



Etude de Faisabilité d'un Capteur de Lumière pour marque pour poissons projet POPSTAR

Diffusion : Projet POPSTAR Xavier Andre
SM : Jan Opderbecke, Christian Marfia, Jennifer Greer

- Confidentielle
- Restreinte
- Libre

Date : 19/10/2016		Nombre pages : 19			
Référence : IMN/SM/16-324		Nombre figures : 8			
N° Analytique : A501104		Nombre d'annexes :			
N° Contrat :		Rédacteur : P. Leon			
Fichier : Document1					
Sujet/Titre : Etude de Faisabilité Capteur de Lumière pour marque pour poisson POPSTAR					
Résumé : Ce document précise le besoin et les principales caractéristiques du capteur de lumière à intégrer sur la marque POPSTAR					
Mots clés :					
Révisions					
<i>Indice</i>	<i>Objet</i>	<i>Date</i>	<i>Rédigé par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Approuvé par</i>
A	Création du document	19/10/2016	P.Leon		

sommaire

1. OBJET	4
2. DOCUMENTS DE REFERENCE	5
3. RAPPEL DU BESOIN	6
3.1. Variables Astronomiques	6
3.2. Calcul de la position	6
3.3. Méthodes de Détection	8
3.3.1. Niveau de référence fixe	8
3.3.2. Niveau de référence variable	8
3.3.3. Méthode de réflexion.....	8
3.4. Sources d'imprécision	8
3.4.1. Erreurs aux équinoxes	8
3.4.2. Erreurs dues à la profondeur et à la qualité de l'eau	9
3.4.3. Erreurs dues à la couverture nuageuse et à l'état de la mer	9
3.4.4. Erreurs dues au comportement du poisson.....	10
4. CARACTERISATION DU CANAL OPTIQUE	11
A la surface de l'eau	12
Sous l'Eau	12
5. SPECIFICATIONS DU CAPTEUR DE LUMIERE.....	13
5.1. Sensibilité.....	13
5.2. Dynamique.....	13
5.3. Utilisation d'un filtre bleu	13
5.4. Intégration.....	14
6. CAPTEURS INTEGRES SUR LES MARQUES EXISTANTES	15
6.1. Marque Lotek type LTD2310.....	15
6.2. Marque Wildlife Computers type TDR-Mk9	16
7. CHOIX DU CAPTEUR DE LUMIERE.....	17
8. TRAVAUX PREVUS.....	19

1. Objet

Ce document étudie la faisabilité de la mesure de lumière à implanter sur la nouvelle marque à poissons, développée dans le cadre du projet Merlin POPSTAR.

Il rappelle les principes de la géolocalisation par capteur de lumière, les contraintes du canal optique sous-marin, il précise les performances à atteindre, il évalue les capteurs existants et propose des solutions pour la nouvelle marque POPSTAR.

2. Documents de référence

Electronic Tagging and Tracking in Marine Fisheries J.Sibert, J.Nielsen Springer 2001

Electronic Tags in Marine Fisheries Research G.Arnold 2001

Geolocation by Light Level R.Hill 2001

Summary Report on Daylight Measurements for Geolocation in Animal Telemetry J.Metcalf 2001

Ability of Archival Tags to provide Estimates of Geographical Position based on Light Intensity
M.Musyl 2001

Recent Progress in Estimating Geoposition using Daylight D.Welch, J.Eveson 2001

An Advance in Geolocation by Light Ekstrom 2004

Comparative Performance of Current-Generation Geolocating Archival Tags K.Schaefer Marine Technology Society Journal 2006

Lotek Wireless <http://www.lotek.com>

Wildlife Computers <http://www.wildlifecomputers.com>

Package 'Geolight' 2015 CRAN

ElectroOptics Handbook Burle

3. Rappel du besoin

L'objectif est de réaliser la géolocalisation du poisson, en se basant sur la détection des heures de lever et de coucher du soleil.

En effet l'évaluation précise de ces heures et la connaissance de la position réelle du soleil à ces instants, permet de calculer une position en utilisant les calculs astronomiques de base et les algorithmes ad hoc.

