin de maintenir un taux en sels minéraux suffisant sans apporter d'engrais minéral exogène pouvant polluer les nappes phréatiques.

Bilan : Cahier des charges de notre culture hors-sol

- **Culture mixte : sarrasin et lentille** (en remplacement d'une alimentation carnée trop consommatrice d'eau)

- **Le sarrasin doit être placé en haut / la lentille placée en bas** (besoins hydriques différents)

- **Pas d'apport exogène de bactérie rhizobium mais apport de filtrat de sol extérieur** (pour un apport symbiotique de l'azote atmosphérique et une absence d'apport d'engrais)

- **Notre culture doit être préférentiellement placée face au soleil mais en cas de vent fort et/ou de terre sèche, la culture doit être placée dos au vent ou au soleil**

- **Recyclage de l'eau en excès et changement de la terre tous les 3 ans** (afin de maintenir le taux de sels minéraux nécessaires et de permettre un arrosage par l'eau de pluie)

Nos camarades de SI doivent donc prévoir

- **Un système de stockage de l'eau de pluie et un système de recyclage de l'eau de ruissellement**

- **Un système de détermination du taux hydrique de la terre** afin d'éviter la sècheresse de la terre **par apport d'eau** ou par **rotation de la culture** dos au soleil en cas d'absence d'eau

- **Un système de détection du vent**, afin de pouvoir placer notre culture dos au vent en cas de vent fort

Conception et réalisation du panneau automatisé

Cahier des charges

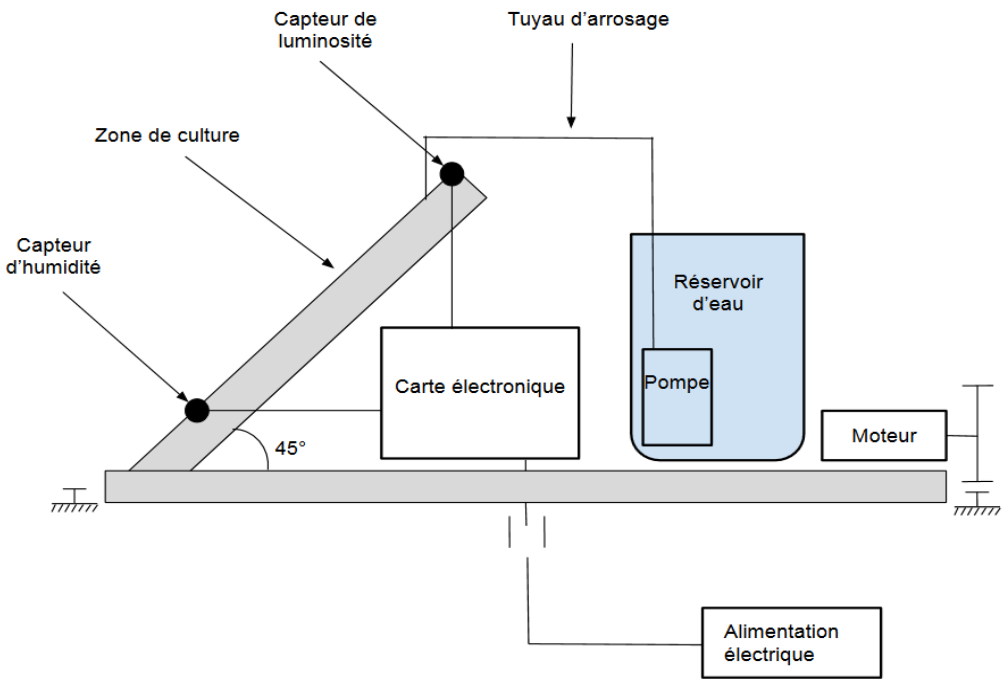
Suite aux expérimentations sur les besoins des plantes, nous avons décidé de créer un système de culture hors-sol automatisé qui répond aux fonctions suivantes :

