

Darius DJAVADI

Année scolaire 2018-2019

Valentin VANOSMAEL

Armand WAYOFF

TPE

Thème national : Agir pour son avenir

Sujet : Littoral, construction et environnement

Problématique : Comment la construction d'extensions territoriales et d'îles artificielles impacte-elle la biodiversité marine ?



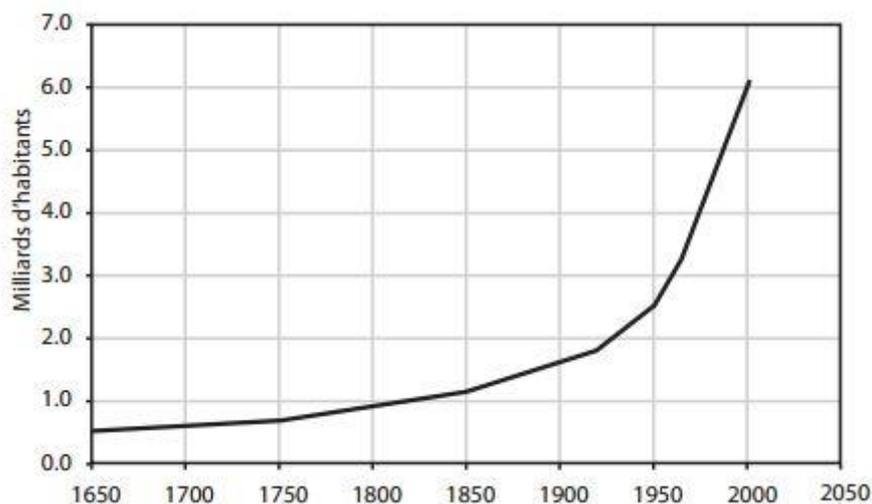
Sommaire

<u>Introduction</u>	3
<u>I/ Nécessité écologique</u>	4
A. Etat des lieux de la biodiversité marine du littoral de Monaco	4
B. Etude de l'impact de la construction	5
1. Nécessité de créer une eau de mer de synthèse	5
a) Préparation d'eau de mer	5
2. Les algues	9
a) Activité métabolique des algues	9
3. Protection d'espèces marines protégées	18
4. Diminution de la turbidité et de la pollution sonore	18
5. Observations microscopiques des euglènes à j0 et à j15	18
6. Recherche sur les activités métaboliques	21
a) Etude de la photosynthèse	21
<u>II/ Nécessités physiques</u>	22
A. Composition géologique	22
1. Analyse d'une carte géologique	22
2. Le calcaire	26
3. Calcul de la densité du calcaire	26
4. Elaboration des caractéristiques de la construction d'une extension sur ce type de sol	29
B. Etude du risque sismique	30
1. Analyse d'une carte sismique	30
2. Etudes des dangers et des conséquences d'un séisme	31
3. Etude des structures adaptées au risques sismiques du site de l'extension	32

<u>III/ Nécessités des matériaux utilisés</u>	33
A. Etude de la flottaison	33
1. Etude de la flottaison d'un objet immergé.....	34
2. Expérience sur la flottaison d'objet	35
3. Elaboration des caractéristiques de la construction des caissons.....	39
B. Choix des matériaux	40
1. Etude des différents matériaux de construction	40
a) Résistance	41
b) Durabilité.....	41
c) Résidus rejetés dans l'eau.....	42
2. Choix d'un matériau optimal pour la construction d'une extension marine	42
<u>Conclusion</u>	43
Sources bibliographiques et sitographie.....	45

Introduction

Cela fait maintenant un peu moins d'un siècle que la population mondiale ne cesse d'augmenter de manière exponentielle.



Evolution de la population en fonction du temps (<https://www.planetoscope.com/natalite/5-croissance-de-la-population-mondiale-naissances---deces-.html>)

La population mondiale continue de croître continuellement, mais nous commençons à ne plus avoir assez de place sur terre pour accueillir de nouvelles personnes, c'est pourquoi certains pays à travers le monde ont décidé de s'étendre sur les mers et les océans, comme en Chine, à Monaco ou encore à Dubaï.

Cette croissance rapide de la population mondiale, les besoins de cette population, ainsi que l'industrialisation toujours plus énergivore a engendré un autre problème de taille : celui de la pollution. L'homme a commencé à polluer de manière excessive et dangereuse pour l'atmosphère vers les années 1900 et cela ne cesse d'augmenter au fil des années. Depuis plusieurs années, les inquiétudes vont grandissantes quant aux conséquences désastreuses qu'engendreraient dans le monde, le réchauffement climatique, les continents de plastiques ou encore la disparition de la faune et la flore tant terrestre qu'aquatique.

Ce qui nous a permis de nous poser la question de "Comment la construction d'extensions territoriales et d'îles artificielles impact-elle la biodiversité marine ?"

Dans ce TPE, nous nous intéresserons aux difficultés et impératifs techniques indispensables à la réalisation d'une extension territoriale sur la mer, ainsi qu'à l'importance de se soucier de l'écologie dans ce genre de projet. Pour cela nous nous intéresserons au projet d'extension qui a débuté à Monaco fin 2015. Ce projet est unique et n'est en rien semblable à l'extension réalisée à Monaco il y a 45 ans par la création du quartier de Fontvieille. Ce nouveau projet d'extension de près de 6 hectares, s'implique dans le développement durable et dans une optique de préservation de la faune et la flore marine.

I. Nécessités écologiques

A. Etat des lieux de la biodiversité marine du littoral de Monaco

Depuis le début du développement du projet d'aménagement territorial monégasque, le Prince Albert II et Bouygues Travaux Public (filiale de Bouygues Construction) se sont souciés de l'environnement et des perturbations que le projet engendrerait tel que les remous dû aux turbines de bateau et les poussières dû au dépôt de gravats. Dès le commencement de la construction, des récifs coraliens ont été créés par le biais d'imprimantes 3D, cela a permis de déplacer la faune marine dans un endroit sans remous. De plus, des écrans sous-marins anti-turbidité ont été créés. L'écosystème monégasque est riche en variété de faune et de flore mais cette biodiversité varie en fonction de la profondeur à laquelle elle se situe. De plus, les fonds marins sont extrêmement variés en termes de dénivelé aux alentours de Monaco, allant de 5m à 500m dans certains endroits. De nombreux poissons ont élu domicile à la réserve du Larvotto et la flore quant à elle est surtout visible un peu plus au large. Des êtres unicellulaires tels que les euglènes font aussi parti de cette riche biodiversité, parfois méconnue ou sous-estimée. Tout ces êtres font partis de la chaîne alimentaire et celle-ci pourrait, à la moindre perturbation se détruire ou se modifier, créant une perturbation majeure de l'écosystème en place. Cela signifie que le moindre impact sur la biodiversité déjà en place aurait des conséquences désastreuses. Nous devons donc déterminer comment un projet de l'ampleur de celui de Monaco peut il prendre en compte dans sa réalisation ce fait écologique.

B. Etude de l'impact de la construction

1. Nécessité de créer une eau de mer de synthèse

a) Préparation d'eau de mer

Pour réaliser l'ensemble de nos manipulations il est apparu indispensable de fabriquer de l'eau de mer. En effet, nous souhaitons examiner des algues dans différentes conditions de vie, or celles-ci peuvent vivre dans l'eau de mer. Nous pensons donc qu'il est indispensable de connaître la composition de l'eau de mer ce qui nous permettrait d'en préparer. Nous avons cherché comment préparer de l'eau de mer.

Après des recherches sur des sites internet divers, nous en avons conclu que les composants de base de l'eau de mer sont :

Substances	Masse à peser pour 1 litre (g)
NaCl (chlorure de sodium)	30
KCl (chlorure de potassium)	0,8
MgSO ₄ (sulfate de magnésium)	6,6
NaHCO ₃ (bicarbonate de sodium)	0,5
CaCl ₂ (chlorure de calcium)	1,3

Nous allons utiliser le matériel suivant :

- Une coupelle de pesée
- Une spatule
- Une balance avec la fonction Tare
- Une fiole jaugée de 1L
- Un bouchon adapté à la fiole
- Substances chimiques
- Eau distillée
- Agitateur et barreau aimanté

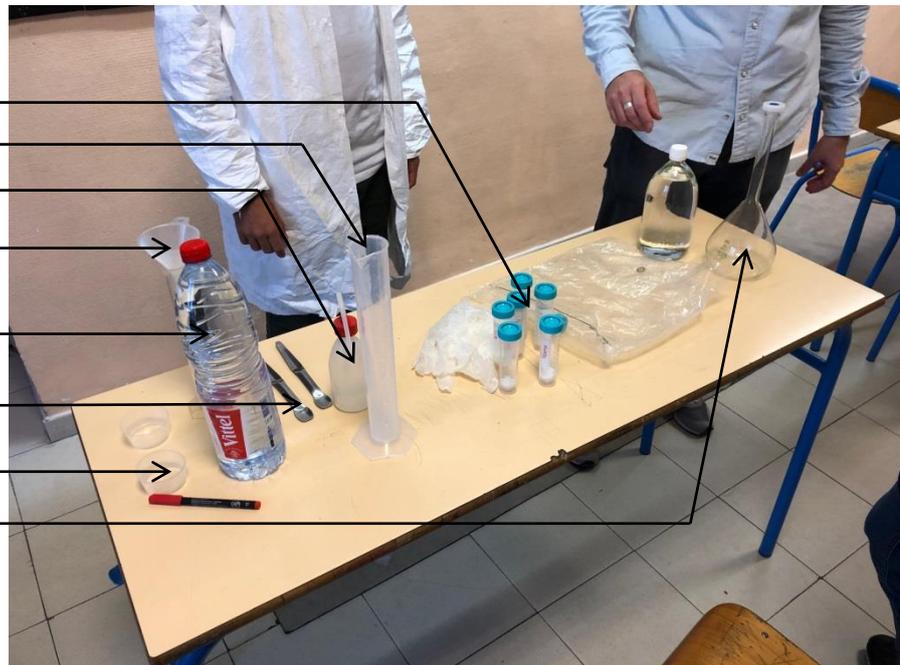
Nous avons ensuite décidé d'entreprendre notre préparation d'eau de mer selon le protocole expérimental suivant :

1. Placer la coupelle sur la balance pour les pesées

2. Appuyer sur la touche TARE
3. Verser la quantité nécessaire de la substance à l'aide d'une spatule jusqu'à en avoir la masse souhaitée
4. Verser la quantité de la substance souhaitée dans une fiole jaugée de 1L à l'aide d'un entonnoir, rincer l'entonnoir à l'aide d'eau distillée
5. Répéter cette opération pour chaque substance
6. Une fois toutes les substances versées, compléter avec de l'eau distillée sans remplir la fiole totalement
7. Placer la fiole sur un agitateur et attendre la dissolution complète
8. Supprimer le barreau aimanté
9. Ajuster avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge

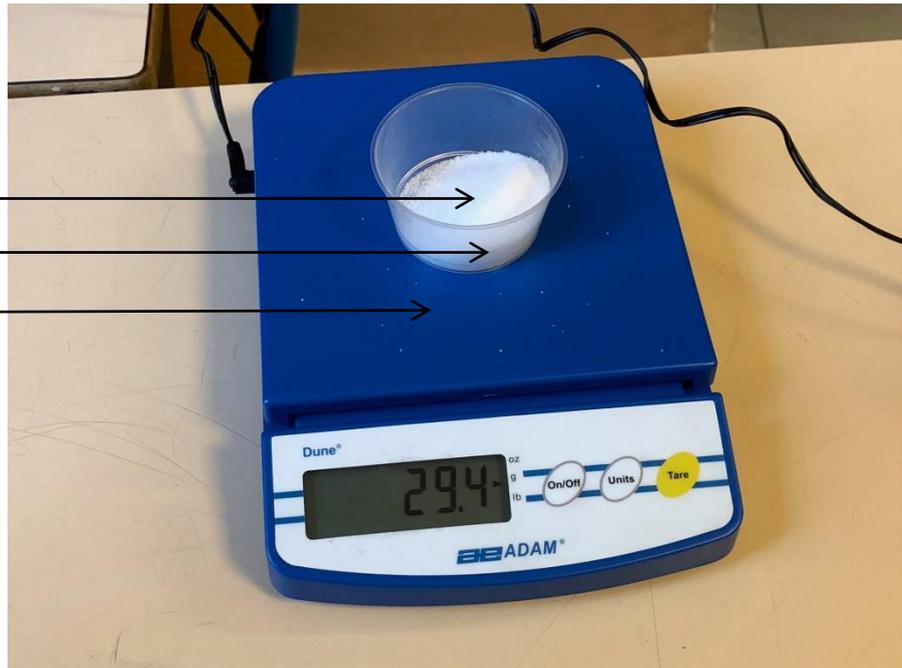
Photographies de la préparation de l'eau de mer :