Nous rappelons ci-dessous les principaux calculs astronomiques utilisés pour la géolocalisation.

3.1. Variables Astronomiques

Les variables suivantes doivent être connues avec précision :

Le jour julien N, les heures de lever T_r et de coucher du soleil T_s , la déclinaison du soleil d.

Les définitions suivantes précisent ces variables :

The Julian date (N) where 1 January = 1 and 31 December = 365 (or 366 in a leap year)

Time of sunrise (T_r), in minutes Universal Time (UT*);

Time of sunset (T_s), in minutes UT;

The sun's declination (d), is the angular distance of the sun north or south of the Earth's Equator for the date in question. Because the earth's equator is tilted 23.45° with respect to the plane of the earth's orbit around the sun, the declination varies between 23.45° N and 23.45° S through the year. Declination is calculated as

$$d = 23.45 * \sin((360/365) * (284 + N))$$

The Sun's altitude (or elevation) angle at dawn/dusk (A) is 50' or 0.8333° .

The equation of time (E), compensates for the Earth's elliptical orbit around the sun and its axial tilt for the date in question. Although more sophisticated algorithms are available, E can be approximated, in minutes, by

$$E = (9.87 * \sin(2B)) - (7.53 * \cos(B)) - (1.5 * \sin(B))$$

Where $B = 360 * ((N-81)/365)$

3.2. Calcul de la position

Les calculs de Longitude et de Latitude découlent des variables précédentes en appliquant les formules suivantes :

The longitude (L) in degrees east of Greenwich is calculated by

$$L = 180 - (T_r + T_s)/8 - E/4$$

The latitude (B), in degrees north of the equator is calculated by iteration from the formula that relates the altitude angle (A, above) to the Sun's hour angle (H).

The hour angle at sunrise and sunset is given by

$$H = \pi (T_s - T_r) / 1440 \text{ (in radians) or}$$

$$H = (T_s - T_r) / 8 \text{ (in degrees)}$$

and latitude is then calculated by iteration from

$$\sin(A) = \sin(d) \sin(B) + \cos(d) \cos(B) \cos(H)$$

The accuracy of this method is neither constant throughout the year, nor the same at all latitudes (see Hill and Braun, this volume, for a fuller description). In particular latitude is most difficult to determine around the time of the equinoxes, when day-length is almost independent of latitude. However, experiments indicate that reasonable latitudinal locations can be obtained for periods five or more days from the equinoxes.

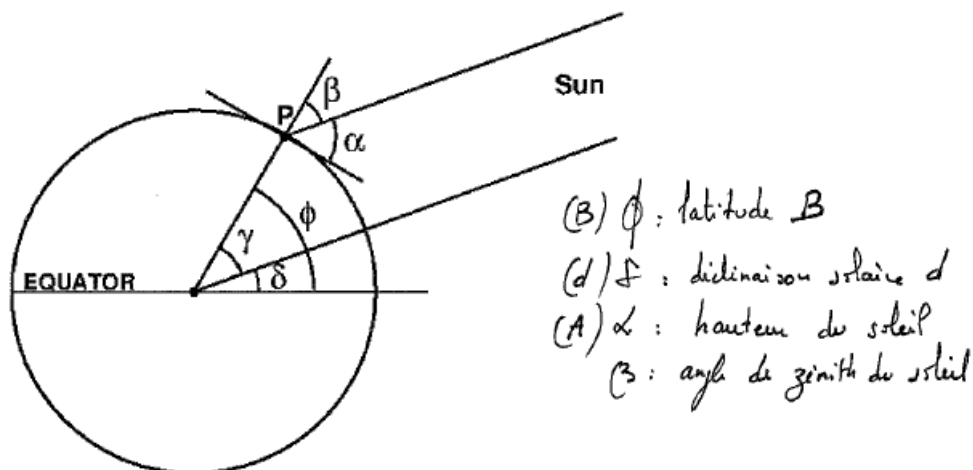


Fig 1 Angles caractéristiques du Soleil

3.3. Méthodes de Détection

Une des difficultés majeure de cette technique de géolocalisation par la lumière, réside dans la détection précise des heures de lever et de coucher du soleil T_s et T_r .