- S'orienter en fonction du soleil en favorisant l'exposition des plantes
- Limiter l'exposition des plantes au vent en changeant l'orientation du plateau
- Collecter un maximum d'eau de pluie pour assurer l'arrosage du sol
- Mesurer le taux d'humidité dans le sol
- Assurer l'arrosage automatique des cultures en fonctions de leurs besoins
- Mesurer la vitesse du vent pour permettre une meilleure croissance des plantes
- Fonctionner à l'aide d'une alimentation électrique autonome telle qu'une batterie ou des panneaux solaires

Ces fonctions nécessitent une zone de culture mobile. Notre projet est donc un panneau rotatif. Ce panneau nécessite :

- un système rotatif qui inclut un moteur, un pignon et une couronne dentée
- un réservoir d'eau qui collecte les eaux de pluie
- un système d'arrosage qui comprend une pompe et un arrosage goutte-à-goutte
- un système de contrôle avec une carte électronique et les capteurs associés
- une zone de culture inclinée à 45°
- une prise jack pour une alimentation électrique indépendante

Schéma fonctionnel

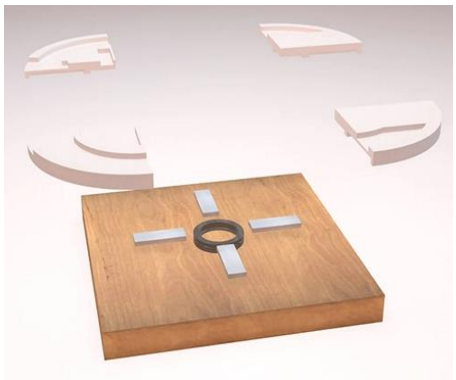


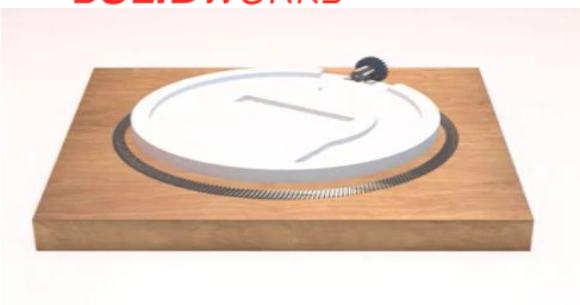
Nous avons choisi une forme arrondie pour le réservoir d'eau afin de limiter les turbulences dues au vent.

Construction de notre panneau automatique

Phase de conception

Après analyse des objectifs du projet, nous avons réalisé le plan papier de notre prototype. Nous avons conçu différentes versions de modélisation au moyen du logiciel CAO (Conception assistée par ordinateur) avec le logiciel "Solidworks", puis nous l'avons adapté en version usinable pour la fraiseuse numérique.

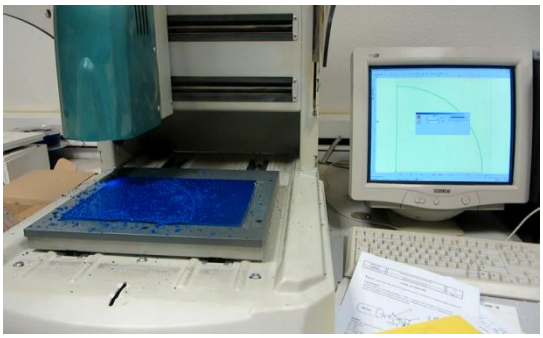


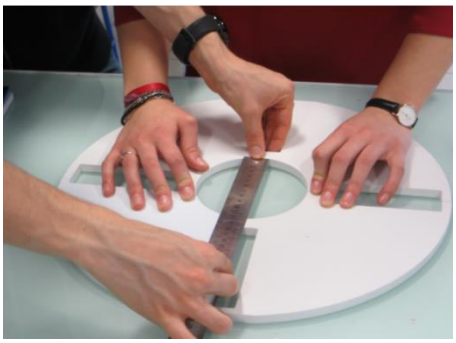


Usinage

Première étape: l'utilisation d'une fraiseuse

- Nous avons utilisé un matériau d'usinage souple et facile : des plaques de polychlorure de vinyle (PVC)