- Les substances chimiques
- Eprouvette graduée
- Pissette
- Entonnoir
- Eau distillée
- Spatule
- Coupelle
- Fiole jaugée de 1L



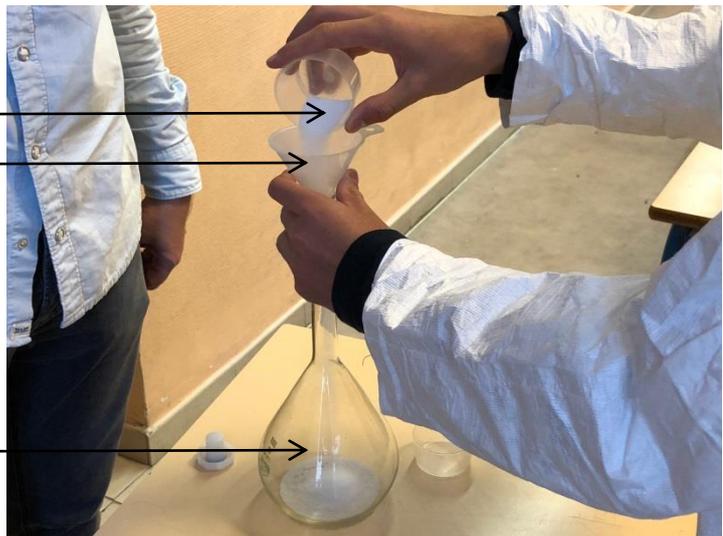
Pesée de chaque substance

Substance
Coupelle
Balance électronique



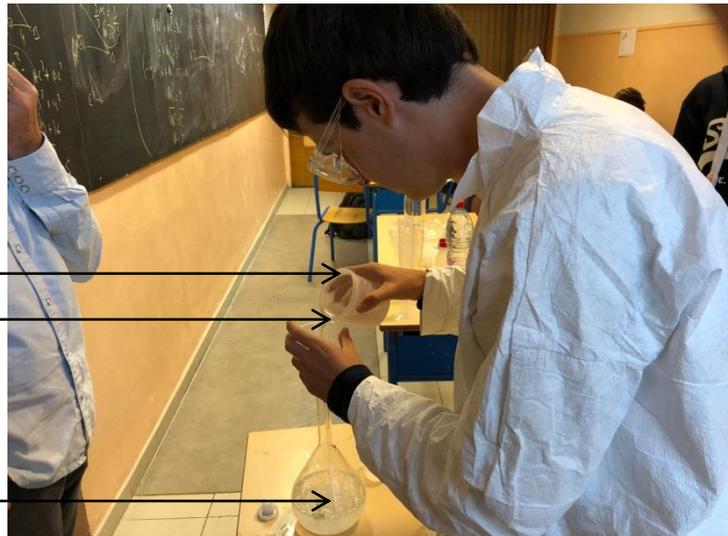
Ajout des substances dans la fiole

Substance
Entonnoir
Fiole jaugée



Ajout de l'eau distillée dans la

Bécher
Eau distillée
Fiole jaugée



Agitation de la préparation

Agitateur



Ajout de l'eau distillée jusqu'à la
marque à l'aide de la pissette

Pissette d'eau distillée



Nous avons vérifié le niveau de la
préparation en plaçant la fiole jaugée au
niveau de l'œil pour avoir le plus de
précision possible.

2. Les algues

a) Activité métabolique des algues

Une fois la préparation terminée, nous l'avons versée dans un bocal de 1 litre en verre puis nous l'avons conservé dans l'un des placards de notre établissement. Ce litre d'eau de mer nous permet à présent de mettre en place l'expérience sur les euglènes.

Pour cette expérience, nous supposons que la création d'extensions territoriales peut influencer sur la faune et la flore marine en créant des zones d'ombre où les rayons du soleil ne peuvent plus passer. Nous émettons alors l'hypothèse que la quantité de CO₂ ou O₂ rejetée et/ou consommée varie en fonction de l'intensité lumineuse et que cela a un impact sur la faune et la flore.

Nous avons décidé de mener cette expérience sur le comportement de ces algues dans un milieu privé de lumière puis exposé à la lumière blanche, rouge, verte ou bleue pour étudier la respiration de ces êtres. Avant de commencer, il est important de savoir que nous avons reproduit la même expérience avec les euglènes étant restées à l'obscurité pendant 2 semaines.

Pour cette expérience, nous avons décidé de tester sous 24 minutes les algues avec un changement de filtre toutes les 3 minutes en suivant cet ordre :

Obscurité : De 0 à 3 minutes

Lumière blanche : De 3 à 6 minutes

Obscurité : De 6 à 9 minutes

Lumière rouge : De 9 à 12 minutes

Obscurité : De 12 à 15 minutes

Lumière verte : De 15 à 18 minutes

Obscurité : De 18 à 21 minutes

Lumière bleue : De 21 à 24 minutes

Cette expérience utilise un module EXAO pour être menée à bien.

La photo ci-dessous montre le module EXAO connecté à l'ordinateur.

Pour réaliser cette expérience, nous avons utilisés le matériel suivant :

- Solution concentrée d'euglènes
- Eau de mer « maison »
- Capteur mesurant le CO₂ dissous en unité arbitraire

- Capteur mesurant l'O₂ dissous en milligramme par litre
- Capteur mesurant l'intensité lumineuse en lux.
- Un agitateur
- Un récipient clos avec des fentes de passage pour les capteurs
- Le logiciel LatisBio
- Trois filtres de couleur rouge, vert et bleu
- Deux filtres opaques
- Des éprouvettes pour garder les algues durant 2 semaines dans l'obscurité
- Lampe émettant de la lumière blanche
- Deux récipients stérilisés



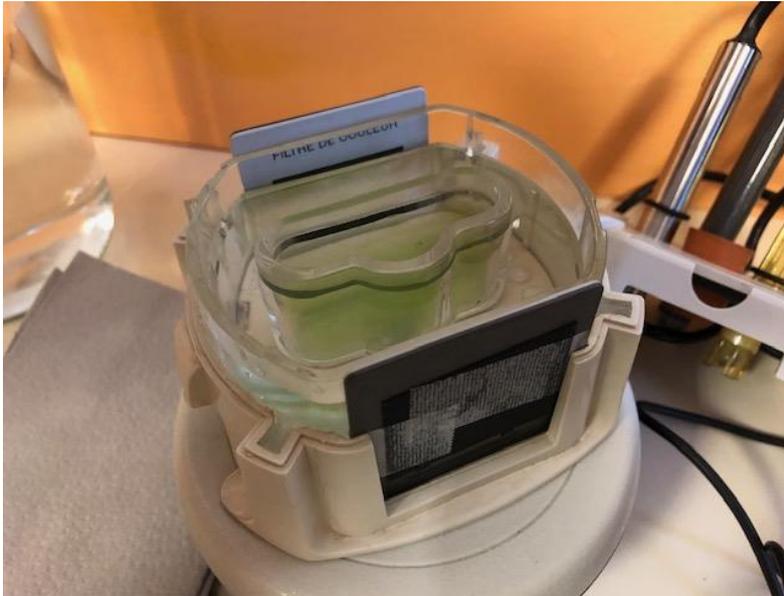
Module et capteur oxymètre (mesurant l'O₂ dissout)

Module et capteur mesurant le pH ou le CO₂ dissous

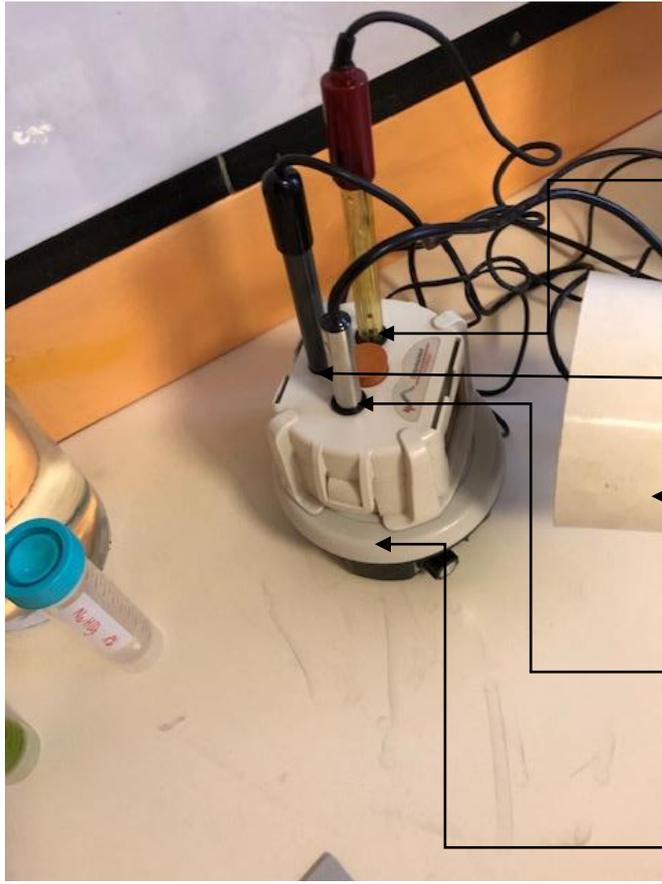
Module et capteur mesurant l'intensité

Une fois les capteurs dans le récipient contenant un mélange eau de mer/algues entouré d'eau minérale froide, nous avons lancé l'agitateur.

Le récipient



Ensuite nous avons fermé le récipient avec le couvercle où nous avons au préalable insérés les capteurs et des joints pour que le tout soit hermétiquement fermé.



Capteur luxmètre (mesurant la lumière).

Capteur mesurant la teneur en CO₂

Lampe (émettant de la lumière blanche).

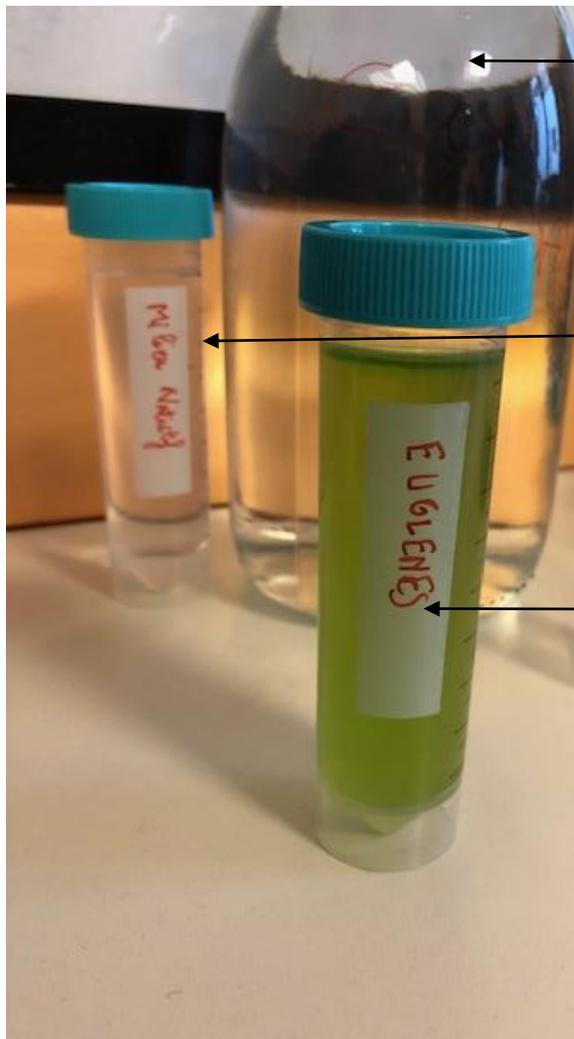
Capteur mesurant la teneur en O₂ dissous

Agitateur

Une fois la préparation de l'expérience terminée, nous avons branchés à l'ordinateur les capteurs et l'expérience a débutée. La photo si dessous montre le récipient pendant l'expérience avec un filtre de couleur bleue. Nous avons placé du côté opposé à la lampe un cache noir empêchant la lumière parasite de la pièce de fausser les résultats. Grâce au logiciel LatisBio, nous avons pu acquérir des graphiques de ces mesures. Sur les graphiques ont été créés des marqueurs toutes les 3 minutes, moment où les filtres ont été changés.