Ces temps correspondent en fait aux angles que fait le soleil avec le repère du point considéré. Ainsi T_s et T_r correspondent à des angles de zénith du soleil de $\pm 90^\circ 50'$ (ou des angles de hauteur de $0.50'$ ou $0.8^\circ 33'$).

Cette détection est d'autant plus délicate que le capteur implanté sur le poisson est sous l'eau, ne détecte que des variations de niveau de lumière, sans aucune information sur l'angle du soleil.

Il s'agit donc de définir les niveaux de lumière correspondant à ces angles de zénith du soleil de $\pm 90^\circ 50'$.

Trois méthodes de détection sont utilisées :

3.3.1. Niveau de référence fixe

On détermine à l'endroit où sera utilisée la marque, la courbe du niveau de lumière de référence correspondant à tel angle de zénith. Les heures de lever et de coucher correspondent au départ, aux heures où les niveaux de lumière changent le plus rapidement, ensuite cette courbe est recalculée tous les jours par une méthode des moindres carrés. La courbe du niveau de lumière en fonction du temps est mesurée tous les jours par la marque, corrigée de la profondeur et ensuite comparée à la courbe de référence.

3.3.2. Niveau de référence variable

Cette méthode est identique à la précédente sauf que les niveaux de référence de la lumière sont estimés tous les jours en prenant 70% du niveau moyen à midi.

3.3.3. Méthode de réflexion

Les deux courbes du lever et du coucher, donnant la lumière reçue en fonction du temps, sont superposées et comparées à des séries de courbes préenregistrées correspondant à différentes latitudes.

3.4. Sources d'imprécision

Malgré la simplicité des méthodes décrites précédemment, de nombreux facteurs perturbent la mesure précise de ces heures de lever et de coucher du soleil.

3.4.1. Erreurs aux équinoxes

La durée du jour aux équinoxes est sensiblement constante quelque soit la latitude, d'où une erreur systématique sur la latitude, comme le montre la figure ci-dessous.

