

ÉCOLE POLYTECH TOURS – UNIVERSITÉ FRANÇOIS-RABELAIS TOURS

Département Électronique et Énergie



PROJET de fin d'études de l'École Polytech Tours

Spécialité : Électronique et Système de l'Énergie Électrique

présenté par

Corentin DROUAULT et Julien GERGONNE

Sujet du projet de fin d'études :

Conception d'un système pour étudier l'espace de vie des Cistudes d'Europe

Projet soutenu le 25 février 2014 et suivi par Messieurs :

Ambroise SCHELLMANN (Tuteur universitaire)

Éric SANSAULT (Intervenant Caudalis)

Renaud BAETA (Intervenant Caudalis)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Éric Sansault et Renaud Baeta, naturalistes de l'association CAUDALIS, pour avoir proposé et suivi ce projet. Nous avons ainsi eu l'occasion de découvrir un monde qui combine protection de la faune et de la flore avec les nouvelles technologies.

Nous remercions Ambroise Schellmanns pour son implication dans le projet et son suivi qui nous ont permis de faire avancer ce projet.

Aussi, nous remercions l'ensemble du personnel de Polytech Tours pour nous avoir conseillé et aidé. Plus particulièrement nous remercions Thierry Viella et Sébastien Bisset de nous avoir prêté leurs matériels et offert leurs conseils techniques.

TABLES DES MATIÈRES

TABLE DES ABRÉVIATIONS ET LÉGENDES	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE	5
CHAPITRE I - Contexte et problématique	6
I.1 L'association CAUDALIS en Indre-et-Loire.....	6
I.2 La Cistude d'Europe en Indre-et-Loire	7
I.2.1 Description physique de la Cistude d'Europe.....	7
I.2.2 Habitat de la Cistude d'Europe.....	7
I.2.3 Comportement de la Cistude d'Europe.....	8
I.2.4 Menaces sur la Cistude d'Europe	8
I.3 Problématique du projet	9
I.4 Cahier des charges résultant	10
I.4.1 Contraintes techniques imposées par l'association.....	10
I.4.2 Diagramme APTE	11
I.5 Programme prévisionnel du projet	12
CHAPITRE II - Choix techniques	13
II.1 Système de géolocalisation	13
II.2 Choix de la batterie	14
II.3 Rechargement de la batterie.....	18
II.3.1 L'énergie piézoélectrique	18
II.3.2 La production d'énergie par frottement	18
II.3.3 L'énergie éolienne	18
II.3.4 L'énergie photovoltaïque	19
II.4 Gestion électronique de la batterie	21
II.5 Système de <i>radio-tracking</i>	22
II.5.1 L'émetteur VHF.....	22
II.5.2 L'antenne Yagi	23
II.6 Résine d'encapsulation.....	23
CHAPITRE III - Travaux expérimentaux et résultats.....	24
III.1 GPS Data Logger i-gotU GT120.....	24
III.1.1 Caractéristiques physiques.....	24

III.1.2	Précision en fonction du mode de fonctionnement	25
III.1.3	Consommation énergétique.....	27
III.1.4	Calcul d'autonomie avec une batterie de 380 mAh	28
III.2	Cellule photovoltaïque flexible.....	29
III.2.1	Caractérisation avec le simulateur de soleil.....	29
III.2.2	Facteur de forme et rendement.....	31
III.3	Couplage entre le GPS, la batterie et la cellule photovoltaïque	31
III.3.1	Essais de fonctionnement avec le simulateur de soleil.....	32
III.4	Conception du moule et encapsulation	34
III.4.1	Conception du moule par imprimante 3D.....	34
III.4.2	Encapsulation du système	36
CONCLUSION		37
BIBLIOGRAPHIE.....		39
LISTE DES FIGURES.....		40
LISTE DES TABLEAUX		41
ANNEXES.....		42
Annexe 1 : Carnet de bord du projet.....		42
Annexe 2 : Datasheet de l'émetteur VHF TXC-009G		47
Annexe 3 : Méthode pour calculer l'autonomie du GPS.....		47
Annexe 4 : Cotations du moule		48
Annexe 5 : Descriptif détaillé des coûts du système final.....		49
RÉSUMÉ – ABSTRACT		50

TABLE DES ABRÉVIATIONS ET LÉGENDES

3D : 3 dimensions

A : intensité du courant en Ampère

CdC : Cahier des charges

CIS : Cuivre-Indium-Sélénium

cm : centimetre

FF : facteur de forme – sans unité

g : gramme

GPS : Global Positioning System = système de localisation mondial

GSM : Global System for Mobile Communications = groupe spécial mobile

Ir : Irradiance en [W/m²]

Im : Courant nominal

Isc : Courant en court-circuit

LED : Light-Emitting Diode = diode électroluminescente (DEL)

mAh : milliampère heure

Mb : mégabit

MEEDDM : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer

MPP : Maximum Power Point, ou puissance au point de fonctionnement optimal en [W]

OEM : Original Equipment Manufacturer = fabricant d'équipement d'origine

S : Surface de la cellule photovoltaïque en m²

STC : Standard Tests Conditions = conditions standard de tests

USB : Universal Serial Bus = Bus universel en série

UV : Ultraviolet

V : Volt

VHF : Very High Frequency = Très haute fréquence

Vm : Tension nominale

Voc : Tension en circuit ouvert

W : Watt

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

Légende des tableaux

	Condition satisfaisant le cahier des charges
	Condition ne satisfaisant pas le cahier des charges

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'association CAUDALIS est une association naturaliste d'études et de protection des écosystèmes basée en Indre-et-Loire. Elle analyse l'évolution et le comportement de certaines populations animales ou d'insectes. Un de ses projets consiste à étudier les lieux de vie d'une espèce de tortue, la Cistude d'Europe.

L'étude d'une espèce animale regroupe plusieurs données comme les périodes d'activités, les habitudes alimentaires et comportementales, les lieux de ponte et d'hibernation. Il est alors nécessaire de connaître les positions géographiques de l'animal.

Il existe de nombreux appareils qui permettent de suivre les déplacements d'un animal. Cependant, aucun sur le marché ne peut répondre avec précision au cahier des charges imposé par CAUDALIS dans le cadre du suivi de ces tortues.

C'est dans ce contexte que l'association a fait appel à l'École d'Ingénieur Polytech Tours pour l'aider à développer un système qui puisse répondre à leur cahier des charges. Ce projet, qui requière des compétences techniques et du temps, a été proposé aux étudiants en cinquième année du département Electronique et Energie dans cadre du projet de fin d'études.

Ce rapport présente dans un premier temps la démarche suivie pour réaliser ce projet. Pour ce faire, le contexte et les objectifs de cette étude seront établis en expliquant les attentes de CAUDALIS et en faisant une brève présentation de la Cistude d' Europe.

De ce contexte découle un cahier des charges qui a orienté les choix techniques pour réaliser les essais pratiques. C'est l'objet de ce deuxième chapitre, dans lequel il sera présenté les différents éléments nécessaires à la réalisation du prototype. Les systèmes retenus pour la fabrication du prototype seront par la suite détaillés.

Enfin, dans un troisième chapitre, seront exposés les résultats des différents essais réalisés pour obtenir la fonction demandée par CAUDALIS. Puis ce rapport s'achèvera sur l'état final du projet et la conclusion de ce dernier.

CHAPITRE I - Contexte et problématique

Ce chapitre a pour vocation de présenter CAUDALIS, association naturaliste initiatrice du projet, ainsi que les caractéristiques des Cistudes d'Europe. Enfin, le cahier des charges et les choix techniques seront présentés.

I.1 L'association CAUDALIS en Indre-et-Loire

Les principaux objectifs de CAUDALIS sont les suivants :

- réaliser des études naturalistes,
- coordonner les observations, travaux et enquêtes des naturalistes membres de l'association,
- réaliser des documents de synthèse portant à la divulgation des connaissances en matière de biodiversité,
- développer des outils de protection des espèces et de gestion de leur habitat,
- former un large public dans les disciplines de l'écologie et des sciences naturelles,
- fournir une assistance scientifique et technique aux instances et personnes publiques et privées œuvrant dans le domaine de l'aménagement et de la protection des espaces naturels et du développement durable.

L'association mène actuellement des projets d'inventaires de plusieurs populations animales. Ses recherches spécifiques, couplées à une approche écosystémique, sont mises en valeur car exploitées dans le cadre de programmes d'amélioration des connaissances et de protection des habitats :

- actualisation des données faune, flore et habitat sur les ZNIEFF
- implication dans la Stratégie de Création d'Aires Protégées
- participation aux Plans Nationaux d'Actions
- réalisation d'atlas

La Cistude d'Europe, présente en Indre-et-Loire, fait partie des animaux suivis par ce programme. Messieurs Éric SANSAULT et Renaud BAETA sont des naturalistes membres de l'association. Ils sont chargés d'étudier les lieux de vie des Cistudes d'Europe présentes dans la pointe sud du département. Ils doivent, à terme, créer une zone de protection des tortues et déterminer plus précisément le mode de vie de cet animal.

I.2 La Cistude d'Europe en Indre-et-Loire

I.2.1 Description physique de la Cistude d'Europe

L'*Emys orbicularis* est une espèce de tortues de la famille des Emydidae (famille de tortues d'eau douce cryptodires). La Cistude d'Europe est aussi surnommée Tortue des marais ou encore Tortue de Brenne. De petite taille, elle présente une carapace presque plate, ovale, bombée comme un galet plat. Le plastron est jaunâtre, ponctué par des taches marron sur la bordure. La peau sombre est constellée de points jaunes. Les pattes légèrement palmées sont munies de griffes qui lui permettent de creuser le sol et d'en faire une excellente nageuse.



FIGURE 1 : Comparatif de taille entre la tortue male en haut et la femelle.

La taille adulte d'une Cistude varie de 14 à 20cm, sachant que les femelles sont bien plus grandes que les mâles comme le montre la FIGURE 1. Son poids oscille entre 450g et 1kg selon l'individu. Elle possède une espérance de vie pouvant aller jusqu'à 50 ans.

I.2.2 Habitat de la Cistude d'Europe

La Cistude est une espèce dont l'aire de répartition s'étend du nord de l'Afrique à l'Asie centrale, en passant par l'Europe et la mer d'Aral. Il existe huit sous-espèces qui ne se trouvent que dans les milieux marécageux aux sols boueux et aux eaux dormantes, tels que les bras morts de rivière, les étangs et les tourbières ensoleillées et riches en végétaux aquatiques. En France, elle est présente dans 11 régions (MEEDDM 2011) dont la région Centre. En région Centre, elle est présente dans tous les départements sauf en Eure-et-Loir.

Cette étude se porte sur la population présente dans la pointe sud du département d'Indre-et-Loire aux environs de la ville de Preuilly-sur-Claise. La région est parsemée d'étangs et de forêts, terrain idéal pour la population de Cistudes.

I.2.3 Comportement de la Cistude d'Europe

Comme de nombreuses tortues, la Cistude adore prendre des bains de soleil sur les rives, les pierres plates ou troncs immergés à plat. Très farouche, elle se réfugie dans l'eau à la moindre suspicion de danger, et peut y rester plusieurs heures.



FIGURE 2 : Cistudes d'Europe prenant un bain de soleil sur un tronc d'arbre.

C'est donc une nageuse habile qui hiberne d'octobre à mars. Pour ce faire, elle s'enfouit dans la boue à proximité de la rive. Elle est active de mars à septembre. La Cistude adulte a peu de prédateur hormis les loutres, les chiens, et certains rapaces. Les jeunes sont la proie de petits viverridés (belette, martre, etc.), d'échassiers et de corvidés.

I.2.4 Menaces sur la Cistude d'Europe

La Cistude est considérée comme l'éboueur des zones humides et est importante pour l'équilibre des écosystèmes. Elle est principalement menacée par la disparition des zones humides. Cela est dû au drainage, aux endiguements qui fractionnent les territoires et qui empêchent l'animal de se rendre d'un endroit à l'autre. S'ajoute à ceci l'entretien mécanique des fossés et canaux, la pollution et la concurrence d'espèces exotiques introduites dans leur milieu naturel, telles que les tortues de Floride.

La situation des populations françaises étant préoccupante, l'association CAUDALIS a décidé de suivre de près les populations présentes dans ce département.

I.3 Problématique du projet

C'est donc dans le contexte de protection et de sauvegarde des Cistudes du département d'Indre-et-Loire que l'association CAUDALIS souhaite agir. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le territoire de chaque population de tortue. Une Cistude peut se déplacer de 4 à 6km par an sur son territoire ou migrer d'un à un l'autre. Elle vit dans des zones marécageuses, forestières, agricoles comme le montre la FIGURE 3.



FIGURE 3 : Le territoire d'une Cistude est composé de marécages, d'étangs, et de zones forestières.

Comme expliqué précédemment, c'est un animal difficile à pister et à capturer de par son mode de vie. Il est alors compliqué de suivre avec précision ses déplacements et de connaître ses lieux de vie, comme par exemple les zones de ponte. Les espaces de vie de la Cistude sont en général protégés et sauvages.

Dans l'optique d'étoffer ses connaissances pour mieux protéger la Cistude, l'association CAUDALIS souhaite étudier de près plusieurs spécimens en utilisant des systèmes de géolocalisation moderne. Comme par exemple, le système Argos, référence internationale, qui est un système mondial de localisation et de collecte de données géopositionnées par satellite.

Messieurs SANSALUT et BAETA, responsables de ce projet espèrent obtenir les positions géographiques des tortues sur une année complète. Ceci afin de connaître les lieux d'hibernation, de reproduction, de ponte et les déplacements de la population étudiée. Il existe dans le commerce des systèmes qui peuvent répondre à leurs attentes mais aucun ne peut tenir une année en totale autonomie. Pour tenter de trouver une solution à leur problématique, ils ont fait appel à l'Ecole d'Ingénieur Polytech Tours.

Le défi de ce projet est de réaliser un système capable de géolocaliser les tortues durant une année complète. Il doit respecter le cahier des charges, ci-après, très restrictif dues aux caractéristiques morphologiques des animaux et aux conditions environnementales.