Filtre bleu

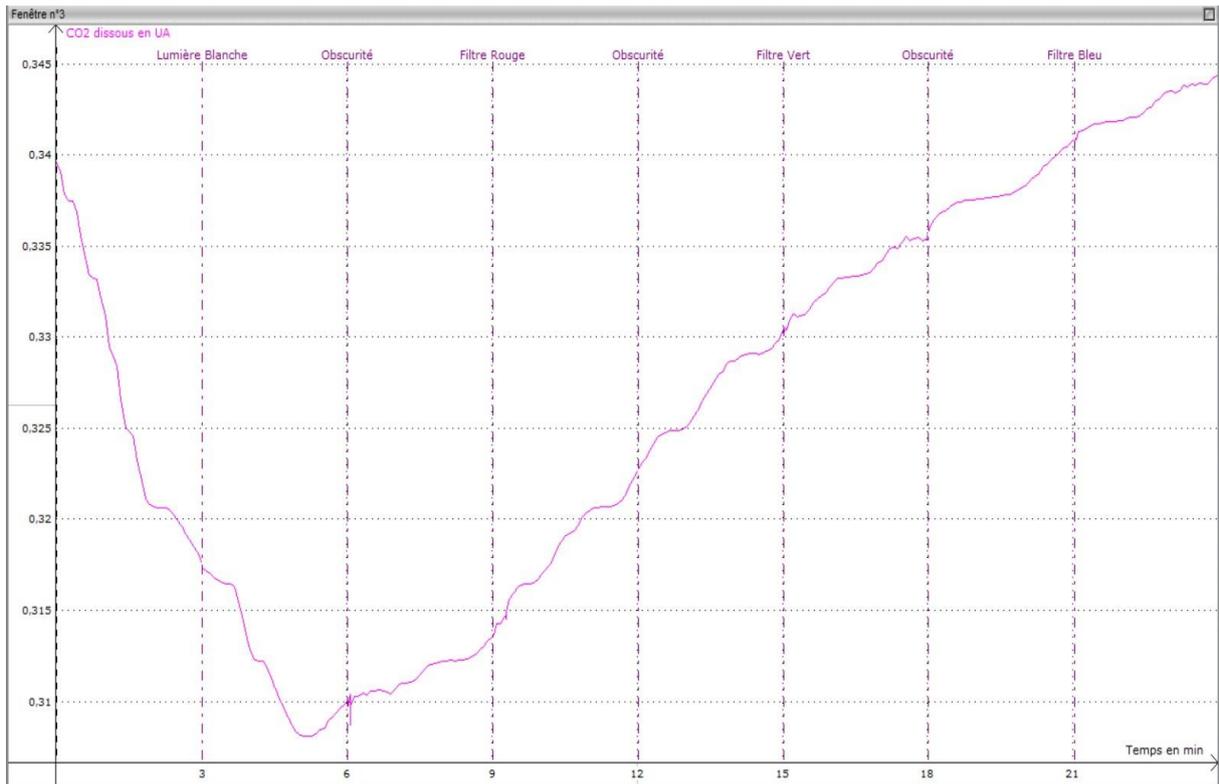


Eau de mer de synthèse

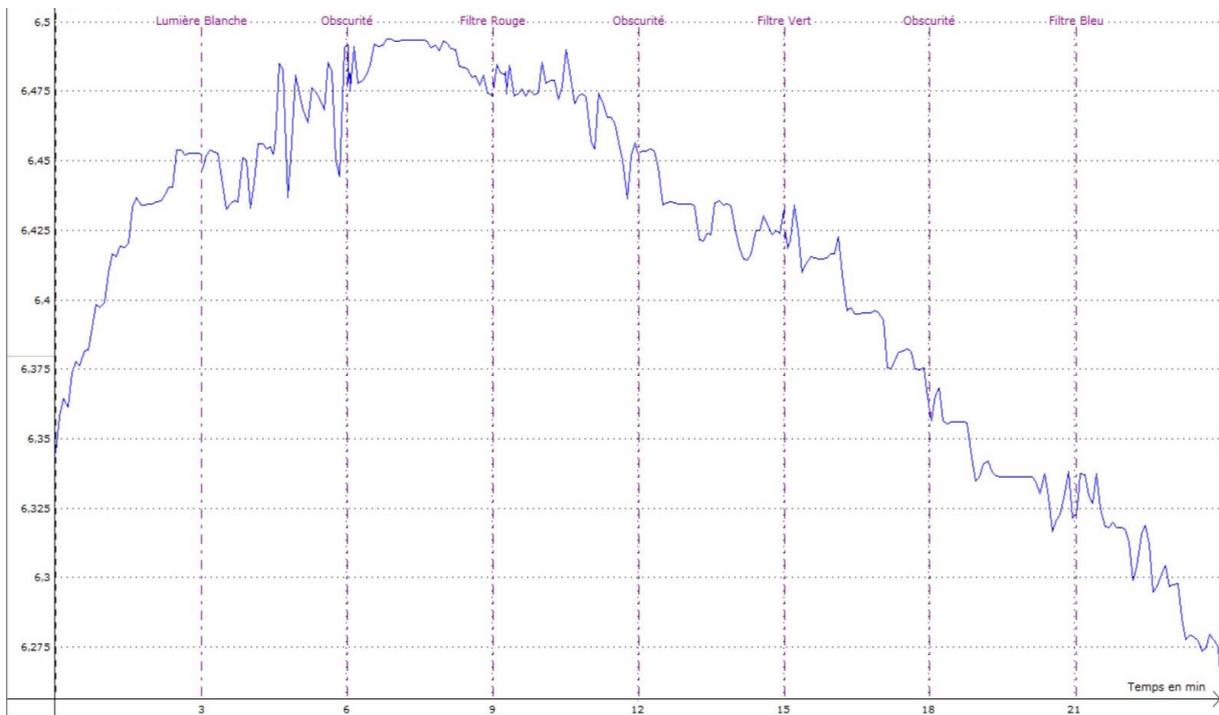
Solution de milieu nutritif pour les algues (expérience future)

Euglènes concentrées

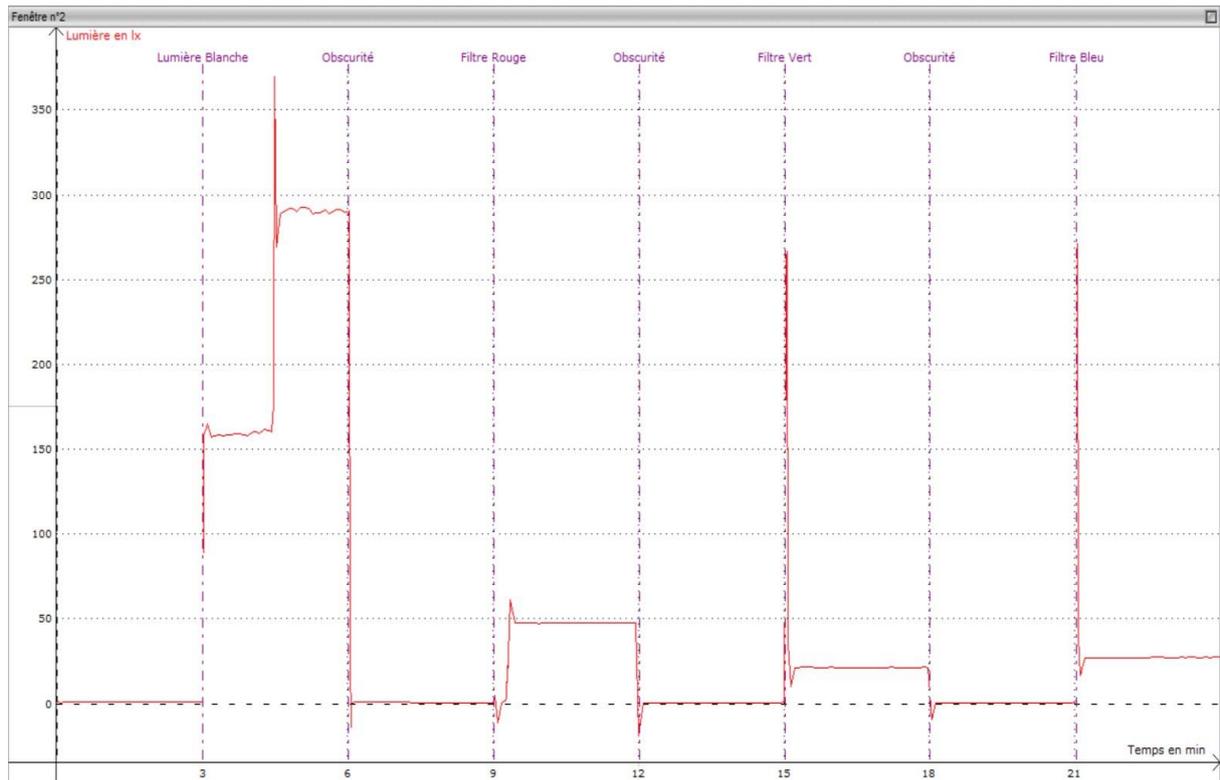
Voici les graphiques des expériences, les premiers avec l'eau de mer réalisée par nos soins, les seconds avec la solution de NaHCO_3 .



Graphique sur l'expérience des algues : CO₂ dissous en UA



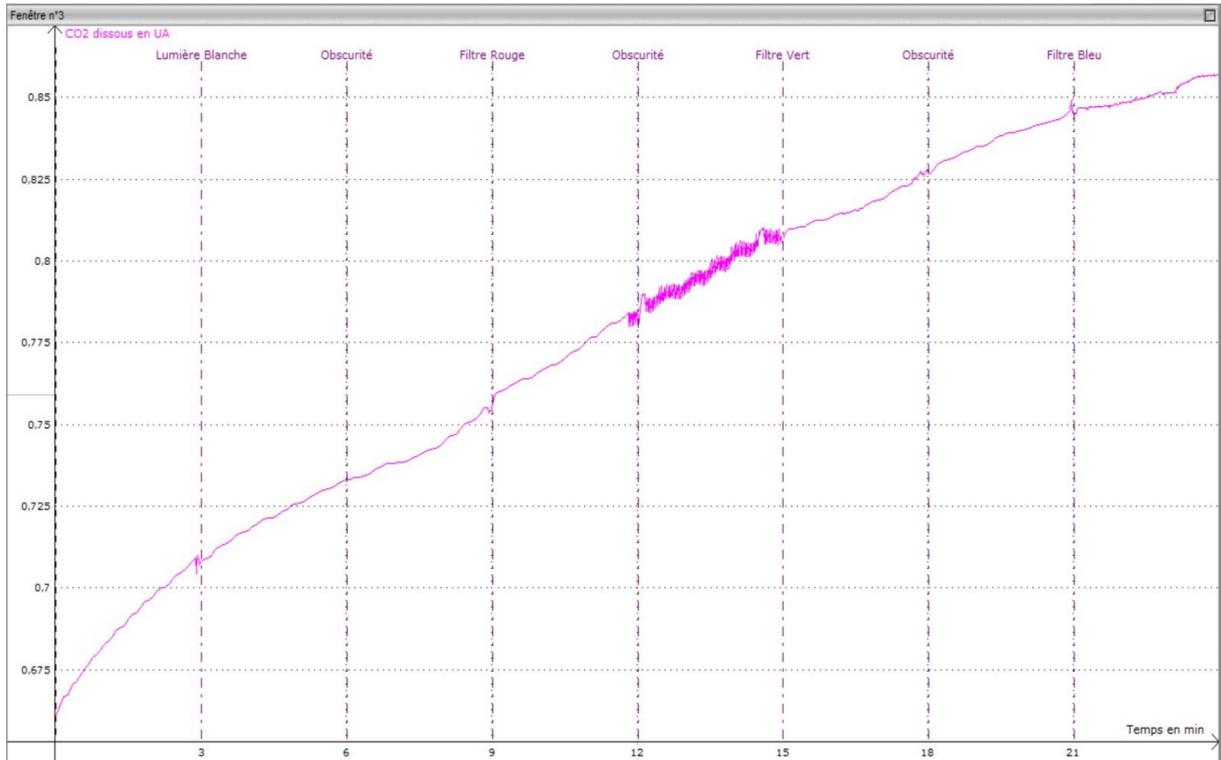
Graphique sur l'expérience des algues : O₂ dissous en microgramme/L



