

Instrumentation in situ : les mesures par moyens optiques

Josselin Fatah-Roux & Justine Mustel
vufic@outlook.com & mustel.justine@gmail.com

Université de Toulon
Master 2 Physique Sciences de l'Ingénieur
Spécialité Physique Surveillance de l'Environnement

20 janvier 2018

Mots-clés

Instrumentation in situ ; Optique physique ; Méthodes optiques ; Absorption ; Fluorimétrie directe ; Fluorimétrie indirecte ; Diffraction ; SUNA V2 UV ; WETSTAR ; Capteur LDO ; Sonde NTU ; Capteur NKE ;

1 Introduction

Ce rapport a pour vocation d'expliquer certains instruments permettant la mesure, par différentes méthodes optiques, de paramètres océaniques in situ. Ces mesures se font par interaction de la lumière avec la matière dissoute ou particulaire.

Les instruments optiques utilisent pour effectuer leur mesure des principes/lois de l'optique physique. Par exemples :

- la mesure du taux de nitrate dans l'eau se fait par "**absorption**".
- la mesure de la concentration en chlorophylle a se fait par "**fluorimétrie directe**".
- la mesure de la concentration en dioxygène se fait par "**fluorimétrie indirecte**".
- la mesure tels que la turbidité ou la salinité par "**diffraction**".

Dans ce rapport il sera question de présenter 5 instruments dont chacun fera usage d'une des approches cités précédemment.

Table des matières

1	Introduction	1
2	Mesure par absorption	3
2.1	Principe de la mesure du nitrate par absorption via le SUNA V2 UV	3
2.2	Constitution du SUNA V2 UV	4
2.3	Caractéristiques	5
3	Mesure par fluorimétrie	5
3.1	Mesure par fluorimétrie directe	5
3.2	Mesure par fluorimétrie indirecte	6
3.2.1	Principe de la mesure du dioxygène par fluorimétrie indirecte via le capteur LDO	6
3.2.2	Constitution du LDO	7
3.2.3	Caractéristiques	7
3.2.4	Résultats	7
4	Mesure par diffraction	8
4.1	Mesure de la turbidité	8
4.2	Mesure de la salinité	9
4.2.1	Principe de la mesure de la salinité par diffraction via la capteur NKE . . .	9
4.2.2	Constitution du NKE	9
4.2.3	Caractéristiques	10
4.2.4	Résultats	10

2 Mesure par absorption

2.1 Principe de la mesure du nitrate par absorption via le SUNA V2 UV



FIGURE 1 – SUNA V2 UV (Source : SEA-BIRD)

Le SUNA V2 UV est un capteur de nitrate qui utilise le principe d'absorption de la lumière à travers un fluide (dans notre cas l'eau de mer). Il repose donc sur la loi de Beer-Lambert dont l'absorbance est le résultat d'un rapport entre l'intensité incidente et l'intensité transmise :

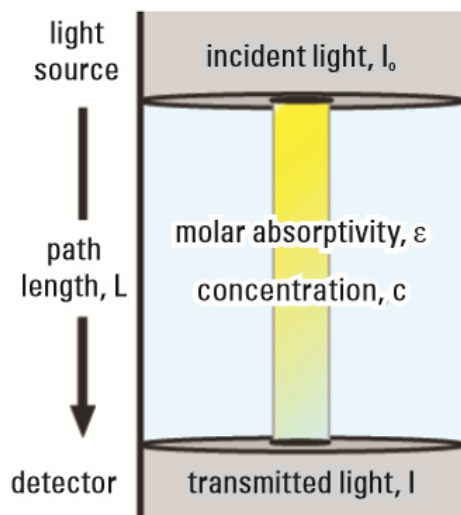


FIGURE 2 – Principe d'absorption de la lumière par un fluide (Source : USGS)

$$A = \log \frac{I_0}{I} = L\epsilon c$$

Où :

- A est l'absorbance (sans unité).
- ϵ est l'absorptivité molaire (ou coefficient d'extinction), exprimée en $L.mol^{-1}.cm^{-1}$.
- L est la longueur du trajet optique dans la solution traversée, elle correspond à l'épaisseur de la cuvette utilisée (en cm).
- c est la concentration molaire de la solution (en $mol.L^{-1}$)
- I_0 est l'intensité initiale.
- I est l'intensité une fois la cuve traversée.