I.4 Cahier des charges résultant

I.4.1 Contraintes techniques imposées par l'association

Comme pour tout projet, un cahier des charges doit être établi. Il sert de feuille de route pour l'aboutissement du projet. Après plusieurs réunions entre Messieurs SANSANLT, BAETA et notre binôme, il en est sorti un cahier des charges riche devant respecter les points suivant :

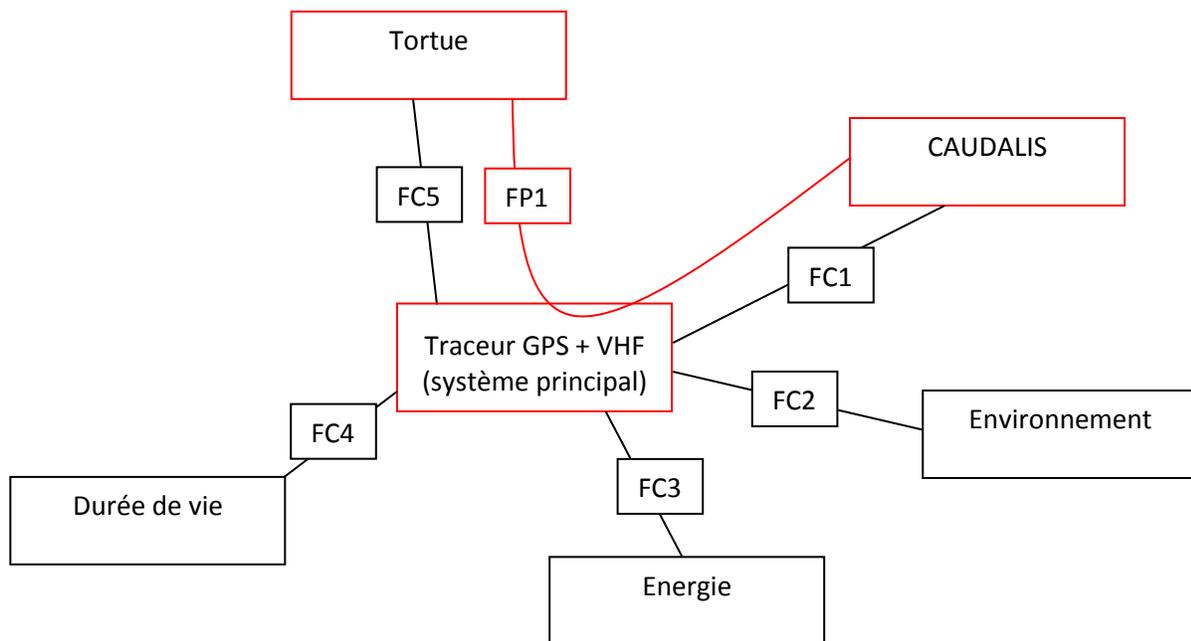
- Dimensions maximales du système : 7 x 4 x 3cm [longueur x largeur x hauteur]
- Poids maximal du système : 30g
- Période de fonctionnement :
 - Octobre à Mars = système en hibernation.
 - Avril à Septembre = système en activité.
- Contraintes environnementales :
 - Plages de température auxquelles le système sera confronté : [-5°C ; +40°C]
 - Le système doit être étanche, jusqu'à 5m de profondeur.
 - Résistance à l'eau, boue, roche, impact...
- Contraintes de géolocalisation :
 - Prévoir un espace de mémoire suffisamment grand pour stocker les données pendant un an.
 - Prise de points 24h/24
 - Localisation toutes les 10 ou 20 minutes selon l'espace mémoire.
 - Précision du GPS inférieure à 20m
- Contraintes d'autonomie :
 - Le système doit être fonctionnel à la sortie d'hibernation, vers Mars.
 - La batterie doit tenir pendant la période d'activité, 6 mois, sans possibilité de rechargement (comme par exemple durant la nuit).
 - Prévoir un dispositif de recharge de la batterie.
- Contraintes de récupération :
 - Le système doit être réutilisable.
 - Le système doit être traçable à distance pour être retrouvé.
- Le coût du système ne doit pas dépasser 350€ par appareil.

L'élaboration du cahier des charges a permis d'établir un programme, présenté FIGURE 4. Il organise les différentes phases de recherches de solutions techniques et de tests de validation.

Il est important de noter que le cahier des charges a évolué durant les 3 premières réunions. En effet, en fonction de l'animal suivi, les normes diffèrent. De plus, la prise en compte des contraintes techniques et budgétaires ont permis de préciser le cahier des charges.

I.4.2 Diagramme APTE

Après avoir récupéré les informations sur la Cistude et les exigences de l'association CAUDALIS sur le système de suivi, un diagramme APTE a été rédigé. Il résume les différentes fonctions et contraintes auxquelles le système est soumis.



FP = Fonction Principale

FC = Fonction contrainte

FP1 : Renseigner les positions géographiques de la tortue

FC1 : Stocker les données du GPS pour qu'elles puissent être exploitées

FC2 : Résister aux contraintes environnementales

FC3 : Avoir une autonomie de 12 mois

FC4 : Être réutilisable durant plusieurs années

FC5 : Avoir une ergonomie adaptée à la morphologie de la tortue (poids, taille, forme)

I.5 Programme prévisionnel du projet

Le planning suivant montre les échéances fixées pour faire aboutir le projet dans les temps. La FIGURE 4 montre cet agencement. De plus, le carnet de bord du projet est disponible en annexe 1.

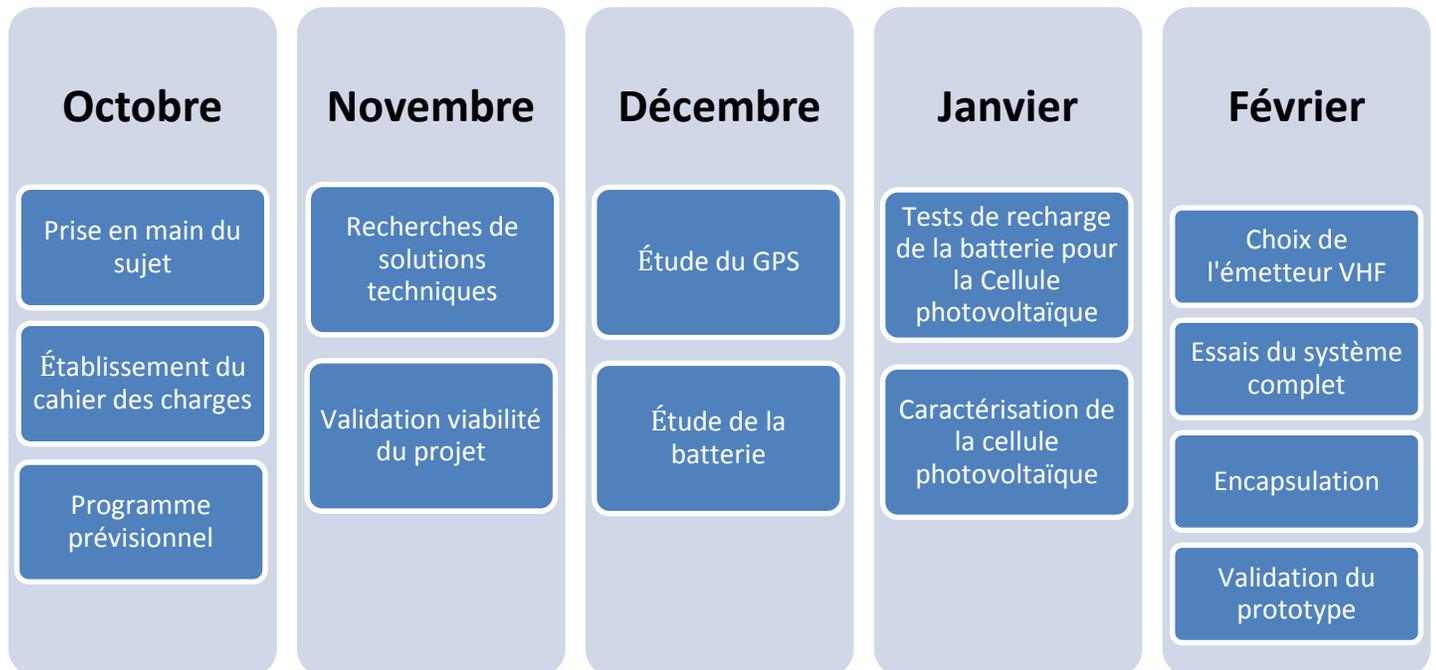


FIGURE 4 : Programme prévisionnel du projet.

Le projet doit se dérouler en trois phases :

1. Il faut dans un premier temps, prendre connaissance du projet. Les attentes du client doivent être définies. Le CdC, puis l'échéancier pourront alors être établis.
2. Une étude de faisabilité est réalisée durant la deuxième phase. Les solutions techniques ont alors été définies et les achats d'équipements réalisés.
3. Enfin, la troisième phase prévoit les tests et le couplage des différents équipements pour obtenir un prototype.

CHAPITRE II - Choix techniques

Maintenant que la problématique et le cahier des charges sont posés, ce chapitre va présenter la démarche qui a été suivie pour choisir les composants. Il s'articule autour de six parties justifiant l'utilisation de chaque composant pour le projet.

II.1 Système de géolocalisation

L'objectif principal de notre projet est de connaître les déplacements des Cistudes dans leur habitat, tout en respectant les contraintes de poids et de taille liées au cahier des charges. Pour ce faire, plusieurs technologies de GPS sont disponibles comme le montre le TABLEAU 1.

Caractéristiques		Holux	i-gotU	i-gotU	i-Blue
		M-1000C	GT-600	GT-120	747ProS
Dimensions (longueur x largeur x hauteur)	mm	62,5 x 41 x 17,1	46 x 41,5 x 14	44,5 x 28,5 x 13	47 x 72 x 20
Poids	g	53	37	20	65
Taille mémoire flash	Mb	4	64	16	(250 000 points)
Capacité de la batterie	mAh	850	750	380 mAh (120 heures)	(25 heures)
Fréquence	MHz	1575,4	1575,42	1575,42	1575,42
Temps de démarrage à froid	s	36	35	35	35
Prix (sur <i>amazon.fr</i>)	€	42 €	81 €	60 € (44€ Expansys)	76 €
Options supplémentaires		Bluetooth et 3 LEDs	2 LEDs	2 LEDs	3 LEDs

TABLEAU 1 : Comparatif entre différents modèles de GPS pouvant répondre aux besoins du projet.

Les contraintes les plus drastiques sont le poids et la taille, c'est pourquoi le model i-gotU GT120 a été retenu, dont l'aspect physique est révélé par la FIGURE 5. En outre, il a été choisi car c'est le plus petit mais également parce que sa mémoire flash est largement suffisante.



FIGURE 5 : GPS Data Logger i-gotU GT120 retenu pour le projet.

Une tortue est un animal qui se déplace très lentement. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir une fréquence élevée d'enregistrement des coordonnées géographiques. La fréquence retenue pour le projet est d'un point toutes les vingt minutes.

Le fabricant donne une capacité de 16Mb, soit 64 000 points. La puce mémoire présente sur la carte électronique est une MX25U1635E de la société Macronix. Elle possède une durée de vie approximative de 20 ans selon le constructeur. Il est possible d'enregistrer sept points par heure pendant 365 jours avec cette taille de mémoire.

De plus, les températures de fonctionnement données par le constructeur, varient entre -10°C et 50°C. Ces températures suffisent pour respecter le CdC.

Cependant, le système doit fonctionner durant une année entière. Il sera nécessaire dans tous les cas de mettre en place un procédé permettant de recharger sa batterie, car l'autonomie annoncée par le fabricant n'est que de 120 heures. Le point suivant propose une analyse des technologies de batterie disponibles sur le marché, et ainsi confirmer le choix du fabricant.

II.2 Choix de la batterie

La batterie fournie par le fabricant du GPS est une batterie Lithium-ion ayant une capacité de 380mAh. Elle assure une autonomie de 120 heures au GPS selon le mode de fonctionnement sélectionné, ici, le mode économie. Cependant, il faut vérifier que cette batterie répond aux besoins du projet par rapport à d'autres technologies.

Une batterie se caractérise par :

- sa tension nominale de fonctionnement en V
- sa capacité en mAh
- son débit maximum en courant en A
- sa durée de vie en mois ou en année

Le GPS i-gotU GT120 fonctionne avec une tension de 3,6V. Il est donc nécessaire d'utiliser une batterie ayant une tension nominale de 3,6V.

La capacité de la batterie est également importante car c'est la quantité d'énergie que la batterie pourra restituer. Plus celle-ci aura une capacité importante, plus elle sera volumineuse et lourde. La batterie doit donc avoir un bon rapport poids/capacité.

Le dernier point à respecter est le débit maximum de la batterie, courant maximum que la batterie peut délivrer sur un court laps de temps. Comme tout système électrique, le GPS consomme un pic d'intensité au démarrage.

La FIGURE 6 classe différentes technologies de batterie en fonction des rapports énergie/poids et énergie/volume. Il est alors évident que la technologie Lithium possède les meilleurs rapports. Chaque technologie est détaillée par la suite avec leurs avantages et inconvénients.

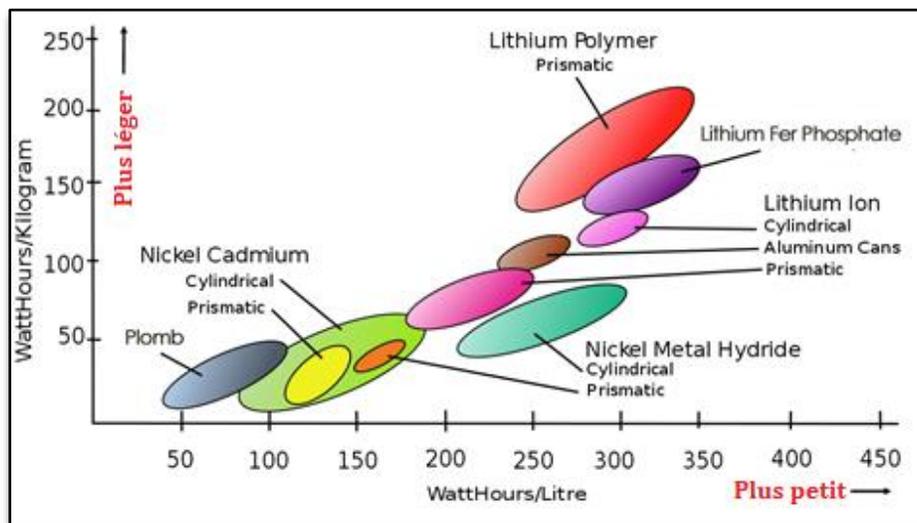


FIGURE 6 : Classement des types de batterie en fonction de leurs rapports énergie/poids et énergie/volume.