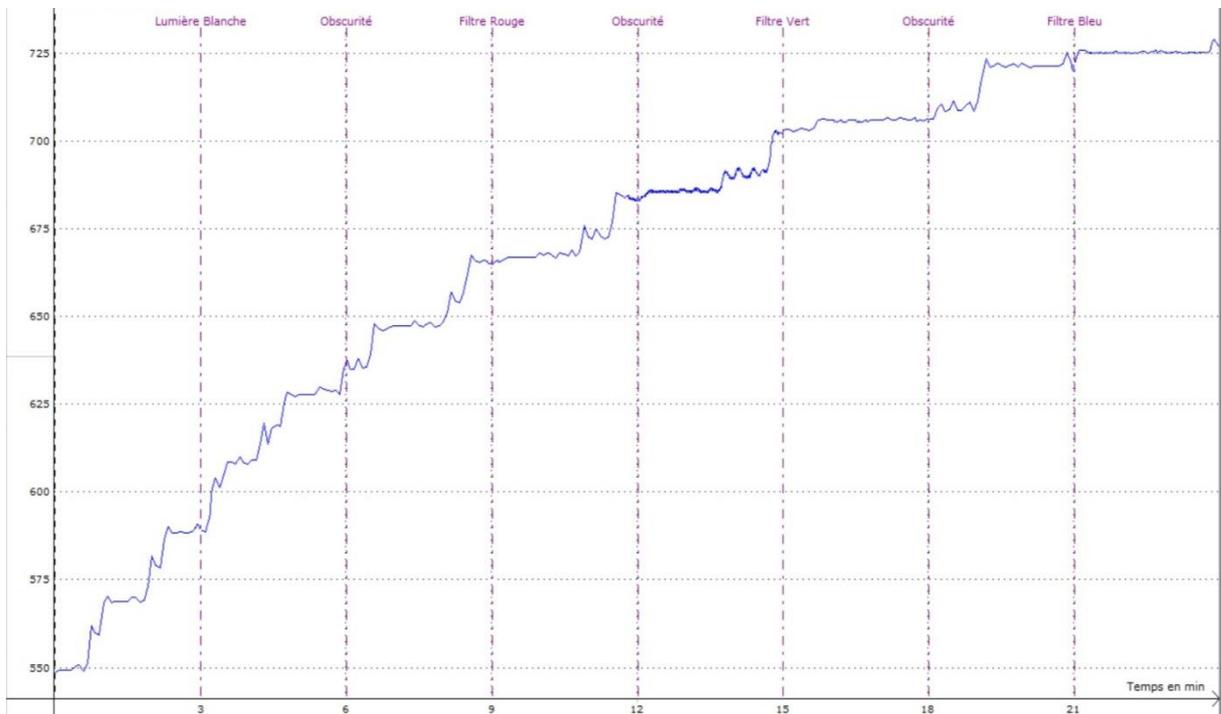
Graphique sur l'expérience des algues : intensité lumineuse en lx

Premièrement, nous avons dû recalibrer les graphiques qui n'étaient ni à la bonne unité ni à la bonne échelle. Ensuite, nous avons comparé les périodes d'obscurité et de lumière pour nous rendre compte que les algues ont des échanges gazeux qui diffèrent en fonction de la luminosité. Les échanges gazeux des algues avec leur environnement est donc dépendante du milieu. Nous devons donc regarder les points communs et différences entre cette expérience et celle avec des algues étant resté deux semaines à l'obscurité.

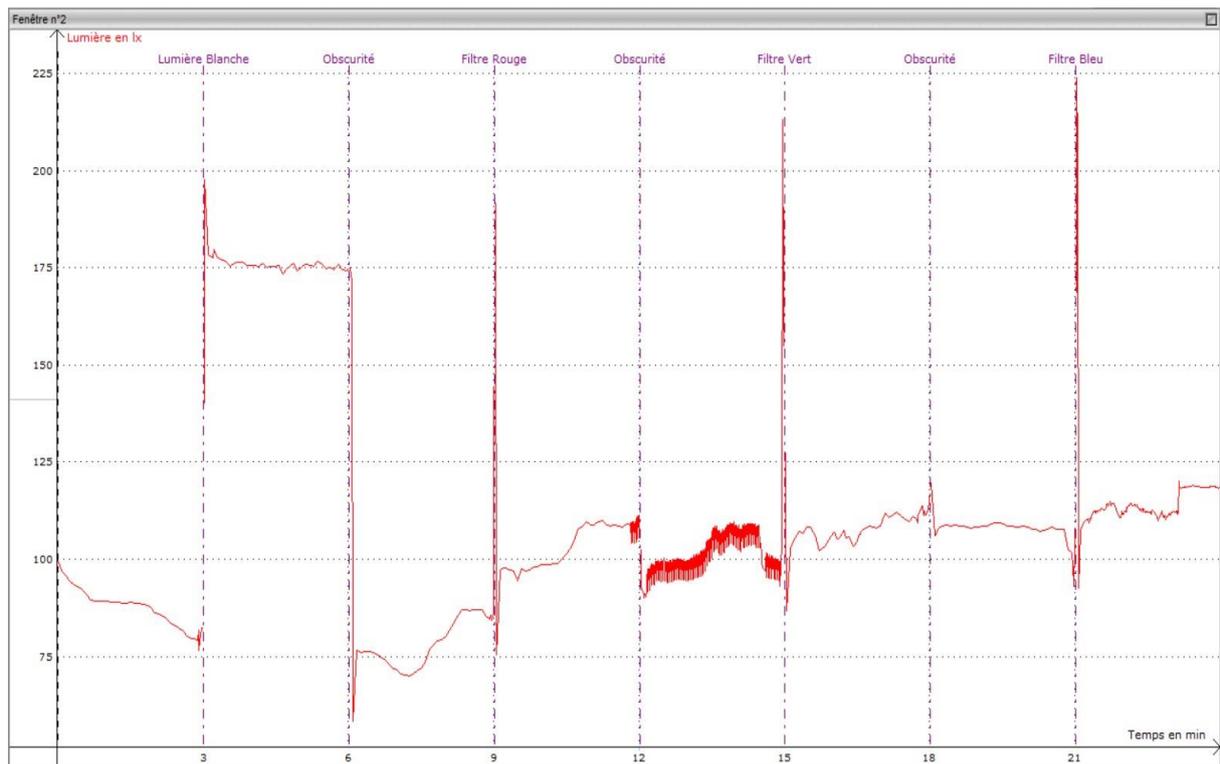
Premièrement, sur les graphiques de l'expérience avec l'eau de mer, on peut remarquer que là où la teneur en dioxygène augmente presque continuellement (environ jusqu'à la 7^{ème} minute), la teneur en dioxyde de carbone diminue dans le milieu (environ jusqu'à la 6^{ème} minute). Ensuite, on remarque que le contraire se produit : jusqu'à la 24^{ème} minute (et dernière), la teneur en dioxyde de carbone augmente tandis que la teneur en dioxygène diminue. Pour contextualiser le cas d'une extension territoriale coupant de la lumière une partie des fonds marins, nous avons par la suite utiliser des euglènes baignant dans un milieu nutritif à l'obscurité depuis deux semaines et nous avons reproduits la même expérience que sur les algues précédentes. Ci-dessous, nous pouvons voir la capture d'écran des graphiques de l'expérience des algues privées de lumière durant une période de deux semaines.



Graphique sur les algues de 2 semaines : CO₂ dissous en UA



Graphique sur les algues de 2 semaines : O₂ dissous en microgramme/L



Graphique sur les algues de 2 semaines : Intensité lumineuse en lx

Nous pouvons remarquer que le CO_2 et l' O_2 augmentent durant toute la durée de l'expérience peu importe la luminosité. Entre la 12^{ème} et la 15^{ème} minute, nous avons hélas légèrement bougé la table ce qui a un peu modifié les résultats durant cette période. Nous pouvons supposer que le graphique a été faussé mais nous ne savons pas quel en serait la cause. Si la teneur en dioxygène et en dioxyde de carbone augmente, cela doit être à cause d'autres êtres ou évènements. Cependant, nous avons pu voir, encore une fois à l'aide du microscope, que les euglènes ne sont pas mortes.

Pour conclure cette expérience, nous pensons que la privation de lumière pouvant être entraînée par les structures des extensions peut être très néfaste pour un milieu marin, empêchant son renouvellement en dioxygène en le privant de lumière. A long terme, si les courants marins n'apportent pas l'oxygène nécessaire, cela pourrait rendre une zone entière impropre à la vie. Il est donc important lors de la conception d'extensions territoriales, de prendre en compte ce facteur et de trouver une solution, comme le déplacement de la faune et de la flore marine dans un lieu plus propice (exemple des récifs artificiels monégasques imprimés en 3D).

3. Protection d'espèces marines protégées

En effet des plongeurs ont déplacé, avant le début des travaux, 143 grandes nacres (*Pinna nobilis*), une espèce protégée présente sur le lieu de construction, dans la réserve marine du Larvotto. De plus, certains rochers colonisés par l'algue protégée « *Lithophyllum Byssoides* » ont été relocalisés afin de les préserver. Un prélèvement de 518 m² d'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) a été réimplanté dans des jardinières sous-marines au pied de la digue de Fontvieille (115 m²) et dans la réserve du Larvotto (385 m²). Enfin, la Caulerpe (*Caulerpa taxifolia*), une espèce d'algue invasive, a fait l'objet d'une éradication complète avant le début des travaux maritimes. Des fragments échappés d'aquarium ont pu se multiplier et se développer de manière fulgurante et très envahissante, valant à l'algue le surnom d'« algue tueuse ».

4. Diminution de la turbidité et de la pollution sonore

De nombreuses procédures ont été mises en place pour limiter l'impact de la construction sur les monégasques et la vie marine. En effet, des bouées permettant le suivi de la turbidité, c'est-à-dire l'ensemble des particules en suspension dans l'eau de mer, ont été installées autour du chantier afin de pouvoir surveiller et déclencher des alertes si nécessaire. Des écrans sous-marins anti-turbidité le long des réverses du Larvotto et des Spélugues (100 mètres environ chacun) ont également été installées autour du chantier. Bouygues Travaux Publics a aussi mis en place un écran de protection phonique d'une hauteur de 5 mètres et d'une longueur de 500 mètres le long de la promenade des champions. Enfin, des bouées spécifiques permettant le suivi sonore marin pendant les phases de draguages, un code de bonne conduite ou encore des opérations régulières de nettoyage des fonds marins ont été mises en place.

5. Observation microscopique des euglènes à j0 et à j15

Après avoir déduit de nos expériences que la lumière était essentielle à la survie d'un milieu marin, nous émettons l'hypothèse que les euglènes sont constituées de cellules permettant de changer le dioxygène en dioxyde de carbone et inversement et que ce processus fonctionne grâce à la lumière. Nous avons alors décidé d'observer les euglènes au microscope pour pouvoir les comparer.

Protocole :

Nous plaçons entre une lame et une lamelle une goutte de suspension d'euglènes éclairée et nous réalisons la même expérience avec une suspension d'euglènes privés de lumières pendant 15 jours.



Pour faire une comparaison et en tirer une conclusion, nous avons tout d'abord observer les euglènes avant toute manipulation, voilà ce que l'on observe au microscope.

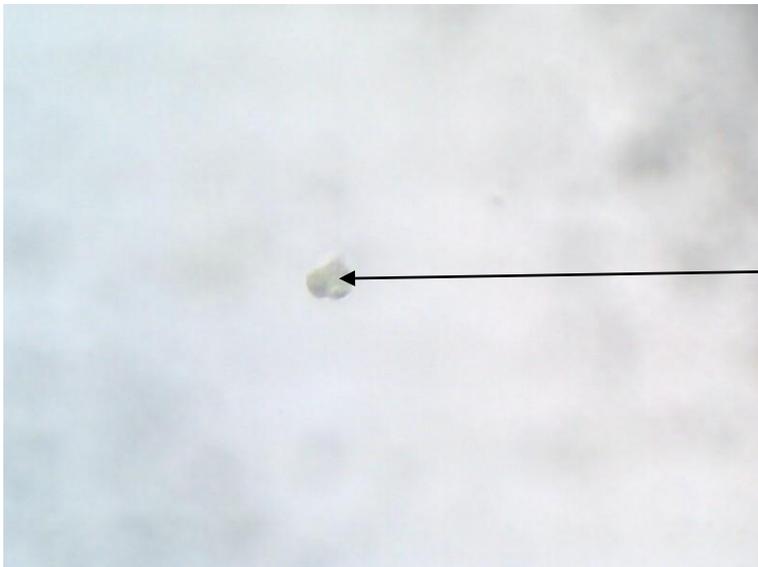
Jour 0



Euglène

Après avoir passé 15 jours dans le noir, voilà ce que l'on observe au microscope.