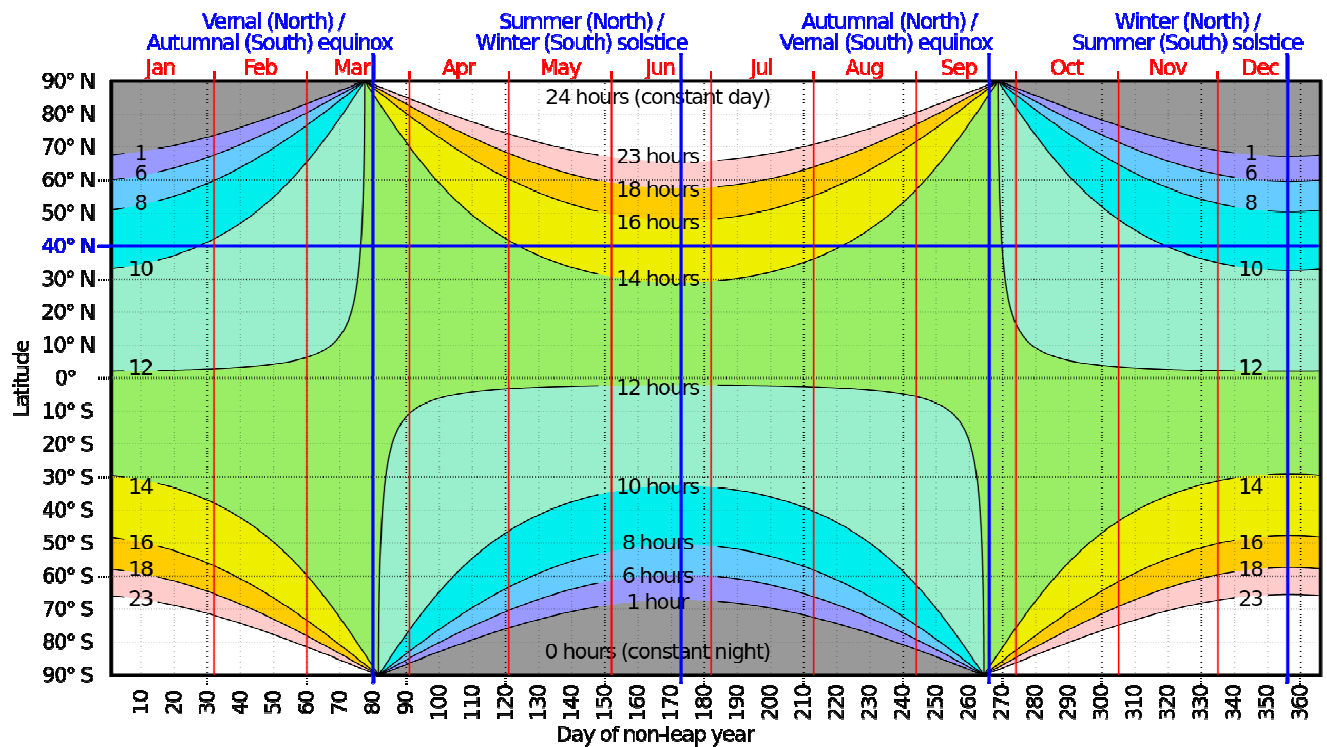


Fig 2 : Durée du jour en fonction de la latitude et du jour julien ; erreurs systématiques aux équinoxes

3.4.2. Erreurs dues à la profondeur et à la qualité de l'eau

L'eau atténue la lumière en $I(\lambda, z) = I_0(\lambda).e^{-\alpha z}$

$I(0)$ étant l'énergie lumineuse en surface, z la profondeur.

α étant le coefficient d'atténuation de l'eau, il dépend de la qualité de l'eau et de la longueur d'onde λ de la lumière considérée.

Même dans une eau claire les capteurs peuvent difficilement détecter une lumière solaire après 300m. Il faut donc pour appliquer l'algorithme, corriger les courbes de lumière en fonction du temps de la profondeur et avoir une connaissance de la clarté de l'eau.

Si l'on connaît globalement la zone où se trouve le poisson, on peut donc connaître la clarté de l'eau (dans la classification de Jerlov) et donc en déduire le coefficient d'atténuation α .

3.4.3. Erreurs dues à la couverture nuageuse et à l'état de la mer

Les différents tests faits précédemment ont montré que l'intensité de la lumière pouvait varier d'un facteur 4 à cause de la couverture nuageuse (atténuation de la lumière solaire et réflexion sur les nuages).

Sachant que la lumière rouge est plus atténuée que la lumière bleue par l'eau et dans ce cas la vapeur d'eau, l'utilisation d'un filtre bleu permet d'améliorer la sensibilité du photorécepteur en cas de couverture nuageuse.

Les vagues réduisent aussi la lumière solaire qui va traverser la surface. Aucune estimation de la dégradation n'a été évaluée.

3.4.4. Erreurs dues au comportement du poisson

Les niveaux de lumière détectés par le photorécepteur sont modifiés par les comportements du poisson.

- L'attitude du photorécepteur (l'angle avec lequel le capteur est orienté vers la surface)
- L'orientation du poisson
- Les déplacements du poisson et en particulier les plongées profondes, pendant les périodes de coucher et lever du soleil.

3.4.5. Erreurs dues à la dérive de l'horloge

Les calculs astronomiques étant basés sur des calculs de temps l'horloge de datation embarquée doit être très précise meilleure que 10^{-6} soit mieux que la 1mn par an.

En effet une erreur de 4mn sur le temps entraine une erreur de 1° de Longitude soit ~ 110 km.

On voit donc qu'il y a dans cette méthode de géolocalisation par la lumière, beaucoup de causes d'erreurs qui ne peuvent pas être réduites.

Pour améliorer la précision de cette méthode, il faut la coupler avec d'autres mesures (température, magnétométrie, courant etc..) qui permettront par hybridation d'éliminer les positions aberrantes.