Une fois le calcul de l'absorbance effectué il est possible grâce à la connaissance de la longueur du trajet optique et de l'absorptivité molaire d'obtenir la concentration en nitrate :

$$c = \frac{A}{L\epsilon}$$

Toutefois cela fonctionne si et seulement si la longueur d'onde initiale envoyée est bien choisie. En effet le nitrate n'est pas la seule matière dans l'océan à absorber la lumière. Par conséquent rien ne prouve que l'onde incidente ait été atténuée uniquement par ce seul élément. Cependant on sait que celui-ci absorbe particulièrement dans l'ultra-violet comme il est montré ci-dessous :

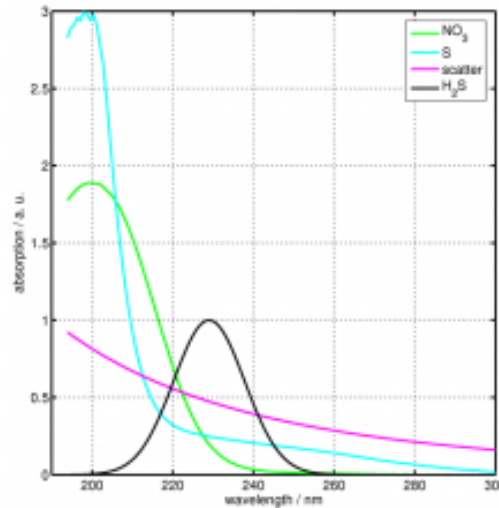


FIGURE 3 – Gamme de longueur d'onde absorbé par le nitrate (Source : io-warnemuende.de)

Ainsi il suffit d'envoyer une onde électromagnétique dans la gamme ultra-violette.

2.2 Constitution du SUNA V2 UV

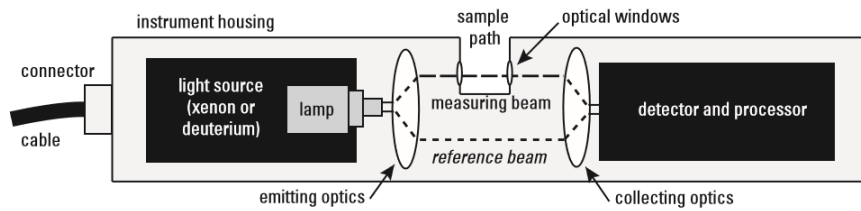


Figure 4. General design and key components of field-deployable ultraviolet (UV) nitrate sensors (modified from Langergraber and others, 2004).

FIGURE 4 – Constitution du SUNA V2 UV (Source : USGS)

L'image ci-dessus représente l'intérieur du SUNA V2 UV. Il est constitué d'une lampe xénon ou deutérium qui envoie de la lumière ultra-violette à travers une lentille divergente séparant celle-ci en deux chemins distincts. Le premier en haut permettant d'avoir l'onde transmise en laissant passer l'onde incidente à travers l'eau de mer in situ, et le second fournissant la valeur de référence. Les deux faisceaux sont enfin redirigés, grâce à une lentille convergente, au détecteur et processeur dont l'un va récupérer les valeurs et l'autre procéder aux calculs.

2.3 Caractéristiques

	Eau de mer avec correction T-S	Eau de mer sans correction T-S
Précision	0.3µM	2.4µM