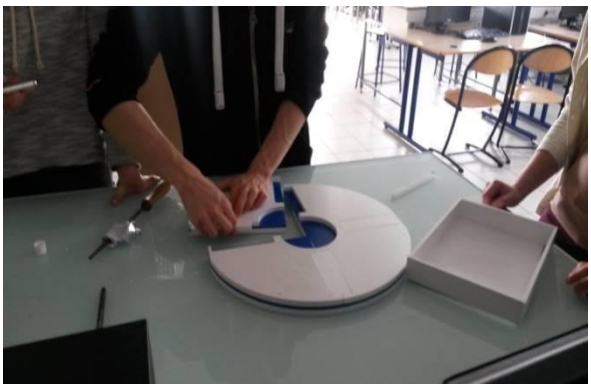


- Chaque partie a été construite avec des plaques de PVC. Pour cette étape, nous avons rencontré nos premières difficultés avec la découpe des plaques car elles étaient supposées avoir 25 mm d'épaisseur, mais la fraiseuse ne peut pas usiner des plaques aussi épaisses. De plus, nous étions limités à un format qui ne pouvait pas dépasser un format A4.

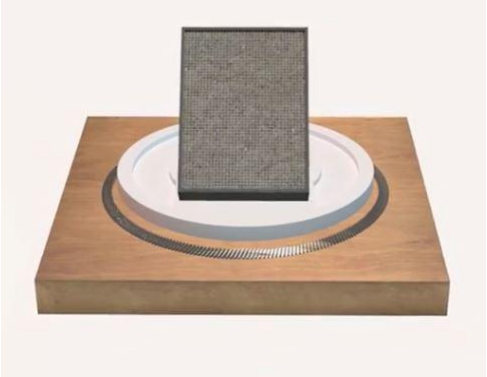
Nous avons surmonté ces difficultés en réalisant plusieurs coupes dans trois plaques d'épaisseurs différentes: 10 mm pour les blanches et 5 mm pour les bleues.

Nous avons ensuite travaillé sur les pièces découpées, nous les avons limées, assemblées et collées pour former la structure de base.

Avec la même méthode, nous avons construit le mur destiné à recevoir la culture du groupe de travail des SVT.



Afin d'obtenir un maximum d'énergie lumineuse et de compenser notre latitude de 45,7 °, nous avons décidé d'incliner le mur à 45 °.



Ensuite, prenant en compte l'idée d'un système de rétention des eaux, nous nous sommes posé la question et nous en avons déduit que dans notre optique de consommation d'eau raisonnée, en plus du rôle du goutte-à-goutte et de la terre, notre projet ne nécessite pas d'un tel système.

L'alimentation électrique

- Pour permettre une alimentation électrique, qui ne subira pas de torsion à travers les multiples rotations du plateau, nous avons pensé à alimenter le système grâce à une prise jack centrale qui ne limitera pas le nombre de rotation de la plaque. En effet, un simple fil électrique serait susceptible de se rompre après de nombreuses rotations de plaques donc, pour éviter cela, nous avons choisi une prise jack, sans point d'attache.

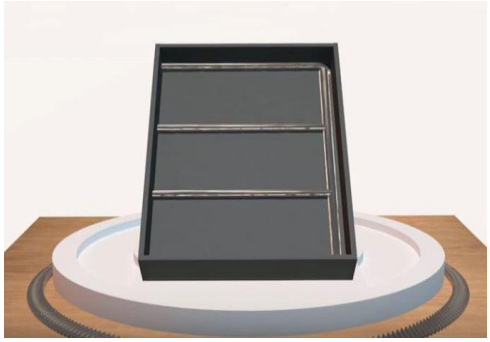
- Enfin, notre moteur sera d'abord alimenté en courant continu mais nous souhaitons à l'avenir le rendre autonome avec des panneaux solaires.