4. Caractérisation du canal optique

La lumière solaire a un spectre qui va de l'ultraviolet à l'infrarouge, avec une énergie maximale dans le visible.

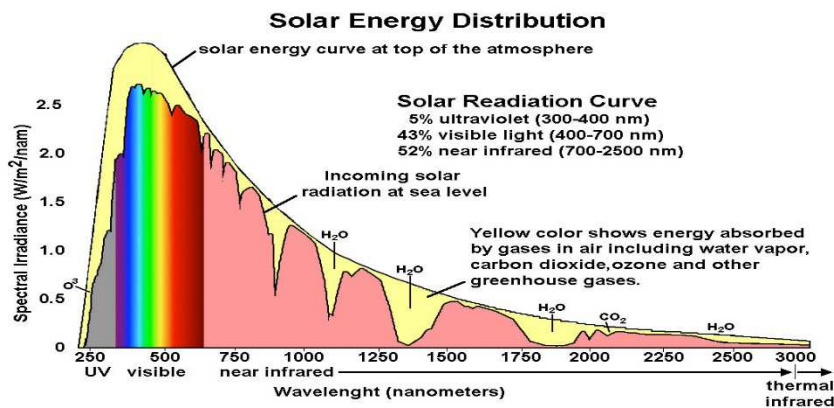


Fig3 : Répartition de l'Energie solaire à la surface de l'eau

Cette énergie lumineuse est atténuée par l'eau de mer en fonction de la longueur d'onde et de la turbidité de l'eau.

Pour une eau claire on voit dans le graphe dessous que seule la lumière bleue pénètre et permet d'atteindre des profondeurs > à 200m.

Pour les eaux côtières plus turbides le vert est moins atténué mais permet d'atteindre seulement quelques dizaines de mètres.

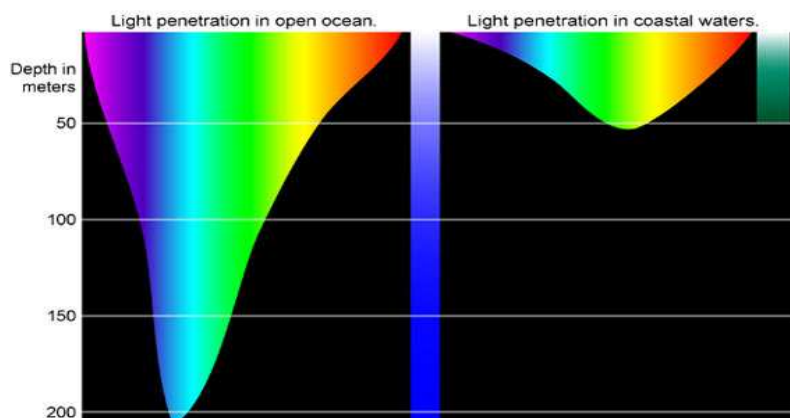


Fig4 : Pénétration de la lumière solaire dans l'eau de mer

L'énergie lumineuse qui frappe une surface en W/cm^2 s'appelle l'Irradiance.

Pour connaître les profondeurs que peut atteindre la couleur bleue de la lumière solaire, il faut partir des valeurs de l'irradiance de la lumière solaire à la surface de l'eau :

A la surface de l'eau

En Plein soleil : $2.10^{-2} W/cm^2$ correspond à une source de 188000 lux

Pleine lune : $6.5.10^{-8} W/cm^2$ correspond à une source de 0.045 lux

Lever&Coucher du soleil : $5x10^{-6} W/cm^2$

Sous l'Eau

L'énergie lumineuse diminue selon la loi de *Beer-Lambert* de façon exponentielle :

$$I(\lambda, z) = I_0(\lambda) \cdot e^{-\alpha z}$$

- $I(0)$ étant l'énergie lumineuse en surface.
- α étant le coefficient d'atténuation de l'eau (il dépend de la qualité de l'eau) et de la longueur d'onde

Pour le Bleu :

- $\alpha = 0.05$ pour une eau claire Jerlov IA IB (eau du large)
- $\alpha = 0.7$ pour une eau trouble (eau côtière)

En considérant que la plus faible lumière bleue, détectable par le photorécepteur correspond à une Irradiance comprise entre $10^{-10} W/cm^2$ et $10^{-12} W/cm^2$

On peut en déduire les profondeurs maximales auxquelles la lumière du soleil est détectable.