➤ **Nickel Cadmium (NiCd).**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Charge simple et rapide, même après une longue période de stockage, et notamment à froid. • Grande durée de vie en nombre de cycles de charge et de décharge. • Conserve ses performances à basse température et ne vieillit pas prématurément à haute température. • Résistance interne très faible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible densité énergétique. • S'autodécharge assez rapidement (20 % / mois). • Sensibilité à l'effet mémoire. • Contient des substances dangereuses (6 % de Cd) ce qui implique qu'il doit être collecté en fin de vie pour être recyclé. • Coût d'achat plus élevé que la technologie standard. • Réglementation très stricte

TABLEAU 2 : Avantages et inconvénients des accumulateurs NiCd.

La technologie Nickel Cadmium est l'une des plus anciennes technologies de batterie, datant de 1899. Ce qu'on appelle l'effet mémoire est le fait que la batterie se comporte comme si elle conservait la « mémoire » du seuil de tension où elle a été remise à charger. Elle refuse de se décharger davantage alors qu'elle contient encore de l'énergie.

➤ **Nickel métal-hydrure (NiMH)**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Contient beaucoup plus d'énergie que le Nickel Cadmium • Simple à stocker et à transporter • Ne contient pas de Cadmium 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne supporte pas le dépassement de charge • Détection de fin de charge difficile (ΔV très faible) • Durée de vie plus faible que le Nickel Cadmium en nombre de cycles

TABLEAU 3 : Avantages et inconvénients des accumulateurs NiMH.

La technologie NiMH est plus récente (première commercialisation en 1990). C'est l'une des plus répandues, toutes catégories d'appareils mobiles confondues. Cela se justifie par l'excellent rapport prix/longévité que présentent les batteries Métal-Hydrure. Cependant, elles sont fragiles et craignent la surcharge. Ce qui nécessite des chargeurs spéciaux à l'électronique sophistiquée.

➤ **Lithium-ion (Li-ion)**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Possèdent une haute densité d'énergie pour un poids très faible, grâce aux propriétés physiques du lithium • Ne présentent aucun effet mémoire • Faible autodécharge (10 % par mois) • Ne nécessitent pas de maintenance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la durée de vie suite à la décharge profonde • Les courants de charge et de décharge admissibles sont plus faibles qu'avec d'autres technologies • Il peut se produire un court-circuit entre les deux électrodes par croissance dendritique de lithium. • Risque d'explosion en cas de mauvaise utilisation

TABLEAU 4 : Avantages et inconvénients des accumulateurs Li-ion

La technologie Li-ion est plus innovante et offre de meilleures performances que les deux précédentes. Elle bénéficie aujourd'hui d'un grand succès. Le gros avantage vient du fait que les batteries dotées de cette technologie ne sont pas sensibles aux problèmes d'effet mémoire.

➤ **Lithium-ion polymère (Li-Po)**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Piles et batteries pouvant prendre des formes fines et variées. • Peuvent être déposées sur un support flexible. • Faible poids (le Li-Po permet parfois d'éliminer la lourde enveloppe de métal). • Plus sûres que les Li-ion (plus résistantes à la surcharge et aux fuites d'électrolytes). 	<ul style="list-style-type: none"> • Densité énergétique plus faible que les Li-ion. • Plus cher que le Li-ion. • Charge soumise à des règles strictes sous peine de risque d'inflammation. • Moins de cycles de vie.

TABLEAU 5 : Avantages et inconvénients des accumulateurs Li-Po.

Apparues en 1999, la batterie Lithium-ion polymère est une variante de la technologie Lithium-ion. Les performances de cette technologie sont sensiblement les mêmes que précédemment, mais l'électrolyte de la batterie est remplacé par un polymère gélifié, ce qui permet de donner n'importe quelle forme à la batterie. Compte tenu de ses capacités, cette batterie reste encore très chère et reste pour le moment une solution d'avenir.

➤ **Conclusion sur le choix de l'accumulateur**

Technologie	Capacité [mAh]	Poids [gramme]	Prix [€]	Tension nominale [V]	Rendement charge-décharge	Durée de vie	Nombre de cycle de charge
NiCd	300	33	4,68	3,6	70 – 90 %	24 à 36 mois	1500
NiMH	300	23	4,62	3,6	66 %	24 à 48 mois	500 à 1000
Li-ion	300	8	6,90	3,6	90 %	7 ans	1200
Li-Po	300	8	6,92	3,7			

TABLEAU 6 : Récapitulatif des caractéristiques de chaque accumulateur.

La batterie va subir de nombreux cycles de charge-décharge, car quel que soit le système d'apport énergétique, l'énergie sera fournie dès possible. La technologie Nickel Cadmium peut déjà être écartée car l'effet mémoire va réduire considérablement la durée de vie de la batterie. La technologie Nickel Métal-Hydrure ne peut pas également être utilisée car il est nécessaire d'utiliser un chargeur adéquat. De plus, ces deux technologies sont plus lourdes que le lithium à capacité équivalente.

La technologie Li-ion est la plus adaptée. Avec une tension de 3,6V et une capacité de 380mAh, la batterie dimensionnée par le fabricant est suffisante pour satisfaire le CdC. La technologie Li-Po est peu différente de la Li-ion, et par soucis financier, la batterie Li-ion sera conservée pour alimenter le GPS.

II.3 Rechargement de la batterie

Pour subvenir à ses besoins énergétiques, le GPS est connecté à une batterie de 380mAh. Cette batterie utilise la technologie Li-ion et fournit une tension nominale de 3,6V. La capacité actuelle ne permet pas de répondre au CdC. Il faut alors ajouter un dispositif qui peut recharger la batterie. Pour cela, plusieurs hypothèses ont été soulevées.

II.3.1 L'énergie piézoélectrique

La piézoélectricité est la propriété que possède certains corps de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique. Dans le cadre de cette étude, l'idée aurait été de créer de l'énergie électrique grâce à la pression exercée par les pattes de la tortue sur le sol.

Le problème est que la récupération d'énergie risque d'être difficile car les spécimens de tortue étudiés ont une masse relativement faible, entre 500g et 1kg, ce qui produirait très peu d'énergie.

II.3.2 La production d'énergie par frottement

Les tortues sont des animaux très lents mais dotés d'une puissance que peu de personnes soupçonnent. Ce sont également des animaux têtus qui sont conscients de leur force. Si la tortue est bloquée par un obstacle, elle va dans un premier temps forcer le passage avant de se résoudre à le contourner.

Compte tenu de cette puissance, installer un dispositif de récupération d'énergie par frottement sur le ventre de la tortue permettrait de créer une quantité d'énergie plus importante que par la piézoélectricité.

Le problème est que le dispositif doit être placé sur le plastron de la tortue alors que le GPS se trouverait sur sa carapace. Les fils entre la batterie et ce dispositif risquent d'être arrachés par la tortue ou par son environnement. De plus, ils risquent de la gêner dans ses mouvements. Cette solution n'a donc pas été retenue.

II.3.3 L'énergie éolienne

L'idée ici est d'installer plusieurs micro-éoliennes sur la carapace de la tortue. Il existe en effet plusieurs travaux de recherche sur les micro-éoliennes comme le montre la FIGURE 6, mais dans le domaine de la téléphonie, pour la recharge des smartphones.



FIGURE 7 : Micro-éolienne développée par Les chercheurs de l'université du Texas Arlington.

Cette solution est écartée car lorsque la tortue évolue en milieu forestier ou aquatique, il n'y a pas suffisamment de vent pour produire une quelconque énergie capable de recharger la batterie. De plus, la tortue arracherait ce dispositif sans le moindre effort.

II.3.4 L'énergie photovoltaïque

D'autres systèmes de production d'énergie existent, dont quelques-uns susceptibles de fonctionner et d'autres clairement irréalisables. Cependant, grâce aux renseignements obtenus sur le comportement des tortues la meilleure solution et la plus viable est celle de l'énergie photovoltaïque.

En effet, les Cistudes sont des animaux qui vivent dans des zones humides, en eaux douces et calmes, et surtout bien ensoleillées. Pour prendre ses bains de soleil, elles recherchent activement les troncs d'arbres flottants, des rochers ou autres supports bien ensoleillés.

Il existe plusieurs technologies de cellules photovoltaïques qui seront choisies en fonction de l'application et de la situation géographique du projet. Par exemple, une région très ensoleillée n'aura la même technologie de cellule qu'une région nuageuse. Le TABLEAU 7 regroupe ces différentes technologies.

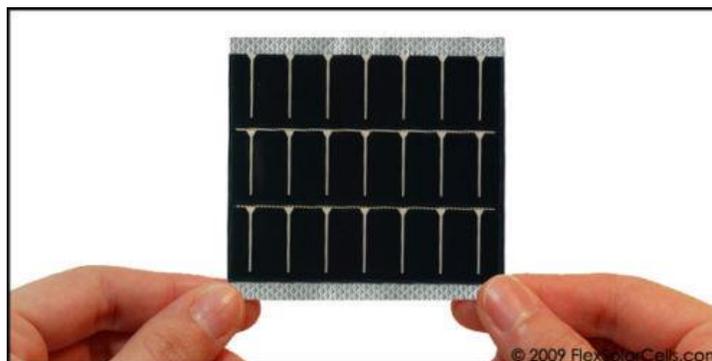
Type	Rendement en laboratoire (%)	Rendement module commercialisé (%)		Flexibilité	Puissance produite pour 0,65m ² STC (Wc/m ²)	Coût	Remarques
Silicium monocristallin	23	12	20	Rigide	117	***	
Silicium polycristallin	20	11	15	Rigide	84,5	**	Sensible aux variations d'éclairement
Silicium amorphe en couche mince	10	5	9	Souple	45,5	*	Efficace même par temps couvert
CIS	14	9	11	Souple	65	**	

TABLEAU 7 : Comparatif des différentes technologies photovoltaïques

Le choix des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin s'avère être le plus intéressant dans un cadre compétitif, le critère le plus important étant la puissance produite, et donc le courant délivré pour la recharge de la batterie.

Cependant, le CdC impose une surface maximale de 28cm² et le dispositif ne doit pas gêner l'animal. L'avantage de la cellule photovoltaïque de type amorphe, est qu'elle est flexible et peut donc être incorporée facilement au système. Cette flexibilité lui confère une faible épaisseur, environ 0,2mm, aussi fin qu'une feuille de papier. Elle est également légère avec un poids de 1,6g. Les caractéristiques d'une telle cellule semblent idéales pour le projet.

La cellule photovoltaïque retenue pour le projet a pour référence PowerFlim MPT3.6-75 Flexible Solar Panel 3.6V 50mA, montrée par la FIGURE 8. Elle est issue de la gamme OEM Components. Cette cellule est réalisée par dépôt de silicium amorphe sur un substrat en matière plastique mince. Elle est ensuite encapsulée dans un revêtement en polyester.


FIGURE 8 : Cellule PowerFilm MPT3.6-75 avec la borne positive en haut et la borne négative en bas.

Comme elle est aussi épaisse qu'une feuille de papier, elle peut s'enrouler autour de n'importe quelle surface courbée. Ses caractéristiques sont renseignées par le TABLEAU 8.

Tension	3,6V
Courant	50mA
Tension en circuit ouvert	4,8V
Courant en court-circuit	60mA
Epaisseur	0,2mm
Dimensions (largeur x longueur)	74 X 75mm
Dimensions utiles (largeur x longueur)	60 X 75mm
Masse	1,6g

TABLEAU 8 : Caractéristiques électriques et physiques de la cellule photovoltaïque.

La cellule peut à son point optimal de fonctionnement, produire une énergie de 180mW. De plus, la tension de sortie varie entre 3,6V et 4,8V, ce qui convient pour recharger la batterie.

L'inconvénient de ce choix technologique est que la tortue se déplace dans des zones marécageuses et ombragées. Ce qui aura pour conséquence de déposer des saletés sur la cellule photovoltaïque. Ces impuretés ainsi que l'ombre des arbres vont empêcher le passage des photons vers la cellule et avoir un impact sur son efficacité.

Pour résoudre ce problème, un produit hydrophobe peut être déposé sur la surface de la cellule. Ce produit utilise la nanotechnologie pour créer un revêtement et une barrière d'air sur la surface d'un objet. Cette barrière repousse l'eau, la boue, la vase, l'huile, le béton humide et autres liquides. Ce produit a une bonne adhérence et bonne résistance à l'abrasion, par rapport aux technologies précédentes, lui assurant ainsi une longévité convenable d'environ 5 ans.

Le produit sera appliqué, par les naturalistes de CAUDALIS, s'ils le jugent nécessaire. En effet, la tortue se déplace parmi les hautes herbes ce qui nettoie sa carapace, et donc la cellule photovoltaïque.

La cellule photovoltaïque va délivrer une tension continue variant de 3,6V à 4,8V de façon permanente et non contrôlée. Il est donc nécessaire de contrôler cet apport d'énergie pour ne pas endommager la batterie avec une surcharge. Le point suivant explique comment l'énergie va être gérée au niveau de la batterie.

II.4 Gestion électronique de la batterie

Pour préserver la durée de vie de la batterie, il est nécessaire de placer un circuit de protection en amont. Il évite les décharges profondes et les surcharges de la batterie. La tension maximale de la batterie en fin de charge ne doit pas dépasser 4,1V par élément Li-ion. La tension nominale est de 3,6V par élément. A 3V par élément, la batterie est considérée comme déchargée. Enfin, si la tension chute en-dessous de 2,5V par élément, ceux-ci peuvent être détruit.

La carte électronique du GPS possède cet étage de gestion pour sécuriser la batterie qui en temps normal, est rechargée uniquement par USB. Le port USB fournit une tension stable de 5V qui est abaissée pour recharger la batterie.

L'étage de gestion peut également gérer l'énergie provenant d'une cellule photovoltaïque. Ceci permet de charger la batterie en toute sécurité. La FIGURE 9 montre un exemple de circuit qui gère l'alimentation de la batterie.