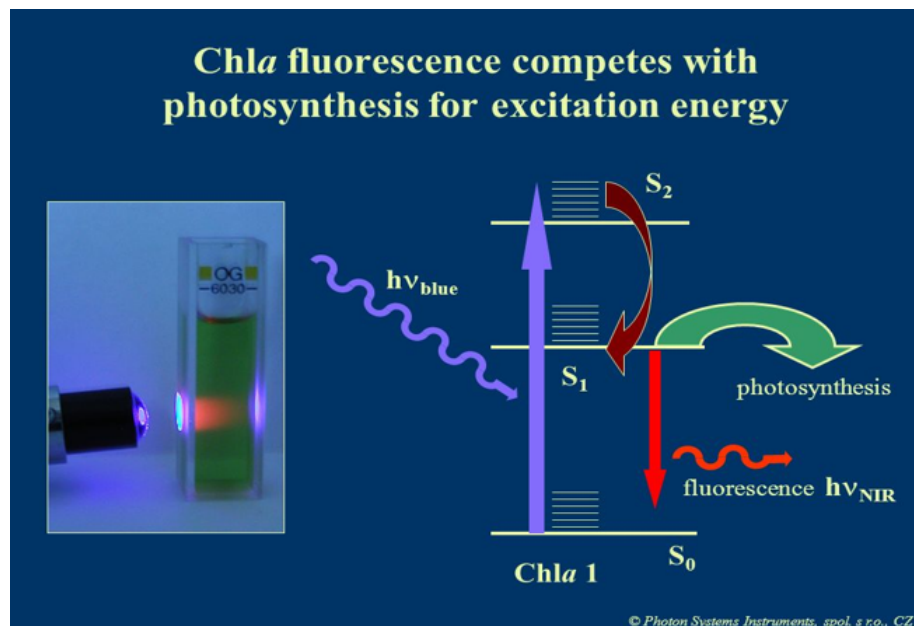
	Optique
Gamme de longueur d'onde	190-370nm
Type de lampe	Onde continue, lampe deutérium
Durée de vie de la lampe	900h
Profondeur maximale	500m

Les caractéristiques indiquent :

- une précision de 0.3µM avec correction de la température et de la salinité et une précision de 0.3µM sans correction. Ces valeurs sont relativement faibles en termes d'erreur.
- une gamme de longueur d'onde comprise entre 190-370nm, correspondant bien à l'ultra-violet.
- une durée de vie de la lampe d'environ 900h soit 37.5 jours. Pour des mesures qui s'effectuent en quelques minutes cela reste raisonnable.
- une profondeur maximale qui est de 500m.

3 Mesure par fluorimétrie

3.1 Mesure par fluorimétrie directe



Afin de déterminer la concentration en chlorophylle a, une longueur d'onde dans le bleu à 460nm est envoyée. La molécule fluorescente est alors excitée et en absorbe une partie. Après contact, la longueur d'onde renvoyée est dans le rouge à 695nm. Ce changement de longueur d'onde permet d'assurer la présence de chlorophylle a.

C'est sur cette technique qu'est basé le **Wetstar**.



FIGURE 5 – Instrument de mesure : WETSTAR

Les caractéristiques principales de l'instrument :

- diamètre : 6.98 cm
- longueur : entre 17.1 cm et 25.7 cm
- profondeur : 600 m
- plage de température : entre 0°C et 30°C.
- longueur d'onde pour détection de chlorophylle a : 460nm (émission) et 695nm (réception).
- plage de sensibilité : 0.03-75µg/L

Pour connaître la concentration en chlorophylle a, il faut étalonner l'appareil. La concentration de la solution est calculée à partir du résultat obtenu, du décalage de l'eau claire et du facteur d'échelle. Le facteur d'échelle est obtenu à partir du décalage de l'eau claire et de la concentration connue. Ainsi, une fois que l'appareil est étalonné, la concentration en chlorophylle a est connue à chaque mesure.

3.2 Mesure par fluorimétrie indirecte

3.2.1 Principe de la mesure du dioxygène par fluorimétrie indirecte via le capteur LDO



FIGURE 6 – Capteur LDO (Source : hach.com)

LDO est un capteur de dioxygène qui contrairement à l'instrument présenté précédemment ne mesure pas l'intensité lumineuse renvoyé par l'objet étudié (O_2 ici) mais d'un autre objet (le lumiphore qui est un gel contenant une matière fluorescente). Lorsque le premier est en contact avec le second il y a alors atténuation et diminution de la durée de vie de l'onde transmise. L'atténuation et la durée de vie étant forcément proportionnelle à la quantité de dioxygène.

NB : pour le LDO la mesure de la concentration en oxygène se base uniquement sur la durée de vie.