Jour 15



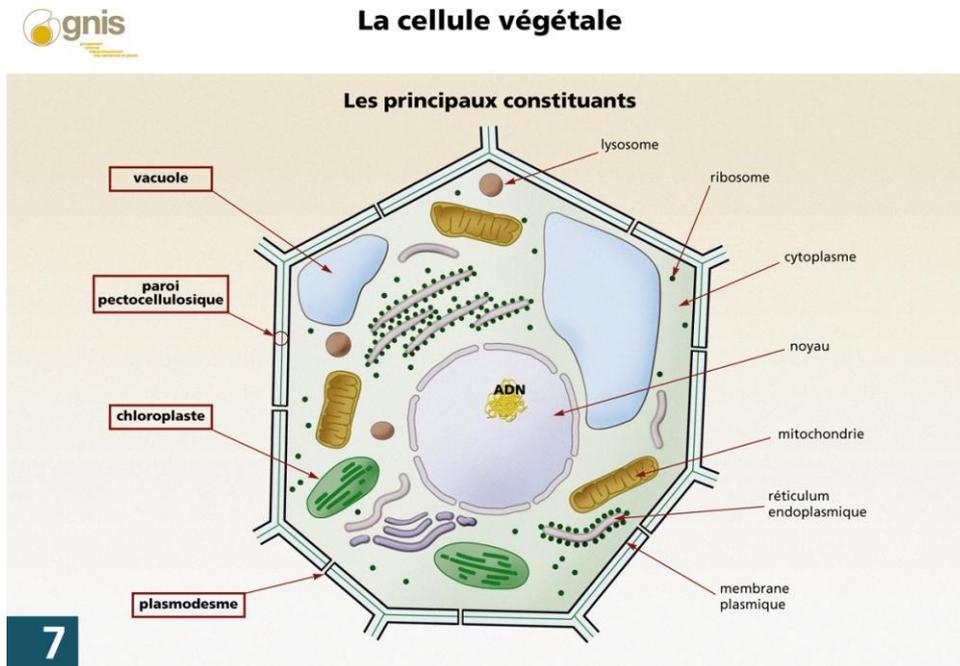
Euglène de
deux
semaines

Nous pouvons remarquer la présence d'une coloration verte et de plusieurs organites verts en plus grand nombre et plus colorés dans les cellules éclairées par rapport à celles privées de

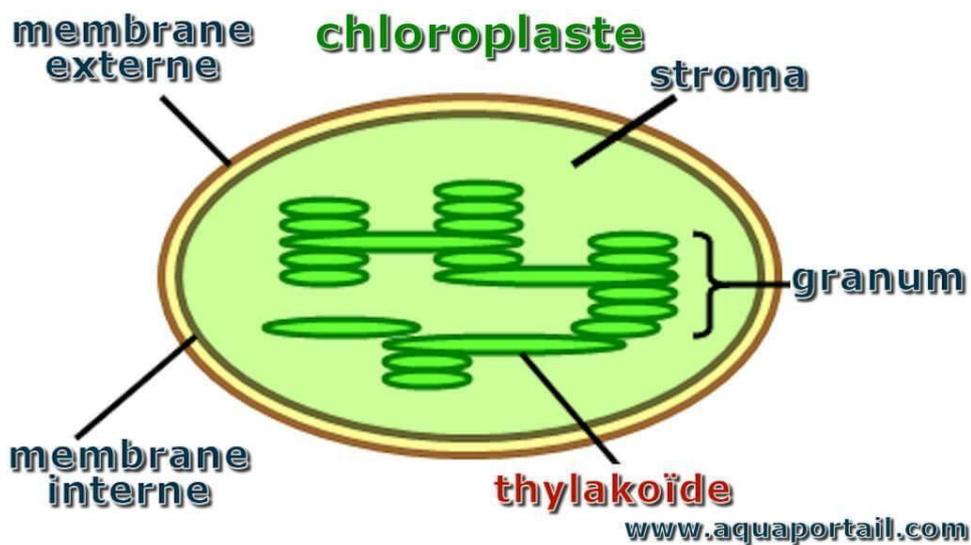
lumière. Nous en déduisons la présence d'un organe impliquée dans la réalisation de ces échanges : le chloroplaste, qui a une couleur verte dû à la chlorophylle.

6. Recherches sur les activités métaboliques

a. Etude de la photosynthèse



La cellule végétale



Composition des chloroplastes

Le rôle principal des chloroplastes est de procéder à la photosynthèse, où le pigment photosynthétique de la chlorophylle capte l'énergie de la lumière du soleil et la stocke dans les molécules de stockage d'énergie ATP tout en libérant de l'oxygène de l'eau.

II. Nécessités physiques

A. Composition géologique

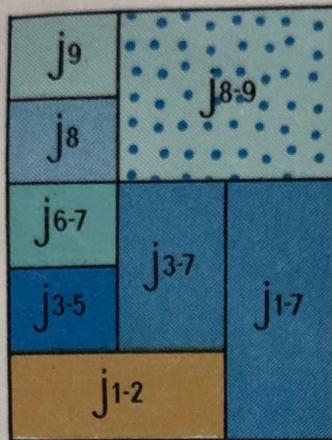
La construction de l'extension en mer de Monaco doit respecter de nombreuses contraintes dues à la localisation du site, à l'environnement du lieu, aux aléas climatiques ou encore à la qualité du sol accueillant la construction. En effet ce dernier critère est essentiel car l'ensemble du bâtiment reposera sur le sol. Sa composition, sa durabilité ou encore sa stabilité sont des paramètres qu'il faut absolument étudiés et prendre en compte pour assurer la sécurité et la fiabilité de l'extension. Nous avons donc décidé d'analyser la composition du sol marin de la région de Monaco.

1. Analyse d'une carte géologique

Pour cela, nous avons étudié une carte papier représentant la composition du sol de la région de Nice et de Monaco dont nous avons tiré les informations suivantes :



Vue rapprochée de la carte géologique (photo personnelle)



- j⁹ Portlandien (Tithonique et Purbeckien) Calcaires généralement en gros bancs blancs
 j⁸ Kimméridgien
 Calcaires en gros bancs bruns et dolomie grise
 j⁶⁻⁷ Rauracien-Séquanien
 Calcaires sublithographiques clairs
 j³⁻⁵ Callovien-Oxfordien-Argovien
 Calcaires marneux et marno-calcaires sombres (NW)
 Calcaires grumeleux et dolomies en plaquettes (SE)
 j¹⁻² Bajocien-Bathonien
 Calcaires gris foncé et calcaires marneux (NW)
 Calcaires oolithiques et calcaires massifs clairs ou roux (Centre)
 Calcaires blancs alternant avec dolomies grises, ou seulement dolomies gris clair, base noduleuse détritique (SE)
 j⁸⁻⁹ Malm supérieur indifférencié
 j³⁻⁷ Malm inférieur indifférencié
 j¹⁻⁷ Dogger et Malm inférieur indifférenciés dans des séries réduites et monotones ou dans des ensembles entièrement dolomitiques

Légende de la carte géologique (photo personnelle)

Géologie des sols côtiers monégasques, niçois et mentonnais :

Terres monégasques :

- Portlandien (tithonique), calcaire (généralement en gros bancs blancs)
- Le Rocher/Monte Carlo: éboulis de pierrailles généralement non cimentés
- Bord de mer monégasque : sables coquilliers (Monte-Carlo), Herbiers (Les Moulins-Saint Roman)

Source de la carte: Carte Géologique au 1/50 000, Bureau de recherches géologiques et minières Menton-Nice XXXVII-42-43 (Direction du service géologique et des laboratoires Boite Postale 818 – 45 – Orléans-La-Source BRGM)

2. Le calcaire

D'après nos observations, la roche calcaire semble occuper la part la plus importante dans la composition du sol de marin de la région de Monaco. Nous avons donc décidé d'analyser cette roche. Le calcaire est une roche sédimentaire constituée à plus de 50 % de carbonate de calcium (CaCO_3) et d'un pourcentage plus faible d'argile. Le carbonate peut donner trois minéraux :

- la calcite CaCO_3 .
- l'aragonite, qui constitue les concrétions, a la même formule chimique que la calcite mais des cristaux agencés différemment.
- la dolomite (CaCO_3), qui est enrichie en carbonate de magnésium (MgCO_3).

3. Calcul de la densité du calcaire

Nous avons décidé pour notre étude de calculer la densité de la roche de calcaire. Connaître sa densité nous permettra ensuite de mettre en place des critères de constructions adaptés aux caractéristiques de ce sol. D'après quelques recherches effectuées sur internet (<https://sites.google.com/site/jeanrostandtechnologie/matieres-premieres-etmateriaux/proprietes-des-materiaux/densite-de-quelques-materiaux>), nous avons trouvé que la densité du calcaire variait entre 2.68 et 2.76. Nous devrions donc obtenir une densité similaire grâce à notre expérience dont voici le matériel et le protocole:

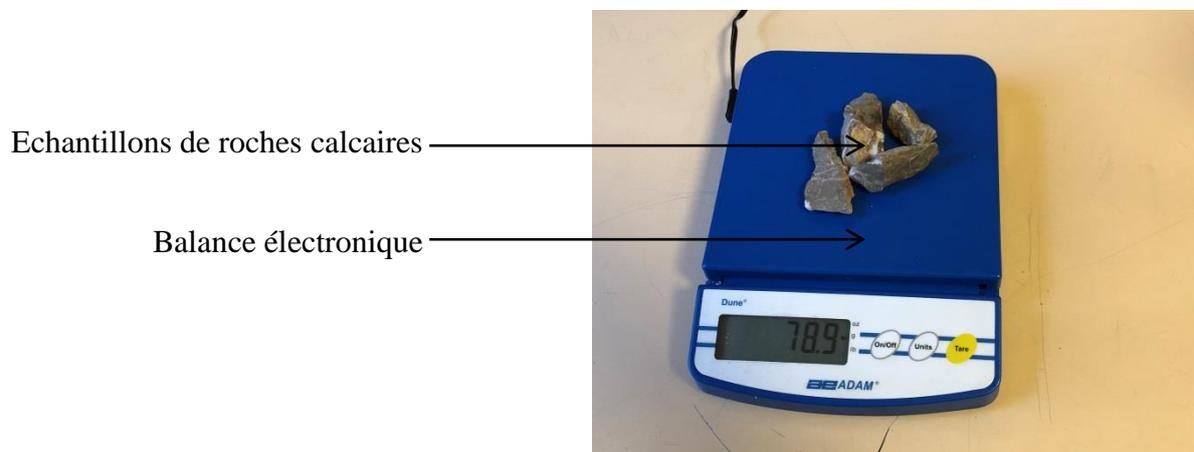
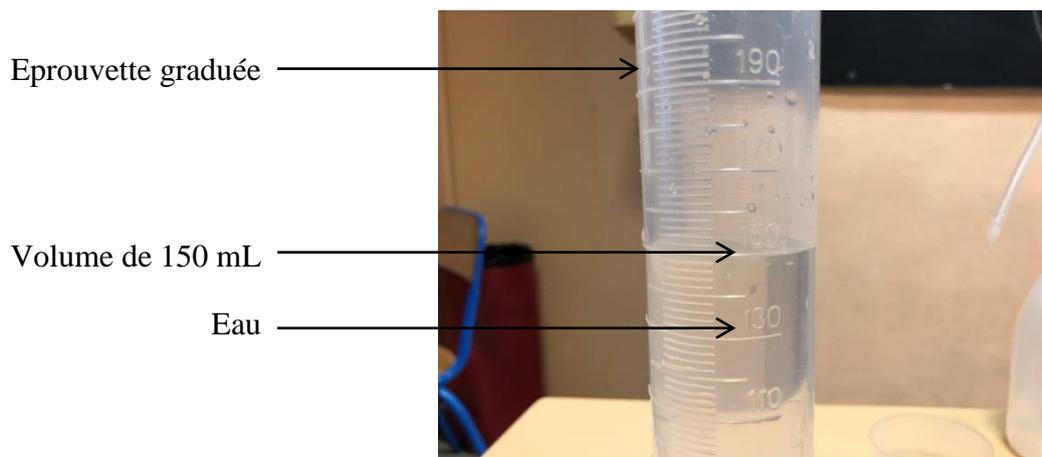
Matériel:

- Echantillons de roches calcaires
- Balance électronique
- Eprouvette graduée de 200 mL
- 200 mL d'eau du robinet

Protocole :

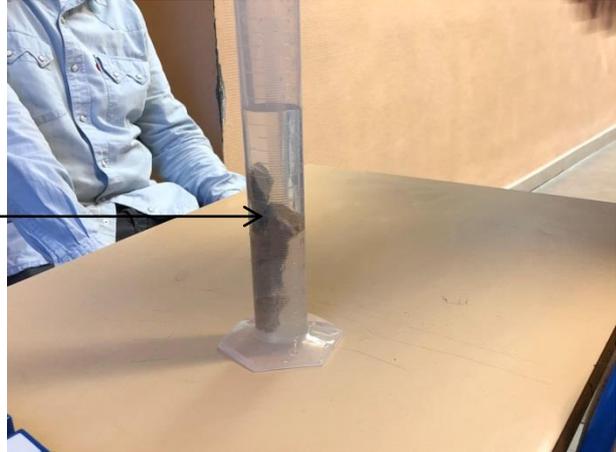
1. Peser les échantillons de roche à la balance de précision (en gramme)
2. Evaluer le volume (en cm^3) des échantillons de roche en les plaçant dans une éprouvette contenant un volume d'eau déterminé

Photographies du calcul de la densité du calcaire :



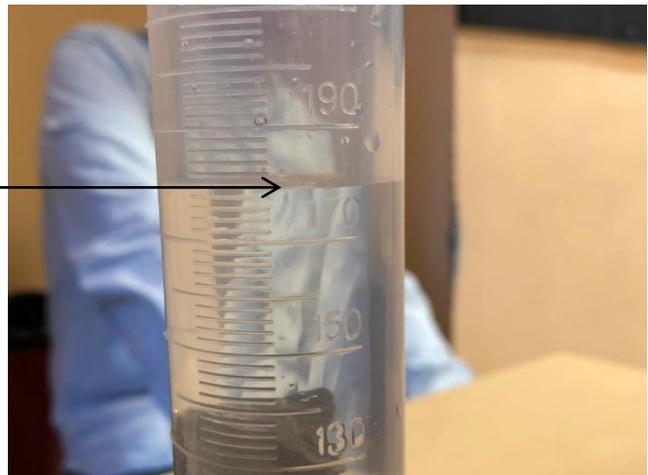
Pesée des roches

Echantillons de roches calcaires



Ajout des roches dans l'eau

Volume de 180 mL



Données et résultats de l'expérience :

La masse de l'ensemble des échantillons de roche était de 78,9 g. Nous avons ensuite versé 150 mL d'eau dans l'éprouvette graduée. Puis nous avons placé les roches dans l'éprouvette. Le niveau de l'eau indiquait cette fois 180 mL.