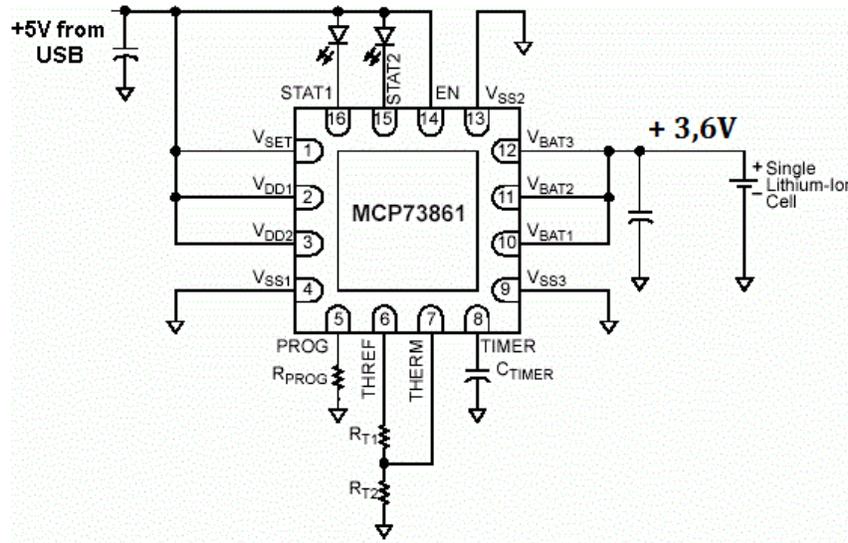


FIGURE 9 : Circuit permettant de charger une batterie Li-ion depuis une alimentation de type USB

II.5 Système de *radio-tracking*

Afin de faciliter la capture des tortues dans la nature, il existe des systèmes qui émettent de façon régulière des impulsions hautes fréquences. Ces impulsions sont ensuite captées par l'intermédiaire d'une antenne et d'un récepteur. Le récepteur envoie un signal sous forme de bip audible par l'homme. Plus la force du bip est grande, plus l'utilisateur se rapproche de la source d'émission.

II.5.1 L'émetteur VHF

Un émetteur VHF produit un signal à très haute fréquence. La bande de fréquence s'étend de 30MHz à 300MHz. Ces fréquences se propagent principalement en vue directe, avec des réflexions exceptionnelles sur les couches de l'ionosphère. Leur longueur d'onde est compatible avec les liaisons mobiles ou fixes en radiotéléphonie, en utilisant des antennes simples non directionnelles et de faible puissance.

Ainsi, ce type d'émetteur couvre un rayon de quelques kilomètres. N'étant pas directionnel, il va donc émettre tout autour de lui. Pour choisir cet émetteur, les caractéristiques de dimension, de durée de vie et de poids sont prioritaires.

Plusieurs entreprises ont été contactées pour trouver un émetteur correspondant au CdC. Aucune entreprise française ne fabrique ce type d'émetteur. Après plusieurs contacts à travers le monde, une société mexicaine a communiqué une référence qui a un poids de 5,2g dont les dimensions sont de 26 x 14 x 9mm.

Les caractéristiques complètes de ce modèle, le TXC-009G sont visibles à l'annexe 2. Ce modèle semble peut énergivore et pourra être connecté à la batterie du GPS pour avoir une autonomie optimale de 12 mois. De plus, sa portée de 8km est satisfaisante pour le localiser dans la nature. Toutes les sociétés fabriquent leurs émetteurs uniquement sur commande car chaque émetteur est unique. Le temps de livraison est d'environ 6 semaines. Malheureusement, l'émetteur pour le projet a été commandé trop tard pour être intégré au prototype. Cependant, le fait d'utiliser le GPS sans l'émetteur VHF est possible. Seule la recherche de la tortue dans son milieu sera plus longue. La récupération des données quant à elle ne sera pas affectée.

II.5.2 L'antenne Yagi

Pour capter le signal provenant de l'émetteur, il est nécessaire d'utiliser une antenne Yagi. Cette antenne (provenant du nom d'un de ses inventeurs : Hidetsugu Yagi), est une antenne à éléments parasites utilisable pour la haute fréquence et la ultra haute fréquence. Elle est principalement utilisée dans certains domaines d'application tel que la télévision terrestre.

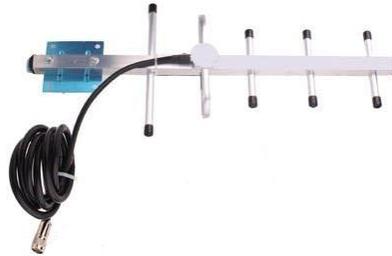


FIGURE 10 : Antenne Yagi utilisée pour capter les fréquences émises par l'émetteur VHF.

En effet, les antennes que l'on appelle abusivement « râdeaux » et que l'on trouve sur les toits des habitations pour capter la télévision sont en réalité des antennes Yagi. Inventée peu de temps avant la seconde guerre mondiale, elle a été utilisée pour les premiers radars. Celle utilisée pour le projet est capable de détecter un émetteur VHF à deux kilomètres de distance et possède une fréquence d'utilisation autour de 150MHz.

II.6 Résine d'encapsulation

Pour rappel, la Cistude est une tortue aquatique et terrestre. Elle peut rester quelques heures sous l'eau jusqu'à un mètre de profondeur. Il faut également prendre en compte qu'elle passe six mois de l'année en hibernation dans la vase et sous les feuilles mortes. Le système doit donc être complètement étanche afin de rester opérationnel quel que soit l'activité de la tortue.

L'idée retenue est d'encapsuler tous les composants directement dans une résine dite *crystal*. Cette résine a la particularité d'être électriquement neutre, de ne pas être corrosive pour les composants, et de ne pas chauffer lors de la polymérisation. Elle est composée de deux composants : une résine époxy et un durcisseur. Transparente et solide, elle imite parfaitement la pâte de verre et permet de réaliser des moulages, des inclusions jusqu'à 5cm d'épaisseur, des enrobages, ou des stratifiés. Elle résiste également aux UV.

CHAPITRE III - Travaux expérimentaux et résultats

Les différents équipements, présentés précédemment, présentent des perspectives intéressantes pour le projet. Cependant, pour valider leur efficacité respective et faciliter l'intégration, il est indispensable de réaliser des tests. Comme vu dans le premier chapitre, l'environnement peut avoir un impact non négligeable sur la précision ou le fonctionnement de certains équipements. Ce troisième chapitre expose les travaux expérimentaux menés et les résultats obtenus. Il présente aussi le comportement de chaque équipement en situation réel.

III.1 GPS Data Logger i-gotU GT120

Le GPS Data Logger permet d'obtenir et de stocker les coordonnées géographiques de la tortue durant toute une année. Le GPS i-gotU GT120, choisi au chapitre deux, possède des caractéristiques intéressantes qui doivent être approuvées. Pour cela, plusieurs tests ont permis de préciser son fonctionnement et sa consommation énergétique.

III.1.1 Caractéristiques physiques

Le CdC impose une masse totale du système relativement faible, soit 30g. Il est donc important d'alléger chaque composant. En l'occurrence, le GPS est composé de trois éléments qui sont la coque en plastique, la batterie et la puce GPS. Le constructeur donne un poids total de 20g dans sa documentation. Il est possible de séparer chaque élément pour en effectuer la pesée au milligramme près. Les résultats obtenus sont montrés par les FIGURES 11 à 13.



FIGURE 11 :
Coque en plastique du GPS

La coque en plastique est constituée de deux parties : un boîtier et un couvercle.

Le poids de la coque est de 6,789g.



FIGURE 12 :
Batterie Li-ion du GPS

La batterie utilise la technologie Lithium ion et a une capacité maximale de 380 mAh.

Le poids de la batterie est de 7,4g.



FIGURE 13 :
Carte électronique du GPS

Cette carte contient la puce GPS, la mémoire de stockage et un étage de gestion de recharge de la batterie.

Le poids de cette carte est de 7,25g.

Le poids réel du GPS est finalement de 21,44g. Pour le projet, la coque plastique est superflue et il est prévu d'encapsuler les composants dans de la résine. Le poids total de la batterie et de la puce GPS est de 14,65g.

Les dimensions imposées par le CdC sont de 7 x 4 x 3cm [longueur ; largeur ; hauteur]. Celles de la batterie et de la carte électronique sont de 4,4 x 2,9 x 1,3cm respectivement. Ces dimensions confortent donc le choix précédent.

III.1.2 Précision en fonction du mode de fonctionnement

Le GPS i-gotU GT120 a deux modes de fonctionnement possibles. L'un est dit *mode normal* tandis que l'autre est dit *mode économie*. Comme sa nomination l'indique, le *mode normal* permet au GPS de fonctionner de manière classique sans que l'utilisateur se soucie de son autonomie. Le GPS cherche constamment des satellites pour obtenir de façon précise sa position à chaque enregistrement de données.

Le *mode économie*, quant à lui, oblige le GPS à préserver l'énergie de la batterie pour que l'autonomie soit optimale. Le GPS entre alors en phase de *veille* entre chaque enregistrement de données. Ce mode laisse penser que la géolocalisation sera moins précise.

Pour comparer ces deux modes, plusieurs essais ont été réalisés. Ils ont consisté à effectuer un parcours avec deux GPS, l'un en *mode normal* et l'autre en *mode économie* avec la même fréquence d'enregistrement des données. Une fois le parcours réalisé, il a suffi de récupérer les données et de comparer les deux trajets enregistrés.

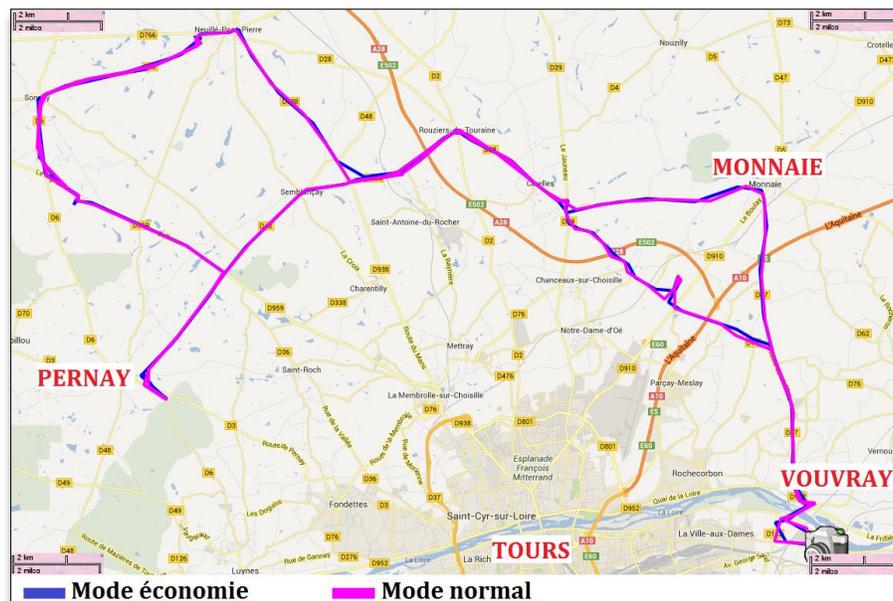


FIGURE 14 : Parcours enregistrés par les deux GPS avec deux modes de fonctionnement différents.

Pour le premier essai, les GPS ont réalisé le suivi d'une voiture pendant une journée avec un enregistrement des coordonnées géographiques toutes les minutes. La FIGURE 14 dévoile une quasi-similitude entre les parcours enregistrés par les deux GPS.

La Cistude est une tortue se déplaçant principalement dans des zones marécageuse et forestière. Ainsi, l'itinéraire choisi pour effectuer le test suivant se déroule en zone arborée, car les arbres sont plus enclins à perturber le signal de réception des GPS. Les FIGURES 15 et 16 montrent les résultats obtenus pour un parcours dans la forêt du parc des Bretonnières à Joué-lès-Tours (37300) :

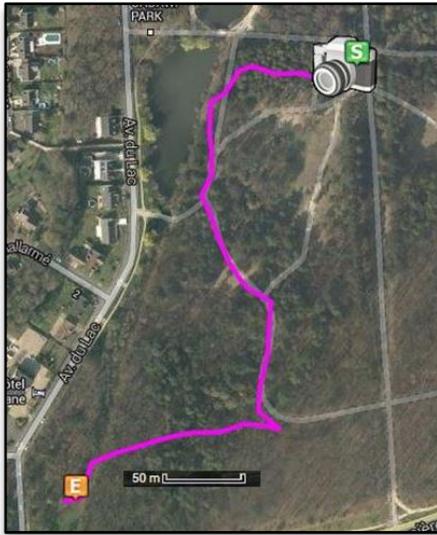


FIGURE 15 :
Parcours enregistré par le GPS en *mode normal*.

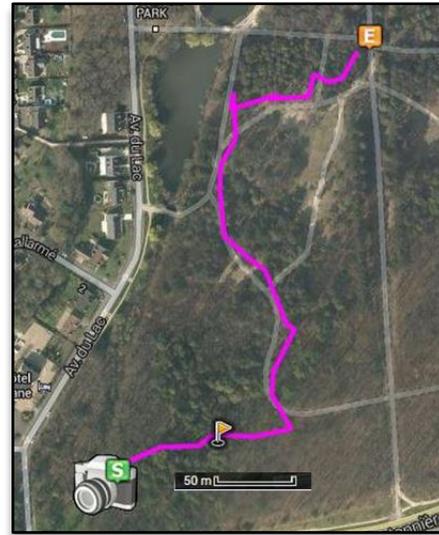


FIGURE 16 :
Parcours enregistré par le GPS en *mode économie*.

Cet essai confirme le résultat précédent, représenté par la FIGURE 14. Même en progressant dans les sous-bois, le GPS en *mode économie* est aussi performant qu'en *mode normal*. La précision au sol est d'environ 2m dans les deux cas.

Enfin, il est nécessaire de tester l'enregistrement des coordonnées lorsque le GPS est encapsulé dans la résine cristal. En effet, certaines résines peuvent endommager le circuit électronique ou bloquer le signal de réception. Après l'étape d'encapsulation, visible sur la FIGURE 17, le GPS enregistre avec succès les coordonnées géographiques sans perte de précision.

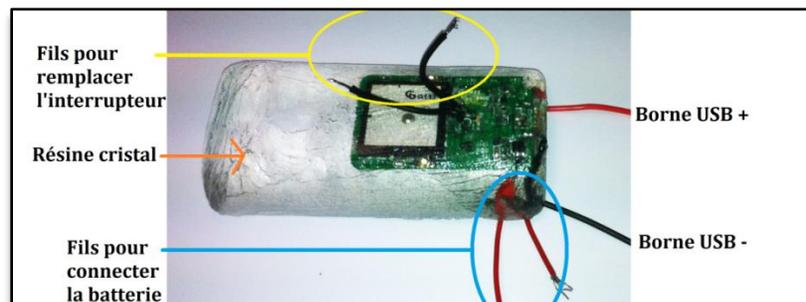


FIGURE 17 : GPS encapsulé dans la résine cristal.

L'objet de la sous-partie suivante développe la stratégie de consommation du GPS, point essentiel pour le dimensionnement du système.