3.2.2 Constitution du LDO

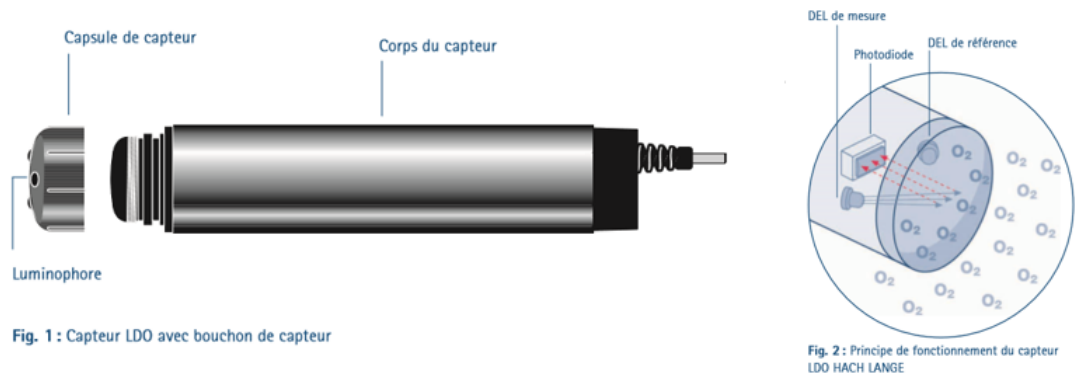


FIGURE 7 – Constitution du LDO (Source : hach.com)

Les deux images ci-dessus représentent l'intérieur et l'extérieur du capteur LDO. D'un côté une première DEL envoie une lumière bleue sur le luminophore qui excité va renvoyer en direction d'une photodiode une lumière rouge plus ou moins intense et rapide en fonction la quantité de dioxygène en présence. Une seconde DEL de l'autre coté de l'appareil émet une lumière rouge qui va servir de valeur référence à l'appareil.

3.2.3 Caractéristiques

Caractéristiques	Détails
Précision de l'oxygène dissous	$\pm 0,1 \text{ mg/L}$ pour 0 à 8 mg/L $\pm 0,2 \text{ mg/L}$ pour plus de 8 mg/L
Profondeur minimale d'immersion	25 mm

Les caractéristiques indiquent :

- une précision de plus ou moins 0,1 mg/L pour 0 à 8 mg/L et $\pm 0,2 \text{ mg/L}$ pour plus de 8 mg/L.
- une profondeur minimale d'immersion de 25mm soit 2.5cm.

3.2.4 Résultats

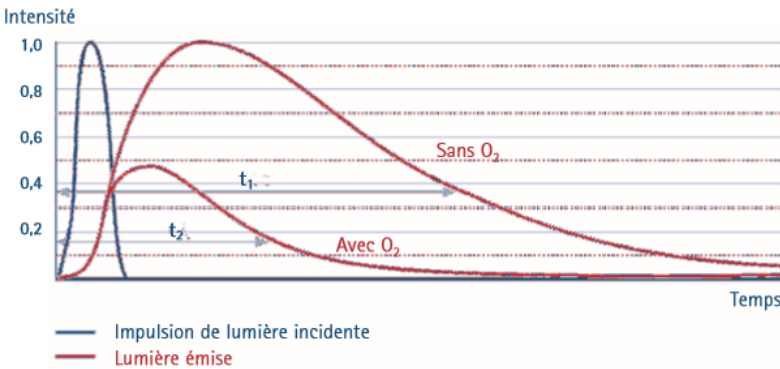


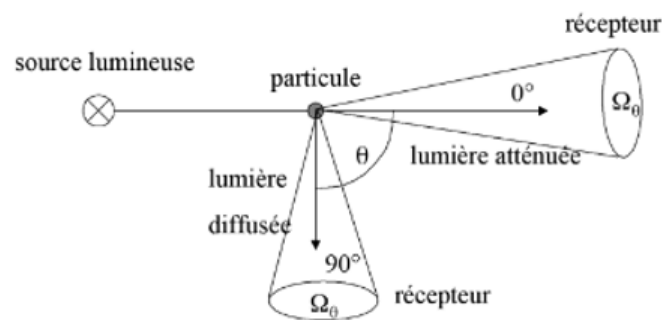
Fig. 4: Intensité de la lumière d'excitation bleue et de la lumière rouge émise dans le temps