Le système de contrôle

- Nous avons choisi une carte électronique Arduino pour une programmation simple.
- Une fois notre prototype achevé, nous avons connecté deux capteurs de luminosité, ainsi qu'un capteur d'humidité, grâce à la carte Arduino.
- La mise en place des capteurs est très importante car elle assure la rotation du plateau. En effet, les capteurs solaires mesurent la luminosité et envoient ces informations au système de programmation qui place le mur en face du Soleil. Le capteur d'humidité, quant à lui, définit le seuil en dessous duquel la pompe doit se mettre en marche pour irriguer les cultures. Grâce à ce capteur, nous allons réduire la consommation d'eau, et ainsi le potentiel gaspillage.
- Le mur sera également relié au réservoir par l'intermédiaire d'une pompe. Le plateau tourne au moyen d'un moteur, d'une couronne dentée et d'une butée à bille.

Le système d'arrosage

- Notre objectif était de créer un système de culture hors-sol autonome, qui ne nécessite pas d'apport extérieur en eau. L'une des tâches difficiles a été de trouver l'élément essentiel pour remplir cette condition : le réservoir d'eau.
- Nous avons décidé d'utiliser un système de goutte-à-goutte pour réduire les pertes d'eau. Cette méthode permet un arrosage optimal, ce qui en fait la configuration idéale comparée à un arrosage manuel, moins précis, et qui demande une intervention humaine constante.



Le réservoir d'eau

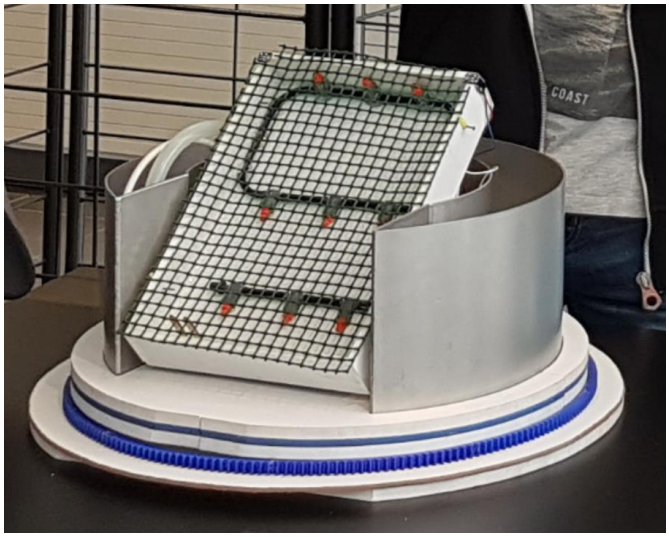
Plusieurs séances ont été dédiées à la recherche du réservoir d'eau. Au début, nous pensions le réaliser avec nous même à l'aide d'une imprimante 3D, mais il n'aurait pas été étanche. Par conséquent, nous avons contacté de nombreuses entreprises fabricant des réservoirs d'eau et nous avons fait fabriquer sur mesure cette pièce en acier à partir de plans réalisés par nos soins.

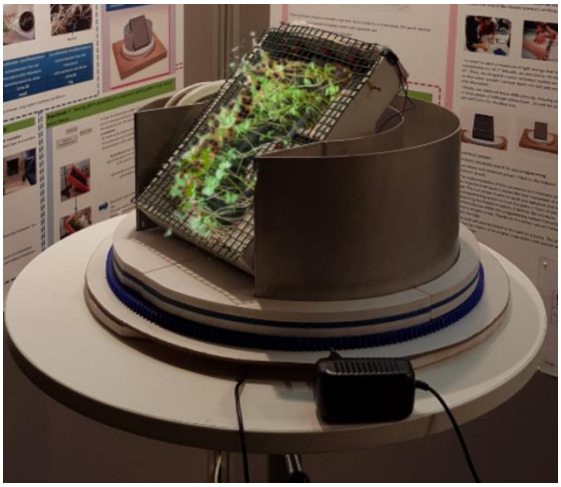
Son processus de fabrication fut le suivant:

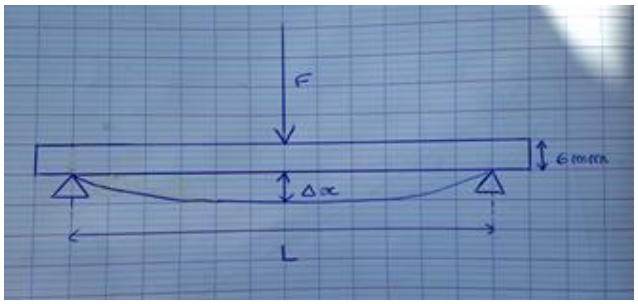
Étant donné la place réservée à celui-ci, le réservoir ne pouvait être réalisé autrement que sur mesure ainsi, il est de forme cylindrique pour une faible prise au vent. Concernant le choix du matériau pour le réaliser, le PVC rigide utilisé pour la fabrication du plateau et du mur ne pouvait convenir à une pièce cylindrique.
Nous avons donc envisagé de le faire avec des feuilles de métal laminé ou avec du PVC malléable. Le processus de sa fabrication ayant été trop complexe pour les machines mises à notre disposition, nous avons demandé à une entreprise extérieure de nous le fabriquer sur mesure.

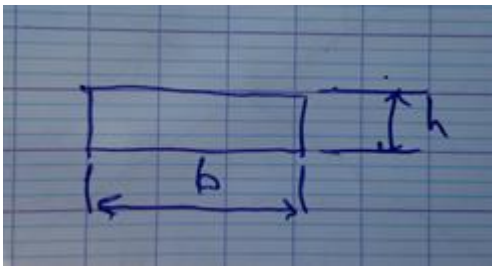
À ce jour, notre maquette est pratiquement terminée

- les paramètres météorologiques pris en compte sont :
- l'ensoleillement
- l'arrosage
- Le mur végétalisé s'oriente automatiquement vers le soleil grâce à deux capteurs de luminosité associés à une carte arduino qui commande la rotation du moteur.
- L'arrosage automatique est géré par un capteur d'humidité positionné dans le sol associé à une carte arduino qui commande une pompe d'arrosage électrique alimentant un système d'arrosage goutte à goutte.







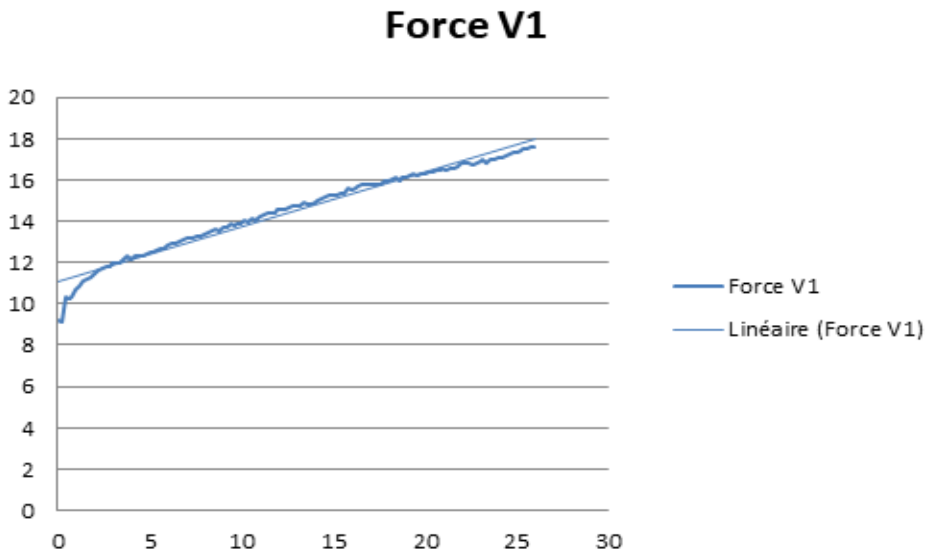


La déformation des matériaux:

Calculs de résistance : flexion
I : mouvement quadratique
E : module de young (élasticité)

$$\Delta x = F * \frac{L^3}{48\,EI}$$

donc $F = 48EI/L^3 * \Delta x$



a (coefficient directeur) =0,27

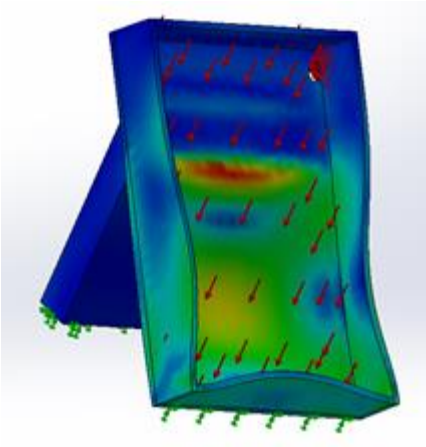
I en mm⁴
L en mm
E =N/mm² (MPa)
L=465mm
I= bh³ /12
I= 50*6³/12
I=900mm⁴

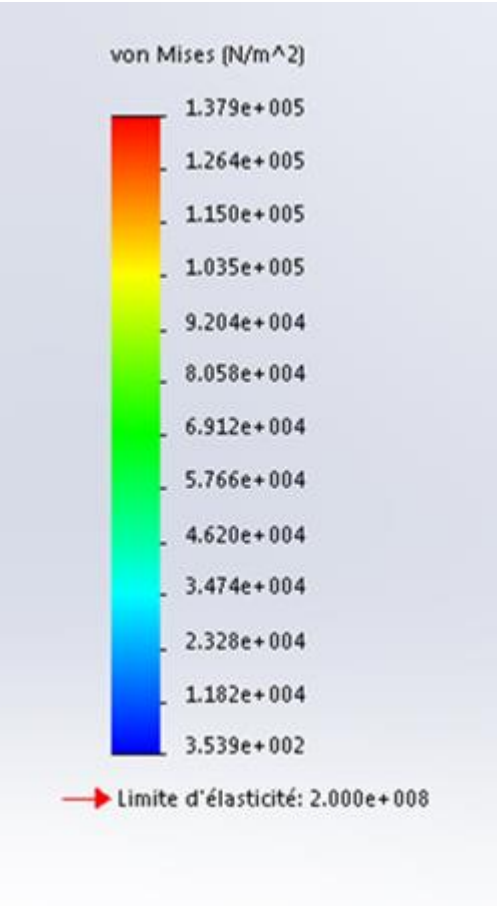
$$0{,}27 = \frac{48\,EI}{L^3}$$

soit $0{,}27 * \frac{L^3}{48\,EI} = E$

donc $E = 0{,}27 * \frac{465^3}{48 * 900}$

ainsi E=509e6 N/mm²





masse volumique :

échantillon : épaisseur : 6mm
largeur:187mm
longueur :289mm

V=6e-3*187e-3*289e-3
V=3,2e-4 m³
m=181g soit 181e-3kg
ρ=m/V
ρ=181e-3/ 3,2e-4
ρ=565,6 kg/m³
poids terre+eau:10N au maximum (pour 100 % d'humidité)
et surface 185e-4m²
pression chargement : 541N/m²

Capteur d'humidité

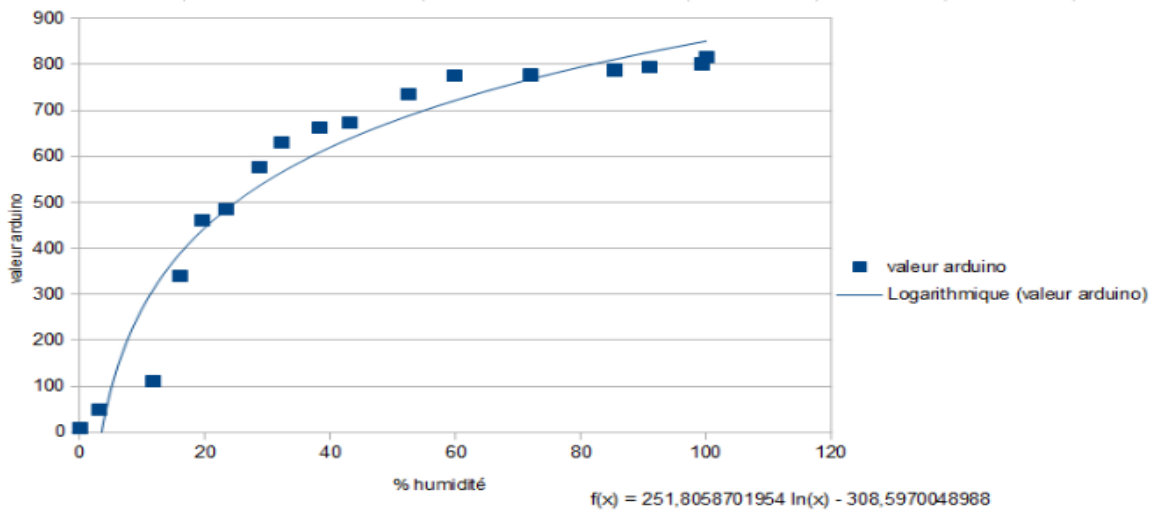
L'objectif est de mettre en route la pompe automatiquement en dessous d'un certain seuil d'humidité.
Pour cela, il faut d'abord étalonner le capteur d'humidité, pour ensuite réaliser le programme correspondant.