Ces différentes informations nous permettent de calculer la masse volumique des roches calcaires. Par définition, la masse volumique, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume.

Elle est déterminée par le rapport suivant :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m est la masse de la substance homogène occupant un volume V

Remplaçons par les valeurs calculées :

$$\rho_{\text{roches}} = m_{\text{roches}} / (V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$$

$$\rho = \frac{78,9}{30} = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

Finalement, nous pouvons calculer la densité des roches calcaires. Par définition, la densité est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps pris comme référence. Pour les liquides et les solides, le corps de référence est l'eau pure à 4 °C dont la masse volumique est de 1 g/cm³. La densité est déterminée par le rapport suivant :

$$d = \rho_{\text{corps}} / \rho_{\text{référence}}$$

ρ_{corps} est la masse volumique du corps considéré, et $\rho_{\text{référence}}$ est la masse volumique du corps de référence (la densité n'a pas d'unité car c'est le rapport de deux valeurs de même unité).

Remplaçons par les valeurs calculées :

$$d_{\text{calcaire}} = \rho_{\text{roches}} / \rho_{\text{eau}}$$

$$d_{\text{calcaire}} = \frac{2,63}{1} = 2,63$$

Nous avons donc calculé une densité de 2,63. Or cette valeur est proche à l'intervalle [2,68 ; 2,76]. Comme les résultats sont un peu différents, nous pouvons en déduire que les échantillons de roches calcaires que nous avons étudiés ne sont pas totalement identiques et sont composés d'autres matériaux à un très faible pourcentage.

4. Elaboration des caractéristiques de la construction d'une extension sur ce type de sol

Un sol plutôt rocheux (mais pas du rocher), ou sablonneux, ou composé de gravier, sera plutôt favorable.

A l'inverse, un sol argileux ou constitué de remblai sera instable et nécessitera des renforts coûteux (glissement de terrain).

B. Etude du risque sismique

Les séismes proviennent de la libération brutale d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches, ce qui provoque des mouvements brusques ou des tremblements de terre. Selon leur magnitude ils peuvent causer des effets recensés dans le tableau ci-après :

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos
1	Secousse imperceptible

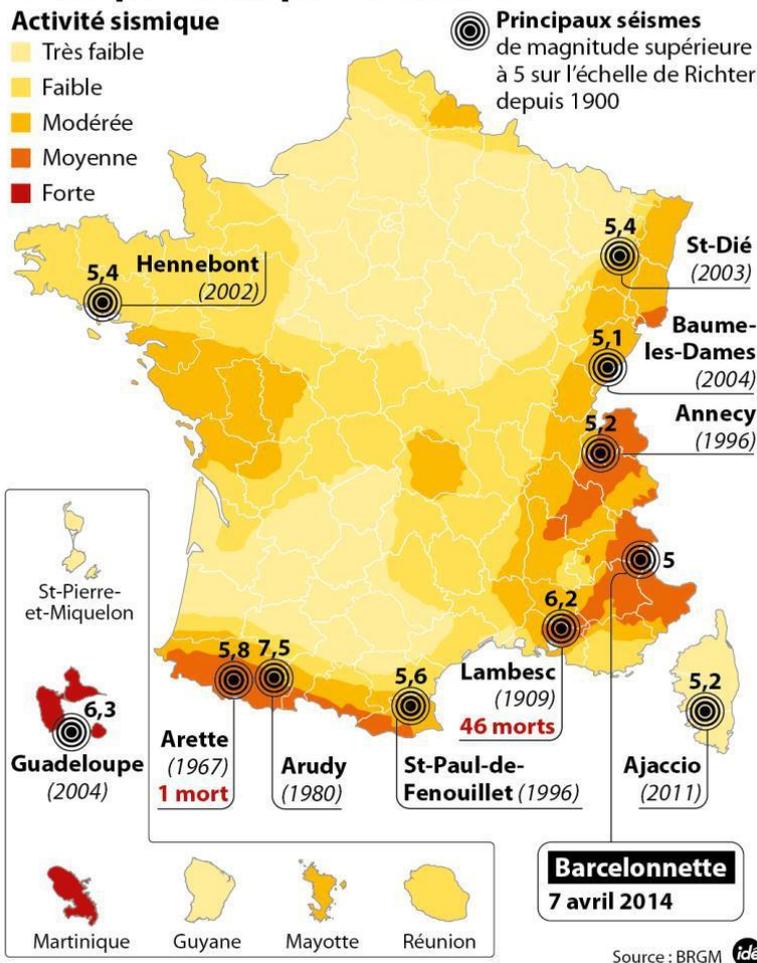
Classement des magnitudes (<https://vetusienne.legtux.org/articles.php?lng=fr&pg=2041&tonfig=0>)

Nous étudions les risques sismiques, la composition du sol et la densité des différents matériaux que composent le sol maritime de la région de Nice, car ces différents éléments sont nécessaires au choix de la zone de construction d'extensions territoriales et d'îles artificielles.

1. Analyse d'une carte sismique

La région niçoise se situant au contact des plaques tectoniques africaines et européennes, est donc le siège des secousses sismiques lors des réajustements de plaques, la région Niçoise est la région la plus sismique de France.

Le risque sismique en France



Carte des risques sismiques en France (<https://www.nice.fr/fr/gestion-des-risques/les-seismes>)

2. Etudes des dangers et des conséquences d'un séisme

Pour limiter les morts et la destruction lors d'activités sismiques, une norme parasismique a été mise en place au Japon, pour que les bâtiments puissent résister à d'éventuels séismes. Les normes sont :

- Choisir un sol rigide
- Une architecture régulière (ex: demi-cercle,...)
- Une structure déformable (ex: bois, acier ou béton armé)
- Répartir les charges d'un étage à l'autre
- Dans les zones de fortes sismicités, utiliser des appuis parasismiques (ex: socle en caoutchouc, matière élastique ou des amortisseurs).

Les conséquences des séismes sont principalement environnementales, ils provoquent des changements de paysages, tel que des éboulements, des glissements de terrains, des liquéfactions ou encore des ruptures de surfaces. Ces conséquences sont souvent modérées, mais elles peuvent aussi provoquer de nombreuses pollutions qui peuvent être fatales à un grand nombre de personnes.

3. Etude des structures adaptées aux risques sismiques du site de l'extension

Lors d'un séisme, le sol est le moteur du comportement de la structure du bâtiment. Les bâtiments sont donc victimes de ses mouvements anarchiques. Cependant, après un séisme, les structures des bâtiments tendent à revenir à une position d'avant séisme.

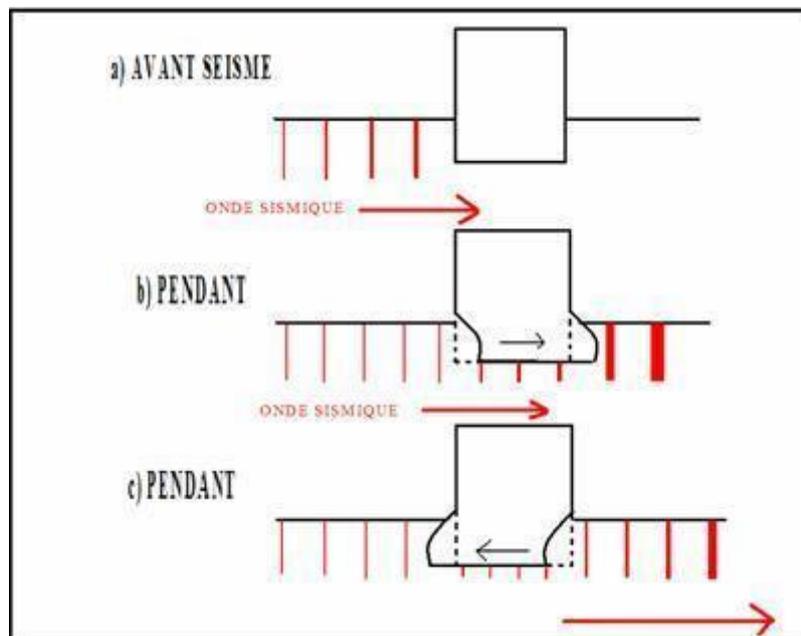


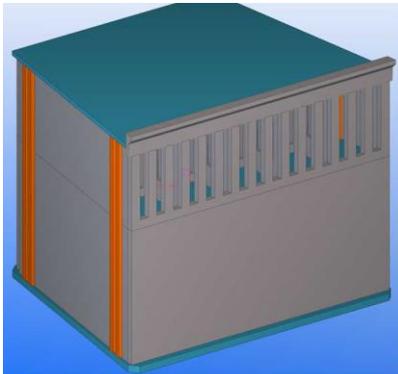
Schéma de la propagation d'une onde sismique (http://cmoiii5.free.fr/parasismique/tpe_entier.php)

Si les constructions ont été conçues et réalisées suivant les normes en zone sismique, elles passeront par leur position initiale et se mettront à osciller. Au cours du mouvement, le bâtiment parasismique doit réagir dans un temps très court (quelques dizaines de secondes) sans dommage majeur. La rupture survient si le bâtiment n'a pas été conçu pour résister à ces mouvements.

III. Nécessité des matériaux utilisés

A. Etude de la flottaison

La construction de l'extension de Monaco est composée de nombreuses étapes comme le dragage du fond marin, le déplacement d'espèces marines protégées ou encore la pose de caissons. En effet, l'une des étapes cruciales de la construction de l'extension en mer de Monaco est la pose de 18 caissons en béton formant une ceinture autour de la construction. Ces caissons, de forme trapézoïdale, ont le rôle de briser les fortes houles pouvant s'abattre sur l'extension mais permettent également d'accueillir, dans des cavités, des espèces marines.



Caisson : méga-structure creuse en béton armé, préfabriquée sur un site distant et remorquée en flottaison vers le site d'utilisation. A pour fonction de protéger le remblai du terre-plein des assauts de la mer.

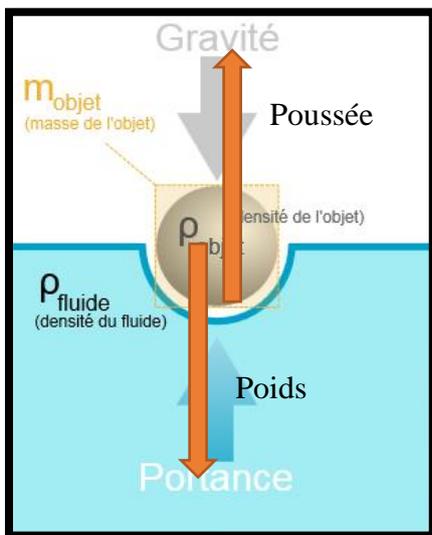
Caisson (image issue de documents privés)

Caisson

Ces caissons sont coulés dans des caissonniers, barge semi-submersible permettant de construire des caissons en béton armé par extrusion, à l'aide de coffrages glissants. Ce coulage s'effectue dans le port de Marseille à plus de 220 km du site de construction. Une fois les caissons coulés, ces-derniers sont acheminés par la mer vers Monaco en étant tractés par bateau. L'entreprise en charge de projet a décidé de les transporter par voie marine car les amener à la principauté par voie terrestre aurait eu un impact écologique plus lourd. Ces caissons gigantesques de plus de 10 000 tonnes chacun doivent donc respecter certains critères de construction afin de pouvoir flotter. Nous nous demandons donc quels sont les paramètres ayant une influence sur la flottaison d'un objet.