III.1.3 Consommation énergétique

La mise en concurrence des deux modes de fonctionnement en terme de précision implique également la notion de consommation d'énergie. Celle-ci s'effectue alors de manière totalement distincte, afin de s'adapter au choix de l'utilisateur.

Les essais effectués pour montrer ce phénomène sont réalisés avec le GPS et sa batterie uniquement, sans apport d'énergie. La cadence d'enregistrement des points - un toute les minutes - est la même pour les deux modes de fonctionnement. Un ampèremètre est placé entre le GPS et la batterie, FIGURE 18, pour connaître la consommation instantanée du GPS :

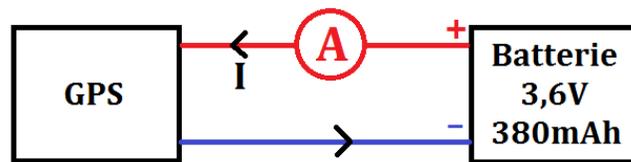


FIGURE 18 : Schéma pour caractériser la consommation énergétique du GPS

Le *mode normal* est plus énergivore. Comme le GPS essaie de rester connecté en permanence aux satellites, il consomme constamment de l'énergie. Cette consommation en mA, montrée par la FIGURE 19, semble rester constante dans le temps. Au démarrage du GPS, il y a un pic de consommation sur 6 secondes. À ce rythme, la consommation moyenne est d'environ 21mAh.

Des pics de courant sont présents toutes les 60 secondes, ils correspondent à l'enregistrement des coordonnées géographiques. L'enregistrement des données dure approximativement 6 secondes, pendant lesquelles le GPS consomme plus d'énergie. Enfin, les ondulations entre chaque pic d'enregistrement correspondent au clignotement de la LED d'état.

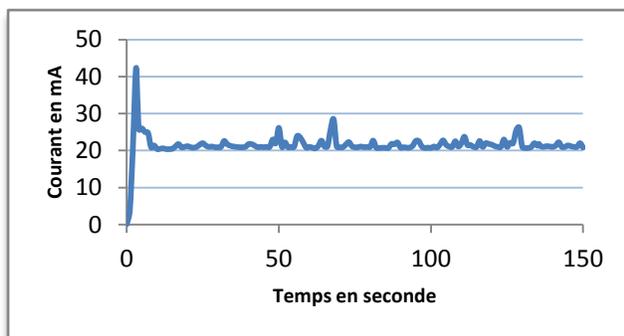


FIGURE 19 : Caractéristique de consommation en courant du GPS en mode normal.

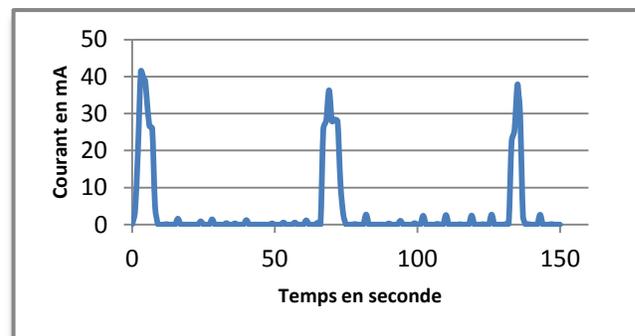


FIGURE 20 Caractéristique de consommation en courant du GPS en mode économie.

Ensuite, le *mode économie* assurant une bonne autonomie au GPS, a été étudié. Expliqué précédemment, le GPS cherche les satellites uniquement lorsqu'il doit enregistrer ses coordonnées géographiques. Comme pour le *mode normal* et d'après la FIGURE 19, un pic de consommation apparait pendant 6 secondes au démarrage du GPS, puis il se stabilise autour des 0mA. Il y a également des ondulations dues au clignotement de la LED d'état.

De plus, les pics d'une durée de 6 secondes répétés toutes les 60 secondes, sont bien plus conséquents qu'en mode normal. La consommation moyenne obtenue pour le *mode économie*, d'après la démonstration en annexe 3, est de 2,68mAh.

Après avoir caractérisé la consommation du GPS selon le mode de fonctionnement choisi, le point suivant développe la notion d'autonomie du GPS avec sa batterie de 380mAh.

III.1.4 Calcul d'autonomie avec une batterie de 380 mAh

Le GPS i-gotU GT120 est vendu avec une batterie de 380mAh. Cette dernière permet au GPS d'enregistrer les coordonnées géographiques sur une longue période sans apport d'énergie extérieur. Cette partie sera consacrée aux calculs théoriques de l'autonomie du système selon les modes de fonctionnement puis à la comparaison de ces résultats avec les expérimentations.

Les graphes précédents ont permis d'obtenir la consommation moyenne dans chaque mode. Il est donc possible de calculer théoriquement la capacité de la batterie en fonction de la fréquence d'enregistrement des données.

La décharge naturelle de la batterie aura peu d'impact sur l'autonomie du système, car la cellule photovoltaïque compense largement les pertes.

Le TABLEAU 9 suivant, montre l'autonomie théorique du GPS en fonction de la fréquence d'enregistrement des données et le mode de fonctionnement. Ces résultats sont issus d'une méthode de calcul présente en annexe 3.

Fréquence	Mode normal		Mode économie	
	Autonomie théorique	Consommation moyenne	Autonomie théorique	Consommation moyenne
1 point / min	18h	21 mAh	5 jours et 22h	2,68 mAh
6 points / heure			35 jours	0,448 mAh
3 points / heure			48 jours	0,324 mAh

TABLEAU 9 : Estimation de la durée de vie et de la consommation énergétique du GPS.

De plus, il est possible lors de la programmation du GPS, de désactiver les LEDs bleue et rouge, permettant d'économiser encore de l'énergie. Pour le moment, le *mode économie* semble être le plus adapté au besoin du projet.

Après avoir étudié le fonctionnement en détail du GPS, la prochaine partie s'intéresse à la cellule photovoltaïque qui devra garantir l'autonomie du GPS tout au long de la période d'activité de la Cistude.

III.2 Cellule photovoltaïque flexible

Après avoir choisi la source d'énergie, qu'est la cellule photovoltaïque, il est nécessaire d'analyser ses caractéristiques physiques réelles. Pour ce faire, des expérimentations ont été réalisées avec un simulateur de soleil. Les conditions environnementales, l'irradiance et la température, seront données pour chaque essai.

III.2.1 Caractérisation avec le simulateur de soleil

Le simulateur de soleil en FIGURE 21, est un *Sun 2000 Solar simulator* de la société ABET Technologies. Grâce à une lampe 1000W et à un jeu de miroir, il est capable de reproduire le spectre lumineux du soleil et d'avoir un éclairage énergétique, ou irradiance comparable. Pour les essais, l'irradiance est à $650\text{W}/\text{m}^2$, équivalent à un soleil d'hiver. La température dans la pièce est d'environ 21°C .

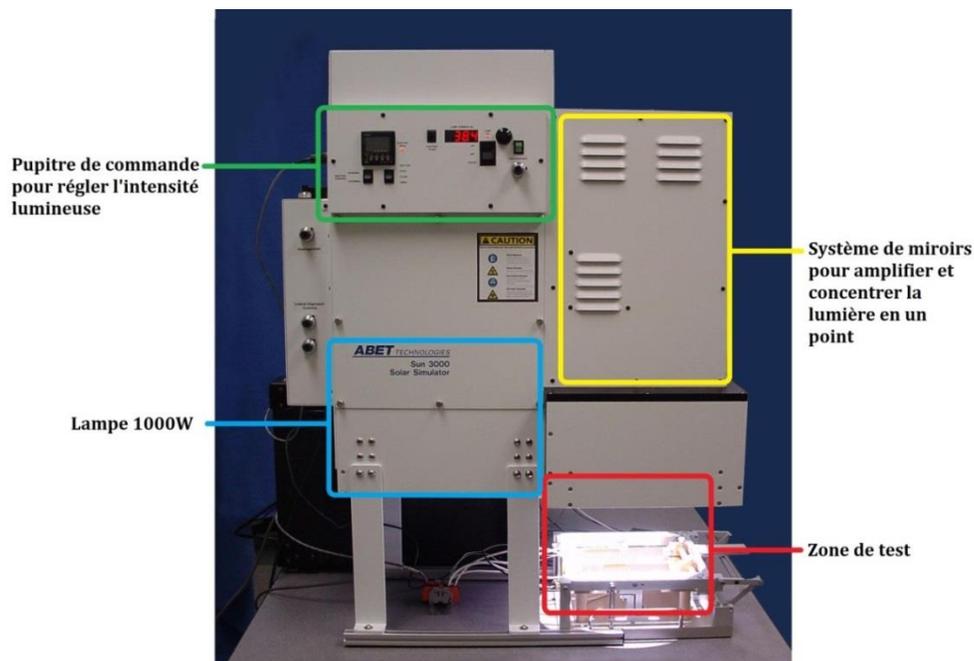


FIGURE 21 : Simulateur de soleil *Sun 2000 Solar* de la société ABET Technologies.

Pour caractériser la cellule, le banc de test est composé de la cellule photovoltaïque, d'un voltmètre, d'un ampèremètre et d'une résistance variable qui simulera la charge. L'obtention de la courbe caractéristique est possible en faisant varier la résistance de charge, cela va déplacer le point de fonctionnement de la cellule.

La FIGURE 22 montre le courant- en mA - en fonction de la tension - V - pour différentes dimensions de la cellule photovoltaïque :

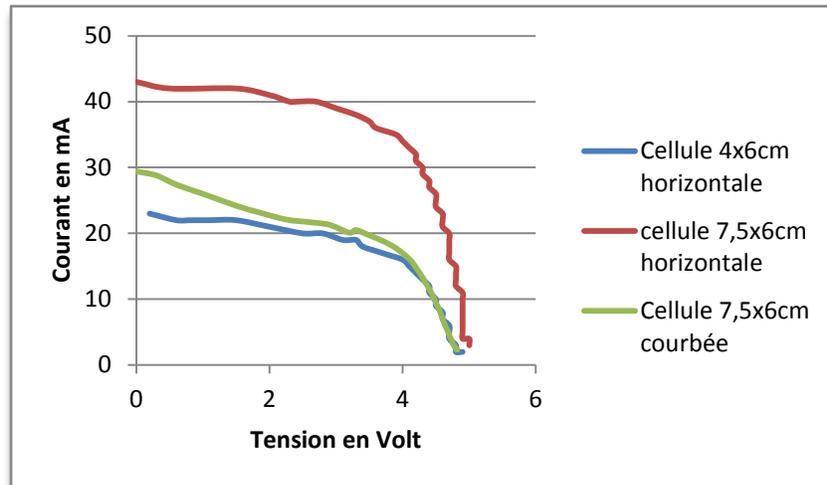


FIGURE 22 : Caractéristiques tension/intensité de la cellule selon sa dimension et sa disposition.
Condition de test : irradiance = 650W/m² et Température ambiante = 21°C

La courbe caractéristique de la cellule 7,5 x 6cm, en rouge, est très proche des données du fabricant. Ensuite, pour respecter les dimensions imposées par le CdC, cette cellule a été découpée pour obtenir une cellule 4 x 6cm. D'après la courbe bleue, avec une surface divisée par deux, la cellule fournit deux fois moins de courant. Enfin, pour optimiser l'acquisition de soleil à toute heure de la journée, la cellule 7,5 x 6cm a été courbée pour respecter les dimensions imposées par le CdC. Il est alors possible d'obtenir un courant plus important pour une même tension, représenté par la courbe verte.

De plus, les courbes de puissance, FIGURE 23, montrent clairement que la cellule courbée fournit plus d'énergie que la cellule découpée. En prenant en compte l'inclinaison du soleil qui varie dans la journée, il sera plus intéressant de choisir la cellule courbée qui fournira plus d'énergie.

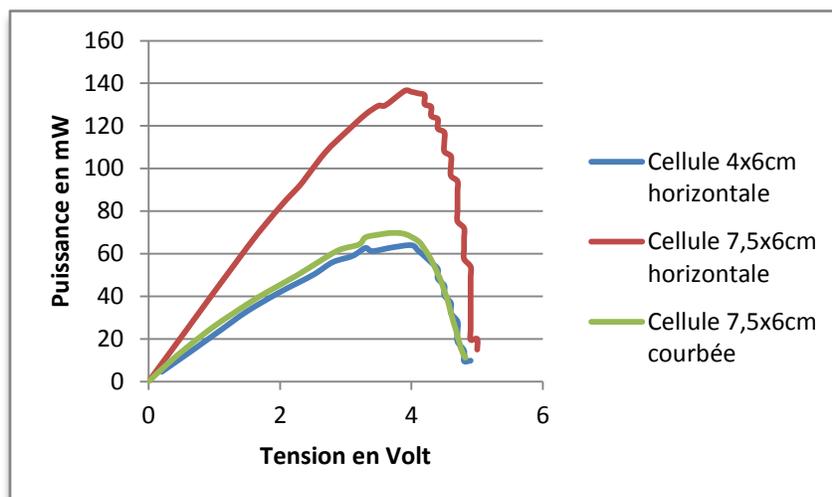


FIGURE 23 : Caractéristiques de puissance de la cellule selon sa dimension ou sa disposition.
Condition de test : irradiance = 650W/m² et Température ambiante = 21°C

Les résultats obtenus permettent de dire que la cellule photovoltaïque courbée, quelle que soit sa dimension ou sa disposition, permettra de compenser la consommation du GPS et de recharger la batterie entre deux points de géolocalisation. Ceci dans des conditions idéales, soleil constant à température ambiante de 21°C.

III.2.2 Facteur de forme et rendement

Le facteur de forme permet de savoir si la cellule photovoltaïque est de bonne qualité. Une cellule photovoltaïque de bonne qualité a un FF d'environ 0,8 et une cellule moyenne a un FF d'environ 0,6. Il se calcule de la façon suivante : $FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{cs}}$

Le FF donnée par le fabricant est de : $\frac{3,6 * 50}{4,8 * 60} = 0,75$ ce qui en fait une cellule de bonne qualité. En revanche, le FF obtenu de façon pratique est plus petit : $\frac{3,6 * 36}{5 * 43} = 0,6$ ce qui en fait une cellule de qualité moyenne.

Vient ensuite le calcul du rendement par la formule suivant : $\eta = \frac{MPP}{I_r * S}$

Le rendement théorique donné par le fabricant est de $\eta_{th} = \frac{3,6 * 0,050}{650 * 0,0045} = 6,1\%$

Le rendement expérimental obtenu est de $\eta_{exp} = \frac{3,6 * 0,036}{650 * 0,0045} = 4,4\%$

Ce résultat n'est pas étonnant car la technologie amorphe a des rendements relativement faibles, de l'ordre de 7 à 8% dans le meilleur des cas et dans les conditions STC.