Ainsi en eau claire, au lever et coucher du soleil, les profondeurs atteignables sont supérieures à 200m.

Pour une eau turbide elles sont limitées à 30m.

Eclairement surface	Profondeur à $10^{-10} W/cm^2$	Profondeur à $10^{-12} W/cm^2$
Plein soleil	350m eau claire 25m eau turbide	500m eau claire 30m eau turbide
Lever&Coucher du soleil	200m eau claire	300m eau claire

Fig 5 : Profondeur atteignables par les irradiances minimum détectables

5. Spécifications du capteur de lumière

Des remarques précédentes on peut en déduire que les capteurs de lumière à embarquer sur la marque POPSTAR doivent répondre aux spécifications suivantes :

5.1. Sensibilité

Le capteur doit avoir une Sensibilité qui permet de:

- détecter une Irradiance de 10^{-10} W/cm^2 voir 10^{-12} W/cm^2 dans le bleu $\lambda = 420-460 \text{ nm}$
- détecter l'Irradiance de surface soit 2.10^{-2} W/cm^2 sans être saturé.

La méthode de détection à seuil impose d'avoir les transitions jour/nuit les plus linéaires et les plus régulières possible.

5.2. Dynamique

Vu la large dynamique utile 10^8 minimum, une mesure en échelle logarithmique est nécessaire.

5.3. Utilisation d'un filtre bleu

La composition spectrale de la lumière du jour varie au lever du soleil ; avec les courtes longueurs d'onde (le bleu) avant le lever du soleil et le rouge après le lever du soleil.

La lumière bleue étant plus énergétique que la lumière rouge, la tension de sortie d'un photorécepteur large bande ne sera pas forcément très linéaire et régulière en fonction de l'angle du soleil durant les phases de lever et de coucher.

Afin de réduire cet effet, la bande spectrale du photorécepteur doit être réduite par un filtre. Comme le bleu domine et est moins atténué, l'utilisation d'un filtre bleu (Schott BG23, $\sim 450 \text{ nm}$) est recommandé. Voir figure

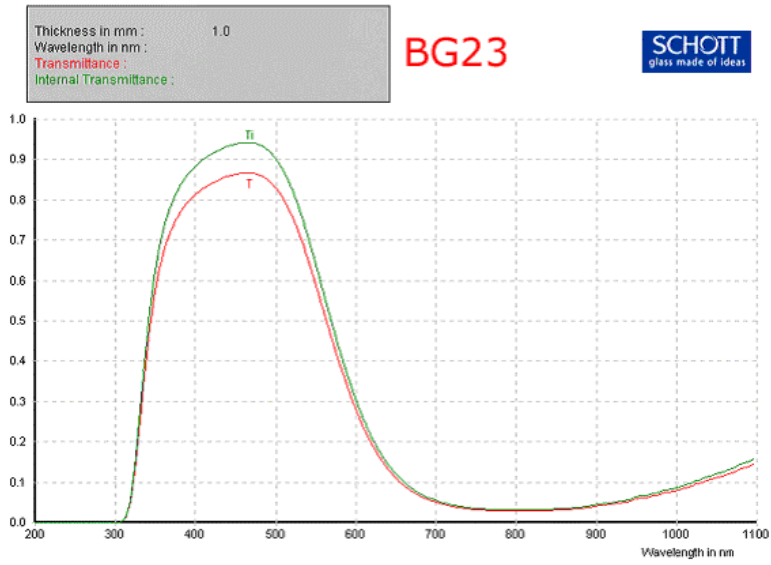


Fig 6 : Filtre bleu à bande étroite

5.4. Intégration

L'intégration du capteur doit permettre une vision maximale la plus indépendante de l'orientation du poisson.