1. Etude de la flottaison d'un objet immergé

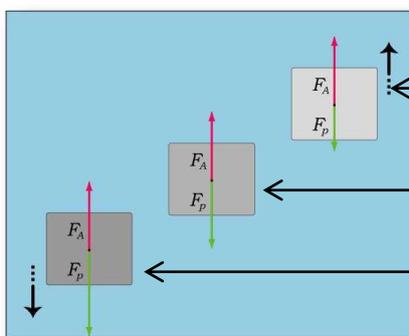
Dans un fluide (gaz ou liquide), les corps sont soumis à la poussée d'Archimède. Les corps ont une flottabilité différente selon leur masse volumique et donc leur densité dont la définition a été donnée précédemment. La flottabilité est la poussée verticale, dirigée de bas en haut, qu'un fluide exerce sur un volume immergé. La flottabilité agit toujours dans la direction opposée au poids.



La portance : la portance est la composante de la force subie par un corps en mouvement dans un fluide qui s'exerce perpendiculairement à la direction du mouvement.

Forces impliquées dans la flottaison (1) (<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-pousee-archimede-8127/>)

Selon la différence entre la poussée d'Archimède P_A et le poids réel P_r , on distingue trois situations.



- positive ($P_A > P_r$) : l'objet remonte
- nulle ($P_A = P_r$) : l'objet flotte entre deux eaux
- négative ($P_A < P_r$) : l'objet coule

Forces impliquées dans la flottaison (2) (<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-pousee-archimede-8127/>)

Pour qu'un objet flotte, il faut donc que sa densité soit inférieure à celle du liquide dans lequel il se trouve.

2. Expérience sur la flottaison d'objet

Nous supposons donc que pour qu'un objet flotte, il faut que sa densité soit inférieure à celle du liquide dans lequel il se trouve. Nous avons alors mis en place une expérience afin de confirmer cette hypothèse. Ci-dessous, le protocole et le matériel de l'expérience :

Matériel :

- Un récipient en verre d'un volume de plus d'un litre
- Une bille métallique et un morceau de mousse
- 1L d'eau de mer
- Une balance électronique
- Une règle

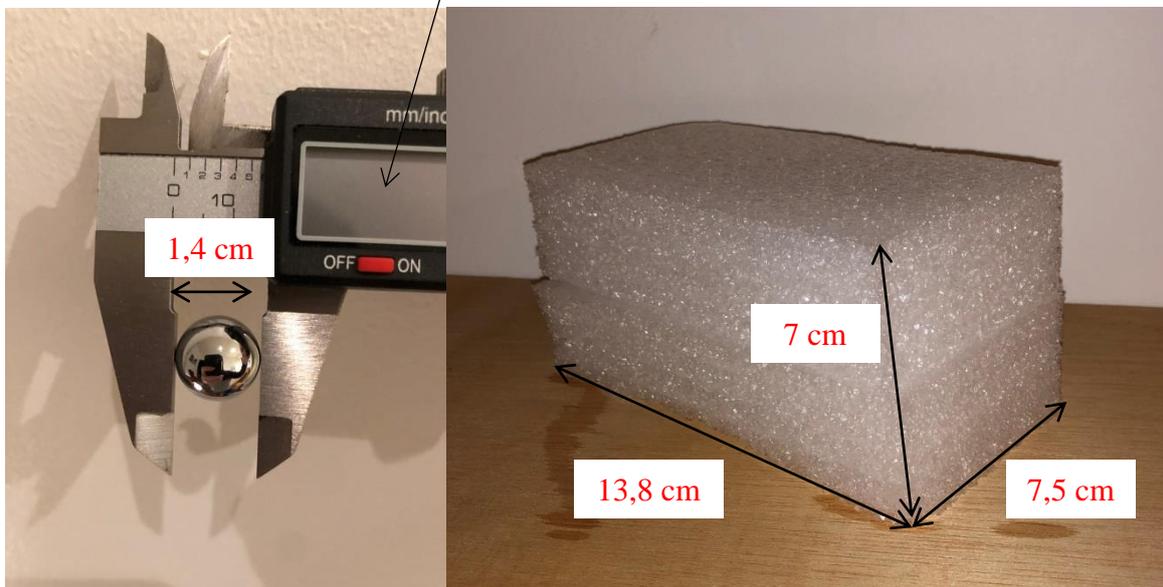
Protocole :

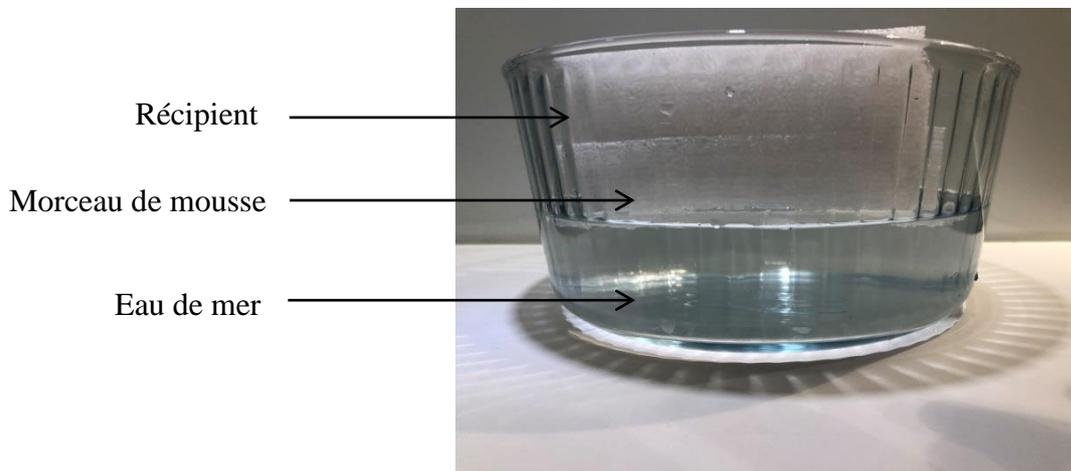
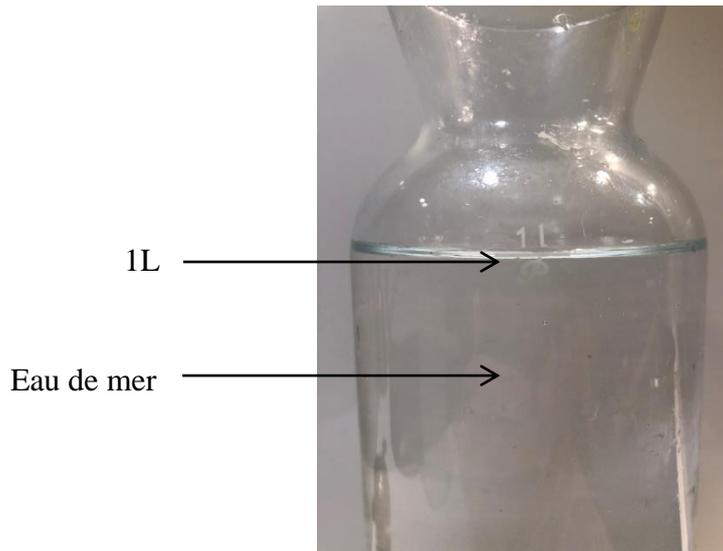
1. Grâce à la masse et au volume des objets, déterminer leur densité
2. Remplir un récipient de 200 mL d'eau distillée puis un autre de 200 mL d'eau de mer
3. Placer un par un dans chaque récipient les trois objets

Photographies de l'expérience :

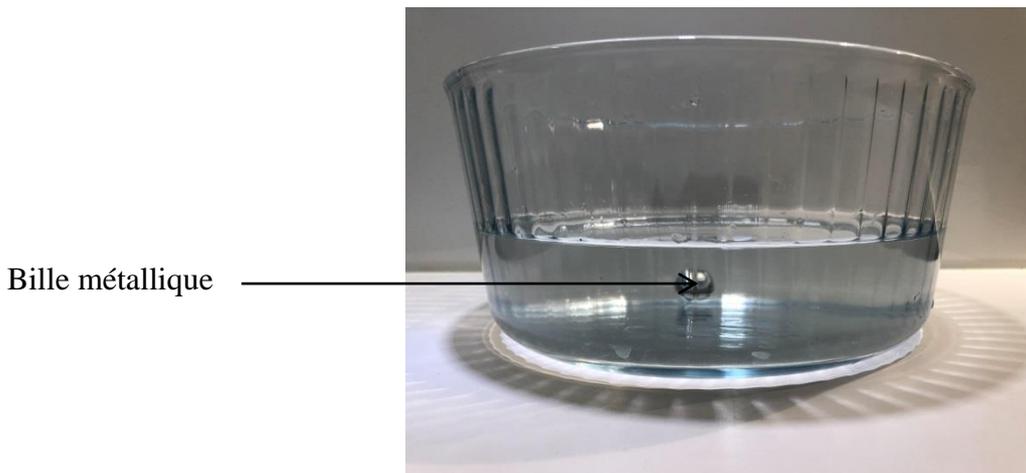


Pied à coulisse électronique





Le morceau de mousse flotte



La bille métallique coule

Données de l'expérience :

Les objets, la bille et le morceau de mousse, pèsent 13g.

Le morceau de mousse fait 13,8 cm de longueur, 7,5 cm de largeur et 7 cm de hauteur. La bille métallique fait quant à elle 1,4 cm de diamètre.

Résultats de l'expérience :

	Masse (g)	Volume (cm ³)	Masse volumique (g/cm ³)	Densité
Morceau de mousse	13	724,5	0,018	0,018
Bille métallique	13	1,4	9,3	9,3
Eau de mer			1,025	1,025

Calcul de la densité du morceau de mousse utilisé dans l'expérience :

Le morceau de mousse a la forme d'un pavé dont le volume est égal à la longueur multipliée par la largeur multipliée par la hauteur. D'après les mesures du morceau nous calculons le volume suivant :

$$V_{\text{mousse}} = 13,8 \times 7,5 \times 7 = 724,5 \text{ cm}^3$$

Calcul de la masse volumique du morceau de mousse:

$$\rho_{\text{mousse}} = m_{\text{mousse}} / V_{\text{mousse}}$$

$$\rho_{\text{mousse}} = \frac{13}{724,5} \sim 0,018 \text{ g/cm}^3$$

Calcul de la densité du morceau de mousse:

$$d_{\text{mousse}} = \rho_{\text{mousse}} / \rho_{\text{eau}}$$

$$d_{\text{mousse}} = \frac{0,018}{1} = 0,018$$

Calculs de l'expérience :

	Volume (cm ³)	Masse volumique (g/cm ³)	Densité
Morceau de mousse	13,8 x 7,5 x 7 = 724,5	$\frac{13}{724,5} \sim 0,018$	$\frac{0,018}{1} = 0,018$
Bille métallique	$\frac{4}{3} * \pi * (\frac{1,4}{2})^3 \sim 1,4$	$\frac{13}{1,4} \sim 9,3$	$\frac{9,3}{1} = 9,3$
Eau de mer		$\frac{1,025}{1} = 1,025$	$\frac{1,025}{1} = 1,025$

L'expérience a montré que le morceau de mousse flottait et que la bille coulait. Or la densité du morceau de mousse est inférieure à celle de l'eau de mer et la densité de la bille métallique est supérieure. Notre hypothèse est vérifiée, pour qu'un objet il faut que sa densité soit inférieure à celle du liquide dans lequel il se trouve.

3. Elaboration des caractéristiques de la construction des caissons

La densité du caisson doit donc être inférieure à 1,025.