Etalonnage :
Mettre de la terre sèche dans un bêcher sur une hauteur de 4cm pour recréer les conditions du mur. Ajouter progressivement de l'eau et mélanger pour que l'eau se répartisse de façon homogène. Peser entre chaque ajout la masse d'eau afin d'en déduire l'humidité du sol à l'aide de la formule suivante :

$$Hm = \frac{100 * masse\,d'eau}{masse\,sol\,sec}$$

Résultats obtenus :

poids eau (g)	% humidité	valeur arduino
0	0	9
1,6	3,187250996	49
5,9	11,7529880478	111
8	15,9362549801	340
9,8	19,5219123506	461
11,7	23,3067729084	485
14,4	28,6852589641	577
16,2	32,2709163347	630
19,2	38,2470119522	662
21,6	43,0278884462	673
26,3	52,390438247	736
30	59,7609561753	775
36,1	71,9123505976	777
42,9	85,4581673307	788
45,7	91,0358565737	794
49,9	99,4023904382	801
50,2	100	816

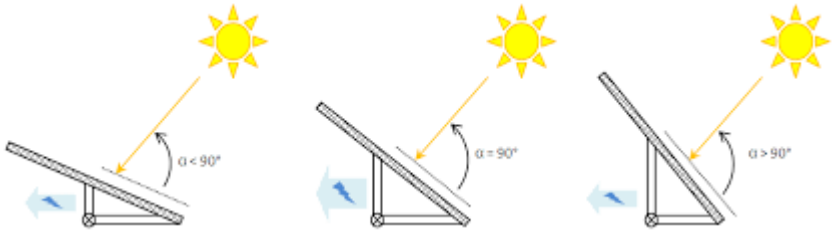


On peut ainsi remplacer la formule obtenue dans le programme pour obtenir le pourcentage d'humidité de la terre. Il sera comparé au seuil définit (30% ce qui correspond au point de flétrissement des plantes), et le programme ordonnera la mise en marche de la pompe si terre n'est plus assez humide.

Les pistes d'amélioration

Dans l'objectif d'améliorer et de compléter notre projet, nous espérons qu'il puisse prochainement remplir les fonctions suivantes :

- Mesurer la vitesse du vent pour permettre une meilleure croissance des plantes
- Mesurer le niveau d'eau dans le réservoir à l'aide d'un capteur de pression afin de prévenir l'utilisateur s'il n'y a plus assez d'eau
- Le débit de la pompe est largement supérieur au débit nécessaire aux goutteurs. Il faut donc trouver une solution telle que trouver une pompe plus adaptée
- Fonctionner à l'aide d'une alimentation électrique autonome telle qu'une batterie ou des panneaux solaires.



1. panneau solaire amorphe: le panneau solaire amorphe est le type de panneau utilisé par les calculatrices et gadget et possède un rendement entre 5 et 7 %
   Éclairement : 60W/m²

Le rendement lorsqu'on prend un panneau amorphe de 5W correspond à 5 % de la valeur théorique qu'il pourrait fournir.