FIGURE 8 – Intensité d'excitation bleue et de la lumière rouge émise dans le temps (Source : hach.com)

La courbe bleue ci-contre est la lumière incidente bleue. Lorsque celle-ci tape le luminophore pour disparaître, celui-ci réagit immédiatement en émettant de la lumière rouge (courbes rouge). Dans le cas où il n'y a pas présence de O_2 la durée de vie et l'intensité sont grandes. Dans le cas où il y a bien présence de O_2 la durée de vie et l'intensité lumineuse sont faibles. Intensité lumineuse et durée de vie sont donc bien proportionnelle à la quantité de dioxygène.

4 Mesure par diffraction

4.1 Mesure de la turbidité



La mesure de la turbidité d'une eau est utilisée dans plusieurs domaines comme le traitement de l'eau potable, la protection des eaux, la pisciculture ou encore pour les stations d'épuration industrielles et communales. Le principe de mesure est basé sur la néphélométrie. Une première diode émet une lumière dans l'infrarouge (850nm) et une diode de réception placée à 90° mesure le rayonnement diffusé. L'unité standard de mesure de la turbidité est le NTU (Nephelometric Turbidity Unit).



Les caractéristiques principales de l'instrument sont :

- gamme de mesure : 0-4000 NTU ou 0-4500 mg/L pour la mesure de la concentration des matières en suspension (MES).
- précision : $<5\%$ de la lecture NTU.
- température de fonctionnement : 0°C à 50°C .
- pression maximale : 5 bars.

4.2 Mesure de la salinité

4.2.1 Principe de la mesure de la salinité par diffraction via la capteur NKE



FIGURE 9 – Capteur NKE (Source : nke-instrumentation.fr)

NKE est un capteur de salinité qui utilise le principe de diffraction. Il s'agit d'un ensemble de déviation d'un rayon lumineux qui va permettre de déterminer la concentration en sel grâce à la position d'arrivée de celui-ci sur un capteur PSD (diode sensible à la position).

4.2.2 Constitution du NKE

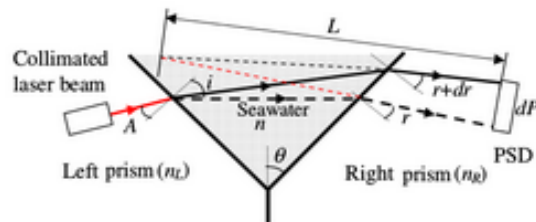


Figure 1. Schematic diagram of TPR.

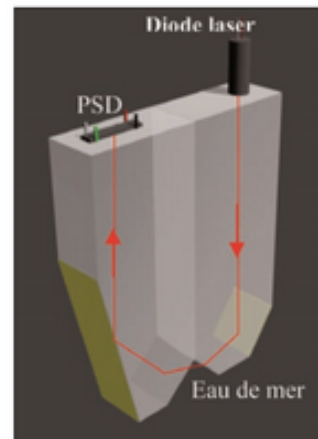


Figure 2. Schéma du réfractomètre à double prisme.

FIGURE 10 – Constitution du NKE (Source : nke-instrumentation.fr)

Tout d'abord le rayon lumineux est émis par une diode laser verticalement à une feuille d'or qui va le faire dévier sur un premier prisme. Il y a alors un changement de milieux (air-mer) qui en fonction de la quantité de sel va faire plus ou moins dévier à nouveau le rayon lumineux. Celui-ci finit par taper un second prisme pour être enfin dévié une dernière fois par une feuille d'or verticalement au PSD.

NB : la dimension de la seconde feuille d'or est donc importante car elle permet de prendre en compte les variations de salinité.