En conclusion, cette cellule photovoltaïque est capable de recharger suffisamment la batterie pour que le GPS fonctionne. Les meilleures périodes de recharge seront lorsque la tortue prendra son bain de soleil.

III.3 Couplage entre le GPS, la batterie et la cellule photovoltaïque

Dans cette partie, il sera vérifié que l'énergie fournie par la cellule photovoltaïque compense la consommation du GPS. Afin de se rapprocher de la réalité tout en confortant les résultats précédents, les essais avec le simulateur de soleil seront effectués dans les mêmes STC.

Concernant le câblage du système, il était nécessaire et utile de connecter la cellule photovoltaïque aux pins de l'alimentation USB du GPS. Pour ce faire, la borne positive de la cellule photovoltaïque est soudée sur la pin n°1 et la borne négative sur la pin n°4.

En effet, le PCB du GPS possède une fonction qui contrôle la charge et la décharge de la batterie lorsque celui-ci est connecté en USB à l'ordinateur. Cette fonction régule également la tension d'alimentation du système car la tension de l'USB de 5V est abaissée à 3,6V pour la batterie et le GPS. Il est donc intéressant d'y connecter la cellule photovoltaïque fournissant entre 3,5V et 4,8V. La fonction

adapte la tension de la cellule photovoltaïque à la tension de la batterie et isole la cellule du système lorsque la batterie est chargée.

De plus, le GPS a une fonction *alarme* qui se déclenche lorsque la batterie n'a plus suffisamment d'énergie pour assurer son bon fonctionnement. Il est alors nécessaire de connecter le GPS à une source d'alimentation via le connecteur USB pour désactiver cette alarme. La tension délivrée par la cellule photovoltaïque semble suffisante pour désactiver l'alarme.

Finalement, le fait de connecter la cellule photovoltaïque sur les pins de l'USB permet de recharger la batterie et d'éviter le blocage du GPS à cause de l'alarme.

III.3.1 Essais de fonctionnement avec le simulateur de soleil

Pour assurer la cohérence entre nos différents essais, le simulateur de soleil a gardé la même configuration, soit une irradiance 650W/m^2 avec une température ambiante de 21°C . Le câblage de la FIGURE 24 permet de mesurer la consommation du GPS, avec l'apport en énergie de la cellule photovoltaïque. Celle choisie pour ces essais est la $7 \times 7\text{cm}$ placée à l'horizontale.

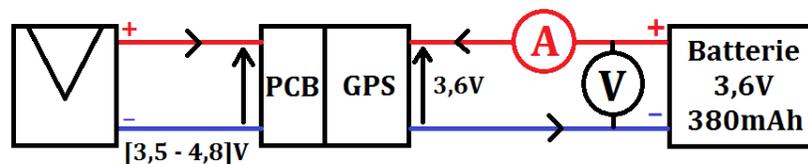


FIGURE 24 : Schéma pour tester le couplage GPS, batterie et cellule photovoltaïque.

L'ampèremètre permet de surveiller les instants de charge et de décharge de la batterie. Le voltmètre donne une information sur le niveau de charge de la batterie.

➤ Configuration en mode économie

Dans un premier temps, le simulateur de soleil est éteint. Le GPS, allumé, va décharger la batterie et consommer de l'énergie comme montré sur la FIGURE 20. Au bout de 45 secondes, le simulateur s'allume. La cellule photovoltaïque crée alors une élévation de courant. Ce qui permet de compenser complètement ce que consomme le GPS. Il y a même un excès d'énergie, rechargeant ainsi la batterie comme le montre la FIGURE 25.

Après 170 secondes de simulation, le simulateur s'éteint et le GPS décharge à nouveau la batterie. Cette expérience montre l'efficacité de la cellule photovoltaïque lorsque l'irradiance est d'environ 650W/m^2 . Un soleil d'été produira environ 1200W/m^2 .

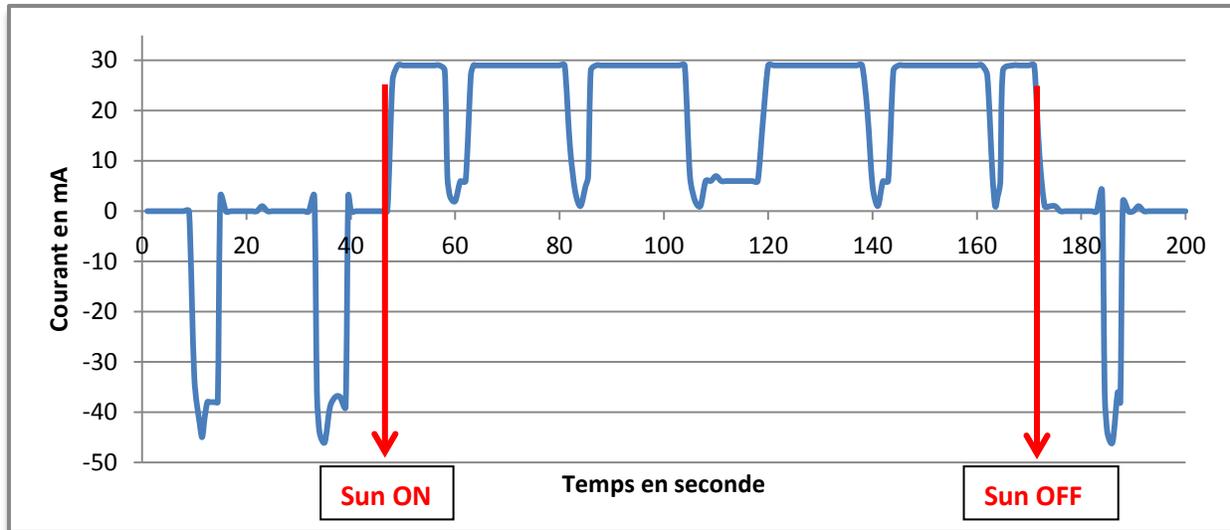


FIGURE 25 :

Courant au niveau de la batterie avec le GPS en *mode économie* et la cellule photovoltaïque de 7 x 7cm à l'horizontale.

Dans ces conditions, en admettant que la batterie était complètement vide et que le soleil brille sans interruption, il faut 14 heures pour lui restituer toute sa charge. Ce qui correspond à 1 ou 2 journées d'été bien ensoleillées.

➤ **Configuration en mode normal**

Dans cette configuration, le GPS consomme le courant de la même façon que sur la FIGURE 19, et décharge rapidement la batterie. Après 40 secondes, le simulateur s'allume. La cellule photovoltaïque provoque de nouveau une élévation de courant. Ce courant, plus faible que précédemment compense également la consommation du GPS. Enfin, à 120 secondes de test, le simulateur s'arrête et la batterie se décharge comme le montre la FIGURE 26.

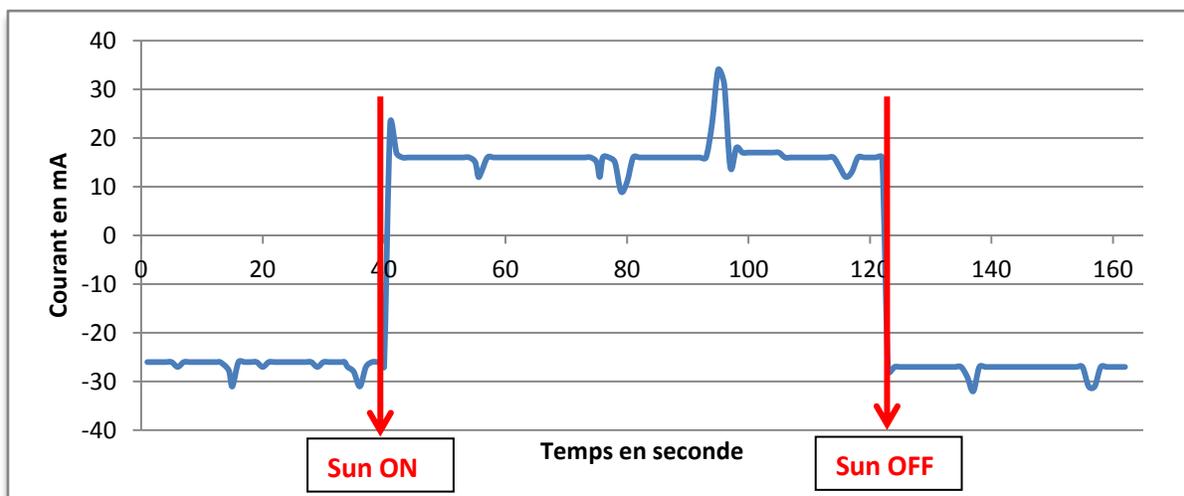


FIGURE 26 :

Courant au niveau de la batterie avec le GPS en *mode normal* et la cellule photovoltaïque de 7 x 7cm à l'horizontale.

Avec les mêmes hypothèses citées plus haut, il faut à peu près 23 heures pour recharger la batterie. Ce qui est équivalent à 2 ou 3 journées d'été bien ensoleillées.

En conclusion, il est préférable d'utiliser le mode économie pour permettre à la cellule photovoltaïque de recharger suffisamment la batterie durant la journée. Il ne faut pas oublier que le GPS va fonctionner durant la nuit et qu'il n'y a aucun moyen de recharger la batterie durant cette période.

D'autant plus que le GPS prendra trois coordonnées géographiques par heure, confortant ce choix de mode. En conservant le modèle de la FIGURE 25 et en changeant la fréquence d'enregistrement à trois coordonnées par heure, il faut environ 13 heures pour recharger la batterie.

Aussi, à cette fréquence, le GPS en *mode économie* va consommer théoriquement 0,324mAh et la cellule photovoltaïque va fournir 28,9mAh. Il y a donc bien compensation entre la charge et la décharge de la batterie.

Inversement, à cette fréquence et avec le GPS en *mode normal*, la consommation est de 21mAh pour un apport de 16,6mAh provenant de la cellule. Cette stratégie n'est donc pas viable.

Maintenant que la stratégie de fonctionnement est définie et que tous les éléments sont réunis, le point suivant explique la démarche d'encapsulation par résine utilisée pour ce projet. Pour rappel, le but de l'encapsulation est de protéger les composants électroniques ainsi que la batterie pour satisfaire la FC2 – résistance à l'environnement - du diagramme APTE établie lors du chapitre un.

III.4 Conception du moule et encapsulation

Le choix du type de résine pour l'encapsulation est important, car certaines résine, comme la résine époxy chauffe énormément lors du séchage. Cela pourrait endommager les composants électroniques. De plus, les dimensions de la forme finale du système doivent satisfaire le CdC. Pour cela, un logiciel de CAO et une imprimante 3D ont été utilisés.

III.4.1 Conception du moule par imprimante 3D

La forme choisie pour le prototype est proche d'un demi-cylindre. Pour réaliser l'encapsulation, il est nécessaire de concevoir un moule qui prend la forme souhaitée. La modélisation du moule avec le logiciel *SolidWorks* a permis de créer le modèle 3D. L'annexe 4 donne les cotations du moule.

Ce modèle est ensuite envoyé à une imprimante 3D, imprimant le moule en polymère thermoplastique. Les FIGURES 27 et 28 montrent le passage du modèle 3D sous ordinateur à l'objet fini après impression 3D.

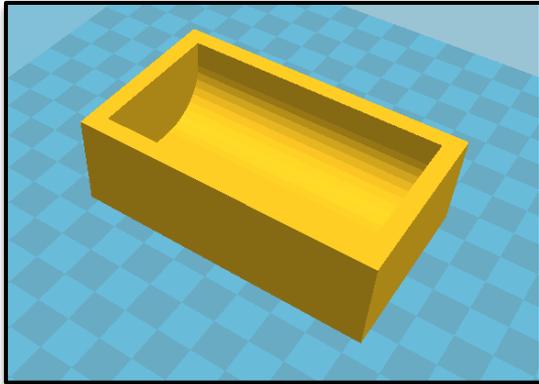


FIGURE 27 : Vue 3D sur le logiciel *CURA*, pour imprimante 3D.



FIGURE 28 : Vue du moule après impression 3D.

Une fois le moule terminé, l'application d'un revêtement en aluminium est nécessaire pour éviter l'adhésion de la résine au moule. Enfin, pour faciliter le démoulage, une pellicule de lubrifiant est appliquée sur l'aluminium.

Le moule ayant une contenance d'environ 90mL, les proportions en durcisseur et en résine sont respectivement de 30mL et 60mL. Après avoir correctement mélangé les deux composants, il faut remplir le moule et laisser sécher pendant 24 heures à température ambiante, entre 19°C et 23°C.

Au final, le bloc obtenu respecte les dimensions imposées par le CdC et permet de fixer la cellule photovoltaïque à sa surface. La FIGURE 29 confirme ce résultat.

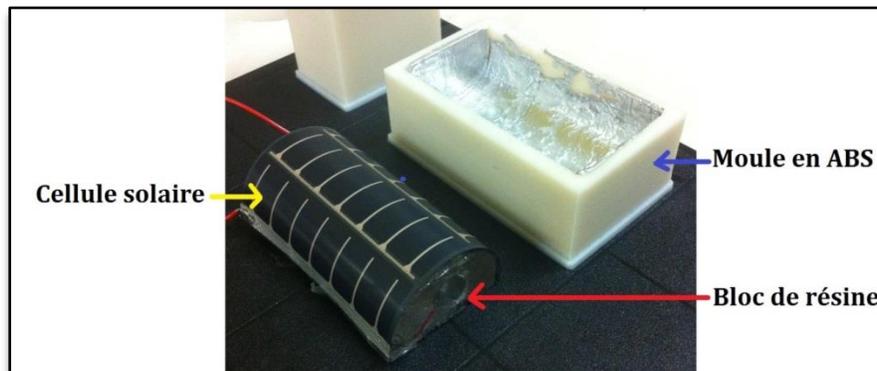


FIGURE 29 : Obtention du bloc de résine après séchage.
La cellule photovoltaïque épouse parfaitement la surface arrondie du bloc de résine.

III.4.2 Encapsulation du système

La validation des résultats précédents permettent de passer à l'étape suivante qu'est l'encapsulation du système. Il est question de couler le GPS, la batterie et de fixer la cellule photovoltaïque dans la résine. Ensuite, pour garder le système fonctionnel, il est nécessaire de laisser un accès au connecteur USB et au bouton *ON/OFF* du GPS. Les figures 30 à 32 montrent le démoulage du prototype terminé et prêt à l'emploi.