2. panneau solaire polycristallins: le panneau solaire à cellule polycristallin possède un rendement de 15 % pour un éclairement de 1000W/m². Son prix est de l'ordre de celui du monocristallin.

3. panneau solaire monocristallins: le panneau solaire à cellule monocristallins possède un rendement de 20 % pour un éclairement de 150W/m². Il est donc le plus efficace et sera choisi pour le projet.

- Étudier les déformations possibles du système en taille réelle
- la consommation est une question importante que nous nous posons depuis le début du projet. nous avons donc commencé à l'étudier plus sérieusement...

Consommation (enKwh) = (nb d'heure d'utilisation)*(nb de jours d'utilisation)*((puissanceMétéogyre)/1000)

Moteur : P=300e-3*12 (0,08A) P=3,6W

Pompe : P=1,66*12 P=20W

Arduino : P=200e-3*5 P=1W

Par jour le nombre de tour minimum est de 1 tour et on se donne une marge d'erreur de un demi-tour.

On a 208 dents : 1min43 ainsi le moteur tour au minimum pendant 1 min 43 par jour et au maximum 2min09 car 260 dents pour 1 tour et 1/4.

l'arduino fonctionne 24h sur 24.

Pompe : pluie a Lyon : 832mm/an soit 2,28mm/j en moyenne. Ainsi il y aura en moyenne 118,7 cm³ d'eau par jour dans le bac soit une masse d'eau de 118,7g.
% humidité en moyenne par jour : 23,74 %

<u>Point de flétrissement dans notre terre</u> : 30 % donc en moyenne il faudrait arroser pour 10 % en plus par jour soit 50g d'eau. Sachant que le débit de la pompe est de 0,15m³/s la pompe tournerait ainsi 0,3 ms en moyenne par jour. On voit bien qu'on ne peut pas faire une moyenne dans ce cas-là. **On va donc s'intéresser au minimum.**
Nb de jours de pluie par an à Lyon : 157 Ile de Porquerolles : 73 Brest : 210.

Lyon : 157	Ile de Porquerolles : 73	Brest : 210
Lyon : 365-157=208. il faut donc arroser 208 jour pour être au minimum de conso et que les plantes ne fanent pas il faut : 30=masse eau/500*100. Soit meau=150g débit pompe 1,5e-4m³ V=150e-3/1000 =1,5e-4 m³ soit 15 cL d'eau. Ainsi il faudrait arroser une seconde par jour mais avec une expérience nous avons chronométré qu'il fallait environ **15 seconde pour arroser nous prendrons donc la valeur expérimentale** comme référence. **Il faut donc faire tourner la pompe pendant 20 secondes (avec la marge d'erreur) 3 jours sur 5.**	Ile de Porquerolles : 365-73=292 il faut arroser 292 jour pour être au minimum de conso et que les plantes ne fanent pas il faut arroser 20cL d'eau 4 jours sur 5 environ.	Brest : 365-210=155 il faut arroser 155 jour pour être au minimum de conso et que les plantes ne fanent pas il faut arroser 20cL d'eau 2 jours sur 5 environ.

<u>Bilan : Consommation du Météogyre</u>

<u>Arduino :</u> 24*365*1/1000 = **8,76 kWh par an**.
<u>Moteur :</u> 3,6e-2*365*3,6/1000 = **47 Wh par an**
<u>Pompe :</u> 20e-3*244*20/1000 = **98 Wh par an**

Conclusion

Grâce à Météogyre, qui associe une culture combinée à un système de contrôle influencé par les conditions météorologiques, nous souhaitons :

- Limiter la consommation d'eau à l'échelle planétaire puisque nos cultures peuvent fournir tous les acides aminés essentiels pour ainsi remplacer la viande, grande consommatrice d'eau
- Limiter les pertes d'eau grâce au recyclage d'eau de pluie et à une pompe intégrée
- Optimiser la croissance des plantes selon leur disposition spatiale, l'orientation du mur, et la symbiose entre les lentilles et la bactérie Rhizobium
- Réduire l'usage d'engrais qui sont nocifs pour les eaux souterraines, donnant ainsi accès à une eau de meilleure qualité pour la population mondiale