4.2.3 Caractéristiques

	Désignation	NOSS
Indice de réfraction	Gamme	1.3353 à 1.3458
	Précision initiale	$< 1.10^{-6}$
Température	Gamme	$-2 + 35^{\circ}\text{C}$
	Précision initiale	$\pm 0.006^{\circ}\text{C}$
Profondeur opérationnelle	Gamme	0 à 2100dbar
	Précision initiale	$\pm 1\text{dbar}$

Les caractéristiques principales de l'instrument sont :

- l'indice de réfraction compris dans la gamme 1.3353 à 1.3458 avec une précision inférieure à 10^{-6} .
- la température comprise dans la gamme -2°C à $+35^{\circ}\text{C}$ avec une précision à plus ou moins 0.006°C .
- une profondeur opérationnelle de 0 à 2100dbar avec une précision de plus ou moins 1dbar.

4.2.4 Résultats

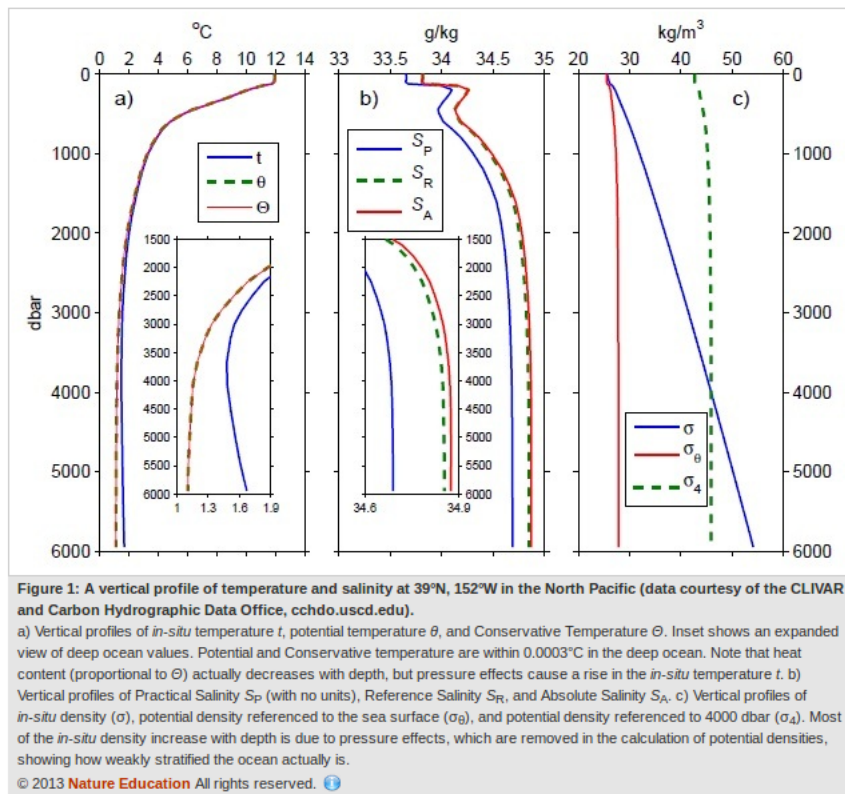


FIGURE 11 – Profils verticaux de température et de salinité (Source : nke-instrumentation.fr)

Sur la figure a), la courbe rouge et verte sont respectivement la conservation de la température et la température potentielle. La courbe bleue celle de la température mesurée.

On constate un écart de la courbe bleue par rapport au deux autres. Cela s'explique par le fait que la pression de plus en plus forte produit des erreurs de plus en plus grandes. Il était d'ailleurs indiqué dans les caractéristiques que la gamme de profondeur opérationnelle n'allait pas plus loin 2100dbar or l'écart commence justement à partir de cette valeur.

Sur la figure b), la courbe rouge et verte sont respectivement la salinité absolue et la référence salinité. La courbe bleue celle de la salinité mesurée.

On observe comme précédemment un écart qui commence à bien se former à partir de 2100dbar. Cela est le résultat de la mauvaise température mesurée.

Sur la figure c), la courbe rouge et verte sont respectivement la densité de potentiel référencée à la surface de la mer et la densité de potentiel référencée à 4000 dbar. La courbe bleue celle de la densité mesurée.

La majeure partie de l'augmentation de la densité in situ avec la profondeur est à nouveau due aux effets de pression, qui sont éliminés dans le calcul des densités potentielles, ce qui montre à quel point l'océan est faiblement stratifié.