FIGURE 30 : Prototype avant démoulage.



FIGURE 31 : Prototype démoulé.



FIGURE 32 : Prototype final fonctionnel.

Remarques : le prototype pèse 54g. Il peut cependant être allégé en retirant davantage de résine. Le connecteur USB est également accessible.

CONCLUSION

Le projet proposé par l'association CAUDALIS à l'Ecole Polytech Tours a ouvert une nouvelle vision de l'électronique. En effet, la conception d'un prototype capable de géolocaliser une tortue sur une année est une problématique intéressante qui entre dans le domaine d'étude d'un ingénieur. Celle-ci associe l'ingénierie en électronique et la sensibilisation à l'environnement. Pour répondre à cette problématique, un cahier des charges ainsi qu'un programme ont été établis. Il existe de nombreux systèmes qui réalisent la même fonction, ne répondant pas aux exigences du CdC, mais qui ont donné des informations importantes sur les technologies utilisées dans ce domaine. Le système international ARGOS est généralement pris comme référence.

Le prototype final doit peser 30 grammes, mesurer 7cm par 4cm par 3cm maximum respectivement en longueur, largeur, épaisseur et avoir une autonomie d'une année complète. Il doit être facilement détectable dans la nature et avoir une précision inférieure à 20 mètres pour la partie géolocalisation.

Ensuite, le choix des composants se déroule en deux étapes : comparatif des technologies existantes et des caractéristiques techniques par rapport au CdC. Il est nécessaire d'avoir un composant de géolocalisation, de production d'énergie, de stockage d'énergie, de pistage et d'encapsulation. Pour la géolocalisation, le GPS i-gotU GT120 a été retenu car il est de petite dimension, il enregistre les coordonnées GPS dans une mémoire interne et est programmable. Ensuite, une cellule photovoltaïque flexible de petite taille, utilisant la technologie du silicium amorphe permet d'apporter de l'énergie au système. Le stockage de l'énergie se fait grâce à la batterie Li-ion fournie avec le GPS, elle est donc aussi petite que le GPS. Le pistage du système dans la nature repose sur le principe de la traçabilité d'un émetteur VHF à l'aide d'une antenne et d'un récepteur. L'émetteur adopté pour remplir cette fonction est le TXC-009G du fabricant TELENAX qui a une durée de vie de 10 mois et un poids exact de 4 grammes. Enfin, pour réaliser l'encapsulation du système, de la résine *crystal* est conseillée car elle n'abîmera pas les composants électroniques lors de la polymérisation.

Une fois les composants reçus, il est essentiel de réaliser des tests pour valider leurs caractéristiques. Pour ce faire, la précision, la consommation et les différents modes de fonctionnement du GPS sont testés. Il en ressort que le *mode économie* est plus adapté à l'application car malgré une légère perte de précision, il consomme beaucoup moins d'énergie : 0,324mAh, que le *mode normal* : 21mAh, pour une fréquence d'enregistrement de trois coordonnées GPS par heure. A noter que le GPS fonctionne avec une tension de 3,6V.

La cellule photovoltaïque, quant à elle, est caractérisée sur un banc de test qui possède un simulateur de soleil. Les conditions de tests sont les suivantes : irradiance 650W/m² et température ambiante 21°C. De dimension 7cm par 7cm, la cellule photovoltaïque peut fournir jusqu'à 140mW, soit un rendement de 4,4%. Pour respecter le CdC, elle est courbée pour obtenir un demi-cylindre de dimension 7cm de longueur par 4cm de largeur et 2,3cm de hauteur. Dans cette configuration la cellule fournit jusqu'à 70mW, soit deux fois moins de puissance, mais elle captera plus de lumière en fonction de l'inclinaison du soleil durant la journée.

Ensuite, la cellule photovoltaïque est couplée avec le GPS et la batterie de 380mAh pour confirmer si l'énergie apportée par la cellule compense l'énergie consommée par le GPS. La cellule est soudée aux bornes de l'alimentation USB pour deux raisons. La première, pour désactiver l'alarme du GPS qui se déclenche lorsque la batterie est déchargée. La seconde concerne la position de la cellule qui est alors connectée en amont de l'étage d'alimentation du GPS. Il est chargé de convertir la tension d'entrée en 3,6V pour alimenter la batterie et éviter les surcharges et les décharges profondes de la batterie. Les essais sont faits avec le simulateur de soleil dans les mêmes conditions de test que précédemment.

Avec une fréquence de trois enregistrements de coordonnées GPS par heure et le *mode économie* activé, il faut environ 13 heures pour recharger la batterie, si elle est supposée complètement vide au départ. En *mode normal*, il faut environ 23 heures pour recharger la batterie.

En effet, le GPS en *mode économie* consomme théoriquement 0,324mAh et la cellule photovoltaïque fournit 28,9mAh. Il y a donc bien compensation entre la charge et la décharge de la batterie. L'autonomie d'un an semble possible avec cette stratégie. Et Inversement, le GPS en *mode normal* consomme 21mAh pour un apport de 16,6mAh provenant de la cellule photovoltaïque. Cette dernière stratégie n'est donc pas viable.

Concernant l'émetteur VHF, la décision d'achat a été prise tardivement. Suite aux délais de livraison trop importants, l'étude s'est déroulée sans ce dernier. En revanche, dès réception de celui-ci, il sera nécessaire de le connecter à la batterie du GPS pour assurer un an d'émission. Il sera nécessaire d'ajouter un circuit de gestion entre la batterie et l'émetteur pour éviter la décharge profonde de la batterie.

Enfin, le prototype réalisé est fonctionnel et comporte tous les composants, sauf l'émetteur VHF. Cependant, la condition de poids est invalidée et est dépassée de 21g due à la résine qui pèse plus lourd que prévu. Il est possible d'ajouter des microbilles en verre dans la résine pour l'alléger. Au final, les composants ont une masse de 16,25g et le coût du système en prenant en compte l'émetteur VHF est de 301,13€ ce qui satisfait le CdC. Le descriptif détaillé des coûts est disponible en annexe 5.

L'aboutissement d'un tel projet requiert du temps et des moyens financiers conséquents. L'émetteur VHF à lui seul représente les trois quarts du prix total d'un système. Il faut alors chercher un composant qui regroupe la géolocalisation et qui remplace l'émetteur VHF. L'exemple d'un GPS par GSM est une des pistes possibles pouvant être vérifié par une autre étude.

BIBLIOGRAPHIE

Action, M., s.d. *i-gotU*.

Available at: <http://www.i-gotu.com/>

[Accès le Octobre 2013].

GédéO, s.d. *Résines et plâtre Gédéo*.

Available at: <http://www.pebeo.com/Loisirs-creatifs/Resines-Platres-et-Decors-a-mouler-Gedeo/Resines-et-platres-Gedeo>

[Accès le Janvier 2014].

PowerFilmSOLAR, s.d. *MPT3.6-75*.

Available at:

<http://www.powerfilmsolar.com/products/?mpt3675&show=product&productID=271536&productCategoryIDs=6573>

[Accès le Novembre 2013].

SIENCES.com, F. -, s.d. *Cistude d'Europe*.

Available at: <http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dico/d/zoologie-cistude-europe-12921/>

[Accès le Octobre 2013].

Telenax, s.d. *Turtle*.

Available at:

http://www.telenax.com/en/index.php?option=com_k2&view=item&id=17:turtle&Itemid=142

[Accès le Décembre 2013].

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Comparatif de taille entre la tortue male en haut et la femelle.	7
FIGURE 2 : Cistudes d'Europe prenant un bain de soleil sur un tronc d'arbre.	8
FIGURE 3 : Le territoire d'une Cistude est composé de marécages, d'étangs, et de zones forestières.	9
FIGURE 4 : Programme prévisionnel du projet.	12
FIGURE 5 : GPS Data Logger i-gotU GT120 retenu pour le projet.	14
FIGURE 6 : Classement des types de batterie en fonction de leurs rapports énergie/poids et énergie/volume.	15
FIGURE 7 : Micro-éolienne développée par Les chercheurs de l'université du Texas Arlington.	19
FIGURE 8 : Cellule PowerFilm MPT3.6-75 avec la borne positive en haut et la borne négative en bas.	20
FIGURE 9 : Circuit permettant de charger une batterie Li-ion depuis une alimentation de type USB	22
FIGURE 10 : Antenne Yagi utilisée pour capter les fréquences émises par l'émetteur VHF.	23
FIGURE 11 : Coque en plastique du GPS	24
FIGURE 12 : Batterie Li-ion du GPS.	24
FIGURE 13 : Carte électronique du GPS	24
FIGURE 14 : Parcours enregistrés par les deux GPS avec deux modes de fonctionnement différents.	25
FIGURE 15 :	26
FIGURE 16 :	26
FIGURE 17 : GPS encapsulé dans la résine cristal.	26
FIGURE 18 : Schéma pour caractériser la consommation énergétique du GPS.	27
FIGURE 19 : Caractéristique de consommation en courant du GPS en mode normal.	27
FIGURE 20 : Caractéristique de consommation en courant du GPS en mode économie.	27
FIGURE 21 : Simulateur de soleil <i>Sun 2000 Solar</i> de la société ABET Technologies.	29
FIGURE 22 : Caractéristiques tension/intensité de la cellule selon sa dimension et sa disposition.	30
FIGURE 23 : Caractéristiques de puissance de la cellule selon sa dimension ou sa disposition.	30
FIGURE 24 : Schéma pour tester le couplage GPS, batterie et cellule photovoltaïque.	32
FIGURE 25 : Courant au niveau de la batterie avec le GPS en <i>mode économie</i> et la cellule photovoltaïque de 7 x 7cm à l'horizontale.	33
FIGURE 26 : Courant au niveau de la batterie avec le GPS en <i>mode normal</i> et la cellule photovoltaïque de 7 x 7cm à l'horizontale.	33
FIGURE 27 : Vue 3D sur le logiciel <i>CURA</i> , pour imprimante 3D.	35

FIGURE 28 : Vue du moule après impression 3D.....	35
FIGURE 29 : Obtention du bloc de résine après séchage.	35
FIGURE 30 : Prototype avant démoulage.....	36
FIGURE 31 : Prototype démoulé.....	36
FIGURE 32 : Prototype final fonctionnel.	36

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : Comparatif entre différents modèles de GPS pouvant répondre aux besoins du projet.....	13
TABLEAU 2 : Avantages et inconvénients des accumulateurs NiCd.....	15
TABLEAU 3 : Avantages et inconvénients des accumulateurs NiMH.	16
TABLEAU 4 : Avantages et inconvénients des accumulateurs Li-ion.....	16
TABLEAU 5 : Avantages et inconvénients des accumulateurs Li-Po.....	17
TABLEAU 6 : Récapitulatif des caractéristiques de chaque accumulateur.....	17
TABLEAU 7 : Comparatif des différentes technologies photovoltaïques.....	20
TABLEAU 8 : Caractéristiques électriques et physiques de la cellule photovoltaïque.	21
TABLEAU 9 : Estimation de la durée de vie et de la consommation énergétique du GPS.	28

ANNEXES

Annexe 1 : Carnet de bord du projet

Séance du 16 Octobre 2013 (4h)

- Lecture de la fiche de proposition de projet
- Nous avons contacté Mr Sansault Eric par téléphone → Nous devons le rappeler Lundi pour fixer un RDV
- Rédaction du cahier des charges provisoire :
 - Autonomie système 12 mois minimum
 - Balise VHF pour localisation à distance
 - GPS Data Logger pour l'enregistrement des positions de la tortue à intervalle de temps régulier
 - Panneau photovoltaïque flexible pour maintenir la charge des batteries
 - **Poids max du système 20g** (selon fiche projet)
 - Immersion total sous l'eau à 1m pendant 6 mois
 - Puis immersion totale sous l'eau à 5m pendant 2h (activité normal de l'animal)
 - Système Waterproof
 - Dimension : 7cm x 4 cm car carapace importante pour la vie de l'animal
 - Jonction carapace/boitier facilement détachable
 - Boitier réutilisable
 - Coût max du système : 350€

Informations sur les Cistude d'Europe :

- Lieux de vie : marécage (eau + boue)
- Femelle : taille max → 20cm & poids max = 1,3kg → **5% du poids = 65g**
- Mâle : taille max → 16cm & poids max = 600g → **5% du poids = 30g**

Renseignement sur système de localisation déjà existant :

- Balise Argos

Cellule photovoltaïque :

- Flexible → Cellule amorphe = rendement 10% max (ordre puissance uW – mW)
- Problème salissure du panneau → boue, poussière, etc ... = diminue efficacité du panneau
- Surface très petite

Séance du 17 Octobre 2013 (4h)

- Recherche de cellule photovoltaïque souple (<http://www.siliconsolar.com/shop/solar-store/solar-panels-cells/flexible-solar-panels/3v-4v-flexible-solar-panels/>)
- Recherche d'un produit résistant à l'eau (<http://tapfrance.info/ultra-ever-dry-un-produit-revolutionnaire/>)
- Recherche GPS Data Logger (http://global.mobileaction.com/product/product_i-gotU_USB.jsp)
- Rédaction diagramme pieuvre et bête à corne
- Envoi mail à Mr Sansault pour prise de RDV
- Questions à poser à Mr Sansault :
 - Poids max réel ? Taille max réel ?
 - Possibilité de voir un spécimen (taille moyenne) ?
 - Enregistrement de la localisation GPS sur quel intervalle de temps ?
 - Données GPS exploitable sous quelle forme ?
 - Emetteur VHF, avez déjà du matériel de réception ?
 - Fixation par résine époxy ? Impact sur la carapace
 - Budget alloué au projet ? 350€ ?