6. Capteurs intégrés sur les marques existantes

Dans cette partie nous décrivons les capteurs intégrés sur les marques *Lotek* et *WildLife Computers*.

N'ayant aucune expérience de l'utilisation de ces marques, cette description technique est basée sur les data sheet constructeurs et les différentes publications qui y font référence.

6.1. Marque Lotek type LTD2310

Le capteur de lumière de la marque Lotek est basé sur une fibre optique dopée sensible au bleu. Cette fibre de 10cm se comporte donc comme une antenne omnidirectionnelle pour la lumière bleue.

La fibre est d'autre part fluorescente et réémet dans le jaune/vert, vers une photodiode PIN à silicium (dont la bande spectrale est centrée sur ces longueurs d'onde).

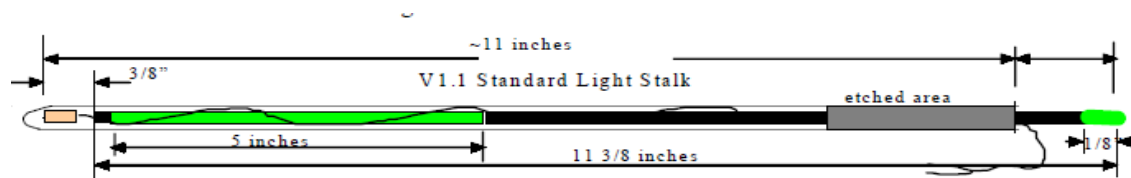


Fig 6 : Fibre optique dopée des marques Lotek

Aucune valeur de sensibilité n'est fournie par le constructeur, cependant différentes publications précisent qu'une profondeur de 440m a été atteinte (ce qui semblerait montrer que l'irradiance min détectable est environ de 10^{-10} W/cm^2



Fig 7 : Marque PoPuP Lotek

6.2. Marque Wildlife Computers type TDR-Mk9

Le capteur de lumière de la marque *Wildlife* est basé sur 2 photodiodes PIN au silicium, d'environ 1cm^2 , intégrées de part et d'autre de la marque, avec filtre bleu.

La sensibilité annoncée par le constructeur correspond à une irradiance de 5.10^{-12} W/cm^2 ,

La gamme mesurable allant jusqu'à et 5.10^{-2} W/cm^2

Des publications indiquent qu'une profondeur de 380m a été atteinte.