D'après le dossier de presse du projet de Monaco, les caissons font 26 mètres de haut, 30 mètres de largeur et 40 mètres de longueur et pèsent 10 000 tonnes chacun. Le volume d'un caisson est donc égal à $26 \times 30 \times 40 = 31200 \text{ m}^3$. Sa masse volumique est donc égale à :

$$\rho_{\text{caisson}} = m_{\text{caisson}} / V_{\text{caisson}}$$

$$\rho_{\text{caisson}} = \frac{10\,000\,000}{31200} \sim 320,5 \text{ kg/m}^3$$

La densité des caissons est donc égale à :

$$d_{\text{caisson}} = \rho_{\text{caisson}} / \rho_{\text{eau}}$$

$$d_{\text{caisson}} = \frac{320,5}{1000} = 0,3205$$

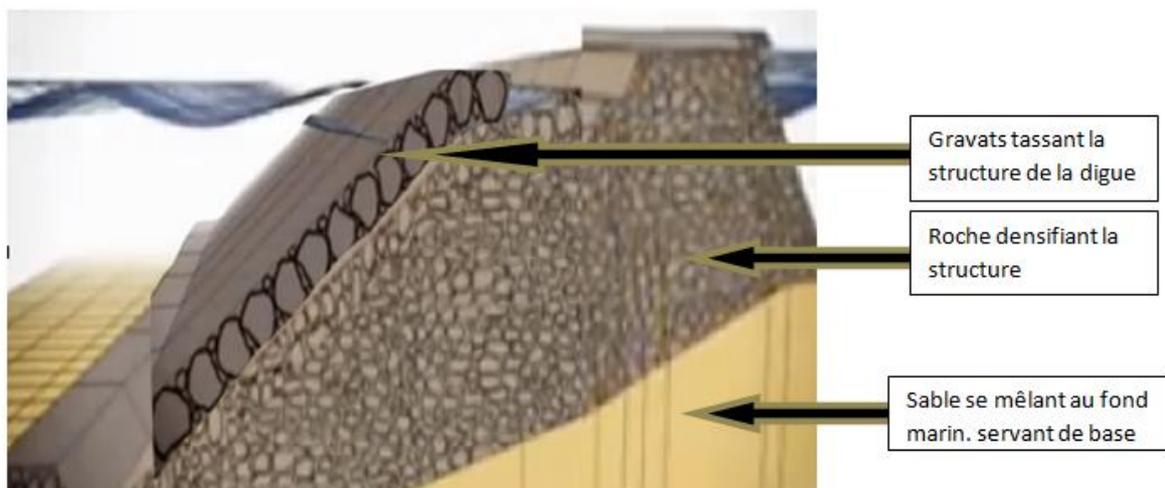
Or l'eau de mer a une densité d'environ 1,025 supérieure à celle du caisson. Les caissons flottent.

De plus, les caissons de Monaco sont fabriqués avec environ 4700 m³ de béton. Cela représente donc environ 15% du volume total du caisson. Les caissons sont donc composés à 85% de vide.

B. Choix des matériaux

1. Etude des différents matériaux de construction

Matériaux pour la construction d'îles artificielles



Composition de la base d'une extension artificielle (<https://sites.google.com/site/tpemirat/creation-des-iles>)

Cette digue est représentative de la majorité des digues artificielles présentes sur la planète. En l'occurrence nous pouvons la retrouver dans le domaine de la construction d'île artificielles, en effet une digue de la sorte permet de protéger la construction tout en préservant un minimum la faune et la flore environnante par l'utilisation de matériaux naturels et dont leur assemblage résiste aux aléas naturels.

Pour construire l'île elle-même on procède quasiment de la même manière sauf qu'on ne dispose uniquement que de sable, pour solidifier le terrain sableux et permettre de construire des infrastructures dessus, on utilise la technique de la vibroflotation : il permet de compacter

localement ou dans la masse, les sols grenus sans cohésion (sables, graviers, cailloux) en place ou mis en remblai au-dessus ou en-dessous de la nappe.

Le matériau le plus adapté serait un matériau qui ne pollue pas, qui est résistant aux intempéries, qui ne s'oxyde pas.

Le matériau le plus adapté serait donc l'acier inoxydable, car il ne rouille pas, donc il ne pollue pas, il peut flotter et il est résistant.

a) Résistance

Pour calculer la résistance d'un matériau, nous faisons l'équation suivante :

Contrainte($\sigma=F/S$) = module de Young(E) \times déformation ($\varepsilon= \Delta l/L$)

σ en MPa, F est la force en newton, S est la surface en mm^2 ; E en MPa ; $\varepsilon = \Delta l/L$ n'a pas d'unité

$$F/S=E \times \Delta l/L$$

b) Durabilité

En science, la durabilité désigne les propriétés de résistance d'une structure vis-à-vis d'agressions physiques et biologiques. Elle définit sa période d'utilisation. La durabilité d'une structure composite dépendra de l'environnement dans lequel elle se trouve, des évolutions de son niveau de chargement, de la façon dont elle a été réalisée et des matériaux utilisés.

Dans les cas des extensions en mer, les matériaux utilisés doivent résister au sel présent dans l'eau de mer, aux vagues puissantes, au soleil... De plus les matériaux utilisés doivent être biodégradables afin qu'ils ne rejettent aucuns résidus toxiques pour l'environnement. Aussi, les métaux sembleraient appropriés pour être la fondation de l'extension. Cependant il y a des couts et des moyens financiers à respecter. De plus, tous les matériaux ne sont pas adaptés, formant de la rouille avec le temps qui fragilisera la structure jusqu'à sa destruction. Du béton armé sous forme de blocs cubiques ou parallélépipédiques semble alors une bonne option, le béton pouvant subir l'érosion mais étant renforcé par l'armature métallique elle-même protégée de l'eau par le béton, cette option semble la meilleure à ce jour

c) Résidus rejetés dans l'eau

Les conditions climatiques auxquelles les matériaux vont être confrontés peuvent provoqués un rejet de particules toxiques dans la mer

2. Choix d'un matériau optimal pour la construction d'une extension marine

Le matériau idéal doit donc être résistant, durable et écologique. Les caissons du projet de Monaco sont en béton armé. Le béton armé consiste en une structure métallique immergée dans le béton. Cela permet d'augmenter la rigidité et la durabilité de la construction. Malheureusement avec le temps, le béton peut s'oxyder ou encore se carbonater, c'est-à-dire se transformer en carbonate. Le béton doit donc être mis de côté. Le béton peut être remplacé par du béton de chanvre. Ce béton est à base de chènevotte, de chaux et d'eau. Ce matériau est renouvelable, recyclable et peu polluant, il est à donc peu d'impact négatif sur la santé et l'environnement. De plus, la fabrication du béton de chanvre nécessite très peu d'énergie. Enfin, le béton de chanvre présente des caractéristiques environnementales particulièrement intéressantes : une culture de plantes annuelles avec très peu d'intrants, une transformation mécanique peu consommatrice en énergie et une forte production d'une matière facilement renouvelable.

La structure métallique doit être résistante inoxydable et durable. L'acier est un alliage métallique de fer et de carbone très résistant et très durable. De plus, les aciers inoxydables résistent à la corrosion, c'est-à-dire la lente destruction d'un matériau. La structure métallique idéale est donc en acier inoxydable.

Le couple parfait pour former le béton armé idéal pour les constructions maritimes semble donc être le béton de chanvre et l'acier inoxydable.

L'acier et le béton.

Conclusion

La construction d'une extension territoriale est donc un projet très complexe et ambitieux. Tout au long de ce TPE, nous avons en effet pu constater que sa mise en œuvre doit répondre à des critères précis et que bien qu'il faille étudier les sols et les matériaux nécessaires, il est aussi indispensable de prendre en compte le facteur écologique et la perturbation que pourrait engendrer chaque étape de construction. Parmi les étapes clés de la réalisation d'une extension territoriale, nous pouvons lister les suivants, qui nous semblent les plus indispensables :

- Prise en compte de la localisation du site et de l'environnement de la construction.
- Etude de la sismicité de la région
- Etude de la composition géologique du sol accueillant l'édifice
- Etude de la faune et la flore marine
- Mise en place d'actions afin de limiter les conséquences de la construction de l'extension sur l'environnement.
- Calculs rigoureux pour la fabrication des éléments de construction
- Utilisation de matériaux écoresponsables, durables et rigides.

La préparation du site pour commencer la construction est composée de multiples étapes dont le ratissage du sol, le dépôt de sable, le tassage de cette couche. Malheureusement l'ensemble de ces opérations a un impact sur l'environnement. En effet, par exemple, la manipulation de sable dans l'eau produit beaucoup de turbidité. Il est alors nécessaire d'avoir recours à des méthodes telles que le déplacement des coraux et espèces marines dans des récifs artificiels. Ces méthodes ont cependant un coût et il n'est pas rare que certaines mises en œuvre pour protéger les fonds marins ne soient pas faites correctement, entraînant ainsi une forte perturbation de l'écosystème local.

La construction d'extensions territoriales est un défi où il faut tenir compte de multiples variables et facteurs, leur mise en place est complexe et leur construction peut prendre des dizaines d'années. Malgré ces contraintes, la population mondiale augmentant, ces extensions deviennent de plus en plus courantes et deviennent, au fil des années, de plus en plus perfectionnées et en harmonie avec l'environnement car une simple perturbation dans la chaîne alimentaire ou ne serait-ce que dans l'écosystème local pourrait engendrer des pertes massives et une pollution de l'environnement marin extrême. L'homme doit aujourd'hui vivre en

harmonie avec l'environnement pour sa survie et la survie de la planète telle qu'on la connaît et la création d'extensions territoriales respectant l'environnement et permettant à l'homme de survivre en contrant la surpopulation semble être un bon moyen d'évoluer vers un monde sans pollution où l'homme pourrait vivre avec moins de contraintes d'espace et en symbiose avec la Terre.

Sources bibliographiques et sitographie

Page de couverture :

http://www.christiandeportzamparc.com/wp-content/uploads/2015/02/CONTENU1-200702-MONACOCACDP_Vue1_4830_080125-CROP.jpg

I. Nécessité écologique

B. Etude de l'impact de la construction

5. Observations microscopiques des euglènes à j0 et à j15

Evolution de la population en fonction du temps, consultée le mercredi 23 janvier 2019 : <https://www.planetoscope.com/natalite/5-croissance-de-la-population-mondiale-naissances---deces-.html>

Les principaux constituants d'une cellule végétale (<https://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-biologie-cellule-vegetale.html>)

Structure du chloroplaste, consultée le mercredi 26 décembre 2018: <https://www.aquaportail.com/definition-1557-chloroplaste.html>

6. Recherche sur les activités métaboliques

a) Etude de la photosynthèse

Structure des euglènes, consultée le mercredi 26 décembre 2018: <http://svt.ac-dijon.fr/schemas/svt/spip.php?article945>

II. Nécessités physiques

A. Composition géologique

1. Analyse d'une carte géologique

Vue rapprochée de la carte géologique, consultée le samedi 13 novembre 2018 : photo personnelle

Vue éloignée de la carte géologique, consultée le samedi 13 novembre 2018 : photo personnelle

Légende de la carte géologique, consultée le samedi 13 novembre 2018 : photo personnelle

B. Etude du risque sismique

Classement des magnitudes, consultée le vendredi 4 janvier 2019: <https://vetusienne.legtux.org/articles.php?lng=fr&pg=2041&tconfig=0>

1. Analyse d'une carte sismique

Carte des risques sismiques en France, consultée le mardi 23 janvier 2019:

<https://www.nice.fr/fr/gestion-des-risques/les-seismes>

3. Etude des structures adaptées aux risques sismiques du site de l'extension

Schéma de la propagation d'une onde sismique, consultée le vendredi 4 janvier 2019:

http://cmoiii5.free.fr/parasismique/tpe_entier.php

III. Nécessité des matériaux utilisés

A. Etude de la flottaison

Caisson, consultée le mercredi 28 novembre 2018 : image issue des dossiers fournis par la chef de communication

1. Etude de la flottaison d'un objet immergé

Forces impliquées dans la flottaison (1), consultée le mercredi 28 novembre 2018 :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Flottabilit%C3%A9>

Forces impliquées dans la flottaison (2), consultée le mercredi 28 novembre 2018 :

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-poussee-archimede-8127/>

B. Choix des matériaux

1. Etude des différents matériaux de construction

Composition de la base d'une extension artificielle, consultée le mardi 13 novembre 2018 :

<https://sites.google.com/site/tpemirat/creation-des-iles>

Sites utilisés pour le TPE :

Expérience de l'eau de mer :

http://www.sb-roscoff.fr/sites/www.sb-roscoff.fr/files/documents/station-biologique-roscoff-5-preparation-de-l-eau-de-mer_2.pdf

http://www.ifremer.fr/lpo/thuck/isen/isen2_2pp.pdf, <http://svtsite.free.fr/spip.php?article78>

Expérience sur la flottaison :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Flottabilit%C3%A9>

<https://www.bouygues-construction.com/presse/actualite/bouygues-construction-choisit-marseille-pour-prefabriquer-les-caissons-de-linfrastructure-maritime-de-lextension-en-mer-de-monaco>

<http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11113/flotte-ou-coule-a-quelles-conditions-etude-de-parametres>

<http://www.lefigaro.fr/sciences/2016/03/08/01008-20160308ARTFIG00240-comment-flottent-les-paquebots-geants.php>

Expérience sur la formation du calcaire grossier :

http://ruedeslumieres.morkitu.org/apprendre/calcaire_grossier/geologie/index_geologie.html

<http://www.supagro.fr/ress-pepites/Opale/ProcessusEcologiques/co/Battance.html>

Elaboration des caractéristiques de la construction :

http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/fiche_technique12-

[traduction des objectifs de densite et de qualite des formes urbaines v3odt.pdf](#)

<http://guide-construction.fr/terrain/type-de-terrain/les-caracteristiques-des-terrains>

Choix des matériaux :

<http://lebeton.free.fr/environnement.html>

<http://teamsolarbretagne.fr/wp-content/uploads/2016/10/041-Beton-de-Chanvre.pdf>