Séance du 23 Octobre 2013 (8h)

- Rendez-vous le 25 octobre à 14h avec Mr Sansault
- Emetteur VHF : <http://www.biotrack.co.uk/radio-beeper-transmitters.php>
http://www.sirtrack.com/images/pdfs/Core_Marine_Glue_On_Transmitters.pdf

Séance du 31 Octobre 2013 (optionnelle)

- [Visite des lieux de vie des Cistudes d'Europe](#)

Séance du 7 Novembre 2013 (optionnelle)

- Devis pour GPS Data Logger + Cellule photovoltaïque flexible
- Idées :
 - Carte gestion recharge batterie Li-ion
 - Capteur photo-sensible pour activation du système

Séance du 13 Novembre 2013 (8h)

- Rédaction cahier des charges après réunion
- Envoi mail pour obtenir informations sur VHF et Résine
- Commande du GPS Data Logger
- Commande cellule photovoltaïque

Séance du 14 Novembre 2013 (4h)

- Recherche PCB pour recharger la batterie par la cellule photovoltaïque

Séance du 20 Novembre 2013 (8h)

- Test du GPS Data Logger
 - Essai localisation continue (trajet voiture Montlouis → Ecole) : bonne précision
 - Essai localisation partielle (trajet à pied autour du lac) : très bonne précision
 - Essai dans les bâtiments : perte de précision, environ quelques mètres
 - Essai planification : fonctionne
 - Test d'autonomie à faire
 - Démontage à faire
- Commande d'un second GPS Data Logger
- Après renseignement auprès d'un professionnel, recherche d'une résine époxy type alimentaire pour encapsuler notre système + collage sur la tortue

Séance du 26 Novembre 2013 (2h)

- Démontage et pesée du GPS :
 - Plastique : 6,789g
 - Batterie Li-ion 380 mAh : 7,40g
 - Carte électronique : 7,25g
- Boitier plastique en deux parties
- La carte électronique regroupe toutes les fonctions du GPS :
 - Microcontrôleur 8 bit SONiX SN8P2210 Series
 - Mémoire Flash MXIC MX25U1635E

Séance du 27 Novembre 2013 (4h)

- Mise en forme du PPT pour la présentation PFE du 18 Décembre
- Essai recharge GPS par cellule photovoltaïque

Séance du 3 Décembre 2013 (4h)

- Test électrique des cellules photovoltaïques
- Test électrique du GPS
- Rédaction PPT soutenance intermédiaire

Séance du 4 Décembre 2013 (8h)

- Caractérisation consommation GPS sur 2 modes de fonctionnement (normal et éco)
- Début caractérisation cellule photovoltaïque avec ensoleillement naturel (courbe caractéristique) → reporté à la prochaine séance, manque de soleil
- Réception des PCB pour charger la batterie

Séance du 12 Décembre 2013 (4h)

- Rédaction PPT soutenance intermédiaire

Séance du 18 Décembre 2013 (8h)

- Présentation intermédiaire de PFE

Séance du 08 Janvier 2014 (8h)

- Essai de caractérisation de la cellule photovoltaïque, mais peu de soleil
- Calcul de la durée de vie de la batterie en fonction des modes de fonctionnement
- Essai de recharge de la batterie avec le PCB

Séance du 09 Janvier 2014 (4h)

- Test de fonctionnement du PCB → OK
- Réduction taille cellule photovoltaïque et test → OK
- Recherche pour superposer des cellules photovoltaïque

Séance du 15 Janvier 2014 (8h)

- Réunion avec Eric et Renaud
- Définition des deadlines
- Test des cellules photovoltaïque avec le simulateur de soleil
- Contact de biotrack pour l'émetteur VHF

Séance du 16 Janvier 2014 (8h)

- Contact Biotrack et Sirtrack en cours
- Contact professionnel pour résine epoxy
- Test cellule photovoltaïque incurvée

Séance du 17 Janvier 2014 (8h)

- Test Fonctionnement système PCB + Cellule photovoltaïque + GPS + Batterie

Séance du 22 Janvier 2014 (8h)

- Caractérisation système PCB + CS + GPS + Batterie en mode économie et mode normal
- Essai de géolocalisation en forêt
- Fabrication des moules pour l'encapsulation en prototypage rapide
- Achat de la résine
- En attente de réponse pour l'émetteur VHF

Séance du 23 Janvier 2014 (4h)

- Récupération des moules
- Réalisation de l'encapsulation avec la résine cristal
- Recherche de solution pour l'émetteur VHF → envoi de mail

Séance du 27 Janvier 2014 (4h)

- Essai sortie d'hibernation GPS (Batterie vide, alimentation juste par CS)
- Pesée de l'encapsulation en résine = 56g

Séance du 28 Janvier 2014 (4h)

- Essai démarrage avec batterie vide → échec
- Recherche de solution

Séance du 29 Janvier 2014 (8h)

- Solution de recharge GPS pendant fonctionnement trouvé, encore en test
- Recherche solution pour alléger l'encapsulation en résine → microbilles

Séance du 30 Janvier 2014 (4h)

- Validation recharge batterie et fonctionnement du GPS en même temps
- Validation sortie d'hibernation
- Recherche intensive d'émetteur VHF. Liste de plusieurs fournisseurs obtenue.

Séances du 04 au 21 février 2014

- Rédaction du rapport de projet
- Fabrication du prototype
- Préparation de la soutenance

Annexe 2 : Datasheet de l'émetteur VHF TXC-009G

Model	Weight [gr]	Housing dimensions [mm] (dia=diameter)	RANGE vs LIFE			PRICE
			Range LOS [km]	Lifetime (D-Days; M-Months; Y-Years)	Pulse width [ms] @ Pulses Per Minute	
TXA-000G	0.3	9x5x5	8	7 D	20 @ 40	A1
TXA-001G	0.42	10x5x5	8	14 D	20 @ 40	A1
TXA-003G	0.6	12x6x4	8	28 D	20 @ 40	A1
TXC-001G	0.6	11x7x6	8	14 D	20 @ 40	A
TXC-003G	0.8	12x7x6	8	28 D	20 @ 40	A
TXC-005G	1.4	15x9x7	8	50 D	20 @ 40	B
TXC-110G	1.5	20 x 9 x 7	20	27 D	20 @ 40	A
TXC-006G	1.8	17x9x7	8	80 D	20 @ 40	B
			30	9 D	30 @ 40	
TXE-110G	2	20 x 11 x 7	25	14 D	20 @ 40	A
				20 D	20 @ 30	
TXC-007G	2.7	19x10x10 -o- 10diax17	8	4 M & 15 D	20 @ 40	A
TXC-116G	4.5	18dia x 9 -o- 27 x 18 x 7	20	4 M	20 @ 40	B
TXE-116G	5.1	18dia x 11 -o- 29 x 18 x 7	30	31 D	30 @ 60	B
				45 D	30 @ 40	
			25	65 D	20 @ 40	
				35 D	20 @ 30	
TXC-009G	5.2	26x14x9	8	10 M & 25 D	20 @ 40	A
TXC-120G	6	24 dia x 9	20	7M & 10 D	20 @ 40	B
TXE-120G	6.7	24 dia x 10	30	50 D	30 @ 60	B
				73 D	30 @ 40	

Annexe 3 : Méthode pour calculer l'autonomie du GPS

- Pour les périodes d'enregistrement :

1 point par minute → 60 points par heure, multiplié par 6 (car le temps l'enregistrement est de 6s) → 60 x 6 = 360s

$$1h = 3600s : \frac{3600s \rightarrow 100\%}{360 \rightarrow 10\%}$$

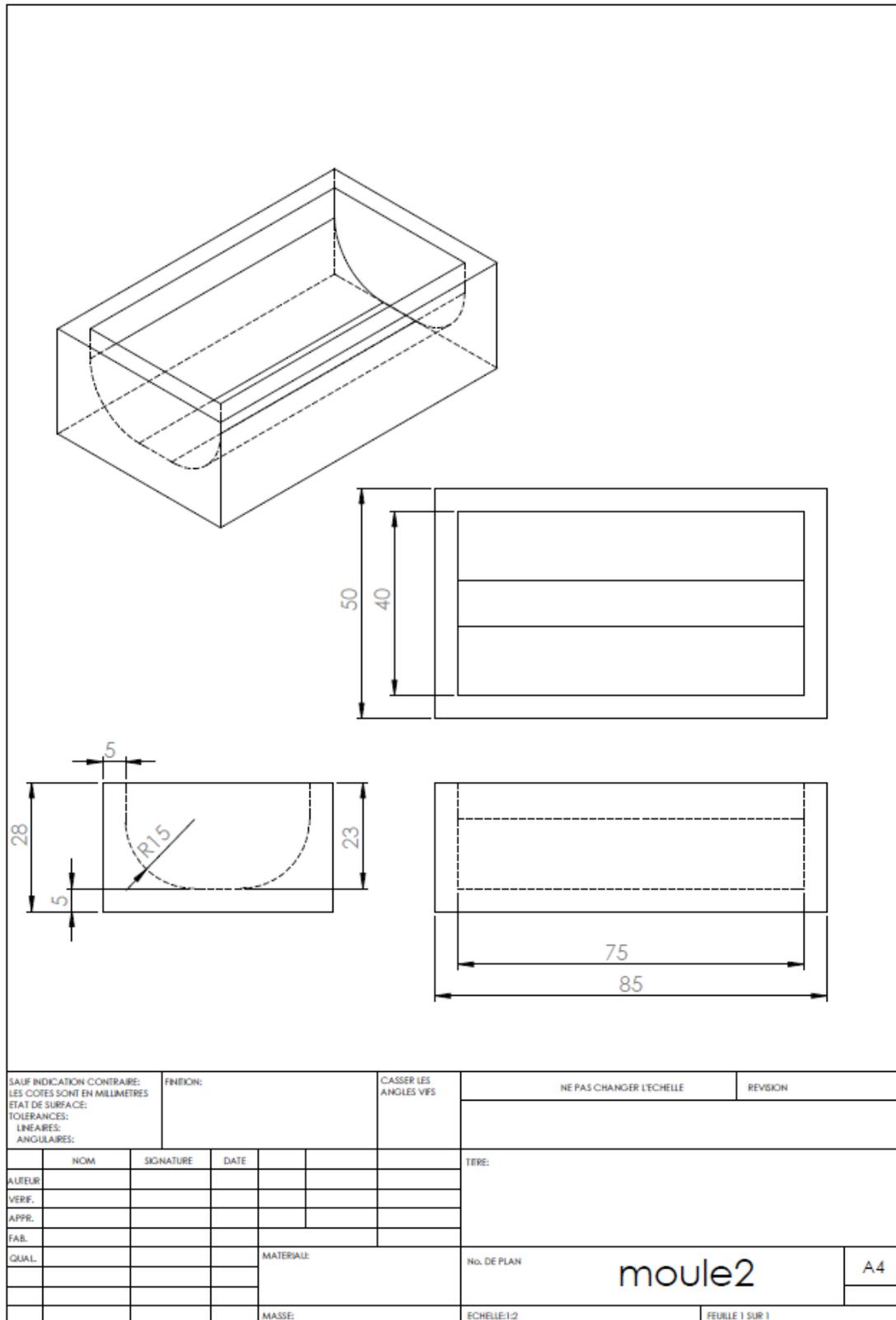
Ensuite, pendant ces 6s, le GPS consomme environ 25mA (simplification de l'aire par un rectangle) multiplié par 0,1 → 2,5mAh

- Pour les périodes « d'inactivité » avec le fonctionnement des LEDs :

Consommation moyenne de 0,2mA le reste du temps, soit 90% : 0,2 x 0,9 = 0,18mAh

- Consommation totale sur 1h : 2,5 + 0,18 = 2,68mAh

Annexe 4 : Cotations du moule



Annexe 5 : Descriptif détaillé des coûts du système final

Vendeur	Référence	Prix TTC + frais de port	Prix pour un Système
eBay	PowerFilm MPT3.6-75 Flexible Solar Panel 3,6v 50mA	13,99\$ → 10,16€ (frais de port gratuit)	10,16€
http://www.ebay.com/itm/PowerFilm-MPT3-6-75-Flexible-Solar-Panel-3-6v-50mA-/270579584303			
eBay	PCB for 3,6V Li-ion battery (pack de 5)	8,6\$ → 6,25€ (frais de port gratuit)	1,25€
http://www.ebay.com/itm/5-x-PCB-for-3-6V-16340-18650-Li-ion-Lipo-Battery-Pack-/371009207948?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item5661df3e8c			
Expansys	GPS Data Logger i-gotU GT120	45,99€ + 3,91€	49,9€
http://www.expansys.fr/mobile-action-i-gotu-usb-gps-travel-logger-gt-120-178536/			
Cultura	Pébéo Résine Cristal (750mL) REF : 3597587663362	37,99€	4,74€ (90mL)
http://www.cultura.com/kit-resine-cristal-750-ml-kit-resine-cristal-750-ml-3597587663362.html			
Cultura	Pébéo Vaseline 75mL REF : 3597587663201	4,79€	0,479€
http://www.cultura.com/flacon-vaseline-de-demoulage-7-flacon-vaseline-de-demoulage-75ml-3597587663201.html			
Telenax	Emitter VHF TXC-009G	97€ + envoi UPS 65,6€ + Express 72€	234,6€
http://www.telenax.com/en/index.php?option=com_k2&view=item&id=39:radio-transmitters-for-valuables&Itemid=147			
Total pour fabriquer un système			301,13€

RÉSUMÉ – ABSTRACT

Le suivi par géolocalisation de la Cistude d'Europe est un procédé permettant de connaître précisément les habitudes comportementales de la population située en Indre-et-Loire. La Cistude est en voie de disparition dans ce département. Grâce à cette étude, CAUDALIS va pouvoir définir des zones protégées.

Ce suivi impose de nombreuses contraintes environnementales et un cahier des charges précis. Bien que beaucoup de systèmes soient trop onéreux, ils sont capables d'y répondre. Il est nécessaire de concevoir un système réalisant les mêmes fonctions et coûtant moins cher. Débute alors un travail de recherche documentaire et une sélection des composants.

Au final et après plusieurs phases expérimentales, le prototype se doit de comporter un récepteur GPS enregistrant les données. En complémentarité, une batterie et une cellule photovoltaïque doivent assurer une bonne autonomie. Enfin, un émetteur VHF aura pour objectif de faciliter le pistage du système une fois dans l'environnement naturel, sur la carapace de la tortue.

Mots-clés : géolocalisation, Cistude d'Europe, GPS, autonomie, cellule photovoltaïque, pistage

The monitoring by geo-localization of the European Cistude is a process allowing to know precisely the behavioral habits of the population located in Indre-et-Loire. The Cistude is endangered in this department. Thanks to this study, CAUDALIS will be able to define protected areas.

This monitoring requires many environmental constraints and precise specifications. Although many systems are too expensive, they are able to answer them. It is necessary to design a system which realizes the same functions and which costs cheaper. Then, begin a documentary research work and a selection of components.

At the end and after several experimental phases, the prototype must have a GPS receiver to record the datas. Moreover, a battery and a photovoltaic cell must provide a good autonomy. Finally, a VHF emitter will have as aim to facilitate the track of the system when it will be in the natural environment, on turtles' carapace.

Keywords: geo-localization, European Cistude, GPS, autonomy, photovoltaic cell, tracking