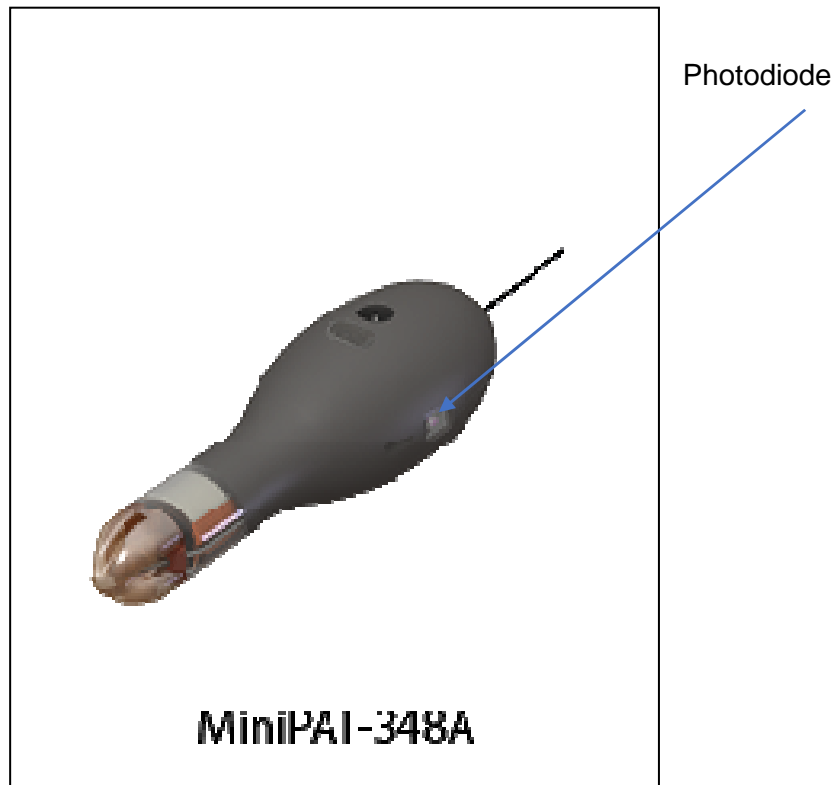


Fig 8 : Marque PopUp Wildlife Computer

7. Choix du capteur de lumière

Donc un capteur de lumière à intégrer sur la marque POPSTAR doit avoir une sensibilité permettant de détecter une irradiance de 10^{-10} W/cm^2 voir 10^{-12} W/cm^2 dans le bleu $\lambda = 450 \text{ nm}$.

Il doit pouvoir aussi détecter l'irradiance de surface soit 2.10^{-2} W/cm^2 sans être saturé.

Nous avons analysé les caractéristiques de différents photorécepteurs afin de choisir le mieux adapté.

Les sensibilités sont parfois données en A/W, parfois en Lux (Lumens/m²).

Sachant que l'Irradiance $\text{W/cm}^2 = IA / \text{PhotoSens A/W} \cdot S \text{ cm}^2$

Pour les lux (qui correspondent à la bande spectrale de la lumière solaire)

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2 = 0,0079 \text{ W/m}^2 = 7.9 \cdot 10^{-7} \text{ W/cm}^2$$

Nous avons calculé pour tous les capteurs l'Irradiance min détectable, en considérant qu'elle correspond au courant d'obscurité.

Capteurs	Bande spectrale	Surface	PhotoSensibilité	Courant D'obscurité	Irradiance max W/cm^2	Irradiance min W/cm^2
Max44009	Ambient light	0.14 mm^2	0.045 à 188000 lux à priori centré sur le vert		2.10^{-2}	$6.5 \cdot 10^{-9}$ 22bits
VEML6030	Ambient light	1 mm^2	0.0036 à 120000 lux centré sur le vert	$0.5 \mu\text{A}$	1.10^{-2}	$5 \cdot 10^{-10}$ 16bits
S9219	Ambient light	100 mm^2	0.05 A/W sur le bleu	0.5 nA		1.10^{-8}
S2387	340 à 1100 nm centré sur IR	100 mm^2	0.25 A/W sur le bleu	0.2 nA		8.10^{-10}
SiPM	300 à 800nm centré sur le bleu	36 mm^2	10^6 A/W sur le bleu	$1 \mu\text{A}$		2.10^{-12}
TSL2560						10^{-6} 16bits

De ce tableau nous pouvons déduire que la photodiode S2387 d'*Hamamatsu*, avec une surface active de 100 mm^2 , capable de détecter une irradiance de 8.10^{-10} , une large bande spectrale de détection en ajoutant un filtre bleu, apparaît bien adaptée à notre besoin.

Le photomultiplicateur au Silicium SiPM est bien sur très intéressant, car très sensible et centré autour du bleu. Grace à son très grand gain 10^6 il permet de détecter de très faibles énergies lumineuses pouvant aller jusqu'au photon.

Cependant le très grand gain de ce composant, peut entraîner aussi la saturation près de la surface, ce qui peut être problématique dans cette application où il faut obtenir une courbe de lumière linéaire et régulière.

Des essais en bassin doivent être menés pour vérifier ce point.

8. Travaux prévus

Suite aux conclusions précédentes, il serait intéressant de tester le capteur SiPM sur un mouillage en pleine mer ou en darse, pour vérifier sa capacité à acquérir une courbe de lumière de qualité en fonction de l'angle du soleil et de la profondeur.

L'intégration d'une marque du commerce type WildLife, ou seulement d'un capteur photorécepteur aux caractéristiques identiques sur le mouillage permettrait de plus de faire une inter comparaison.