



ArgoNIMAUX / Les animaux marins suivis par Argos

ANNE LAMY POUR LE CNES

Comment étudier certaines espèces animales dans un milieu souvent inaccessible à l'homme ? Grâce à Argos et à ses célèbres balises de quelques grammes à quelques kilos, ces espèces révèlent sur elles-mêmes et leurs environnements une mine d'informations. Bio-indicateurs incomparables, les animaux marins sont, devenus les alliés des scientifiques en collectant des informations sur la salinité et la température des masses d'eau. Depuis deux décennies, les chercheurs ont pris conscience du rôle majeur de l'océan austral dans l'évolution du climat, et prennent très au sérieux les informations uniques délivrées par les éléphants de mer sur leur lieu de vie. L'équipe du CNRS/CEBC* qui mène ces recherches a tout de suite compris le potentiel éducatif de ce suivi, et a collaboré au projet pédagogique Argonautica** du CNES dont un des volets est consacré aux animaux polaires subantarctiques : ArgoNIMAUX. Ainsi du primaire au lycée, les classes découvrent l'environnement polaire et le mode de vie de ces animaux suivis en temps presque réel. Pluridisciplinaires, il n'existe pas de frontières dans les programmes de SVT, géographie, maths ou physique. Les enseignants trouvent chaque année de quoi travailler. De plus, le capital de sympathie de ces animaux facilite l'adhésion des élèves au projet. Enfin, les jeunes découvrent par une « pédagogie d'investigation » une démarche scientifique qui leur servira toute leur vie d'étudiant.

* CEBC: Centre d'études biologiques de Chizé. ** Argonautica est un projet pédagogique du CNES pour sensibiliser les jeunes à l'étude du milieu marin, du climat en utilisant les données satellites.

*The French national scientific research centre's Chizé biology research centre. **CNES's Argonautica schools project teaches young people about the marine environment, the climate and how to use satellite data.



Portrait Profile
Jean-Pierre Malard
> P. 4

www.cnes.fr

ArgoNIMAUX - Marine animals under Argos's watchful eye

ANNE LAMY FOR CNES

Studying animals in the world's remotest locations would be tricky without Argos transmitters—the smallest weighing just a few grams. With Argos, species under surveillance have revealed a wealth of information about themselves and their habitat are valuable allies or 'bio-indicators' in ocean research, helping scientists to collect data on water salinity and temperature. In two decades, researchers have learnt about the Southern Ocean's key role in climate change. They particularly value the unique data that elephant seals and other species provide. The CNRS/CEBC* research team soon saw the educational potential of tracking these animals and agreed to collaborate on CNES's Argonautica** schools project, in particular the ArgoNIMAUX part dedicated to Subantarctic animals. With ArgoNIMAUX, primary and secondary schools learn about the polar environment and study animals tracked with Argos in near-real time. Class projects cover a rich and varied spectrum of topics spanning life and Earth sciences, geography, maths and physics. Teachers get a wealth of material to use each year, while the lovable nature of the animals helps to get pupils on board. In addition, youngsters learn more through this type of inquiry-based approach and the scientific methods they acquire will serve them well at university and beyond.

ARGOS EN 4 QUESTIONS

Quand est-il né ?

Argos, système de collecte et de localisation par satellite unique au monde, est né en 1978. Depuis toujours, un des ses objectifs scientifiques est d'étudier et de protéger des centaines d'espèces animales. Argos est exploité par CLS (Collecte Localisation Satellites), une filiale du CNES et de l'Ifremer créée en 1986.

Comment fonctionne-t-il ?

Le principe est basique : un émetteur posé sur l'animal est raccordé à des capteurs (mesurant la température de l'eau, la salinité, etc.) et alimenté par une source d'énergie, pile ou panneaux solaires. Les mesures récoltées sont transformées en signaux électriques que la balise envoie à intervalles réguliers pour qu'un satellite les « entende ». L'instrument Argos est embarqué sur cinq satellites, en rotation à 850 km autour de la Terre, à des heures et sur des orbites un peu décalées pour offrir la meilleure couverture possible. L'instrument Argos capte les signaux transmis par la balise et les transmet à l'une des 60 stations locales réparties dans le monde, qui vont transférer ces informations aux centres de traitement (Washington et Toulouse). En vingt minutes, l'utilisateur final peut obtenir ces données. L'onde radio émise lors de l'émission est analysée selon le principe de l'effet Doppler, afin de calculer la position de la balise... donc les trajets de l'animal.

Pour suivre quels animaux ?

Il s'agit souvent d'espèces menacées : 20 000 animaux ont ainsi été suivis. Au tout début d'Argos, les balises étaient lourdes (la partie électronique pesait 1 kg !). Il faut savoir que les chercheurs équipent de gros mammifères terrestres, comme par exemple les caribous. Peu à peu, les balises se sont allégées.

Petit flotteur Argos pour les thons (environ 30 gr).

Small Argos transmitter for tuna (approx. 30 g).



Argos Q&A

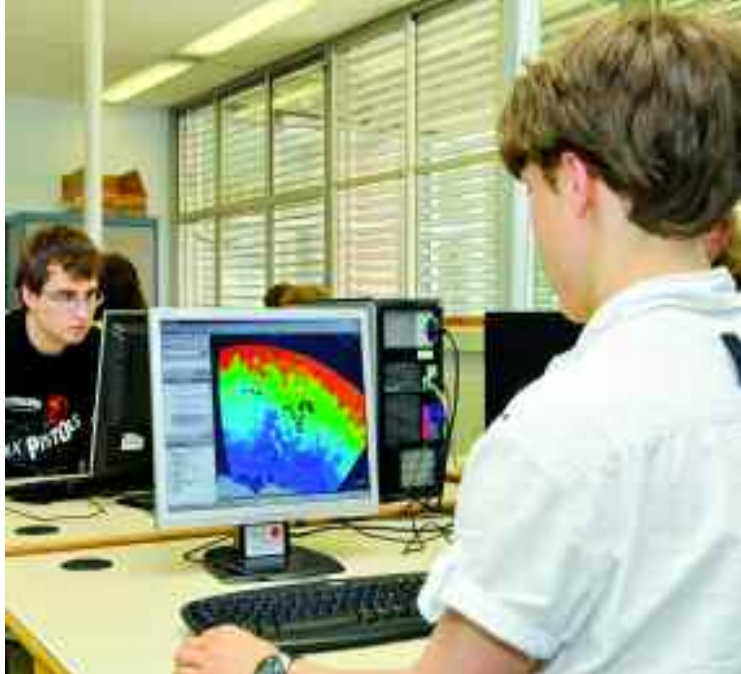
How long has Argos been around?

Argos—the only satellite data collection and location system of its kind—began operation in 1978. One of its objectives from the outset is to help study and protect hundreds of animal species. Argos is operated by CLS, a subsidiary of CNES and Ifremer formed in 1986.

How does it work?

The principle is simple: animals are tagged with a small instrumented transmitter, which comprises an energy source (battery or solar cell) and

sensors (to measure water temperature, salinity, etc.). Measurements are converted into an electrical signal and transmitted at regular intervals to a satellite overhead. Argos instruments are flown on five satellites circling the Earth at an altitude of 850 km. These satellites are in phased orbits to ensure the best possible global coverage. The Argos instrument picks up the signal from the transmitter and relays it to one of 60 local ground stations around the world. The ground station transfers the information to the global processing centres in Washington DC and Toulouse. The processed data



D'autres animaux sont équipés, en mer (baleines, dauphins, tortues) ou dans les airs (albatros, cigognes, aigles, etc.). Argos est le seul système capable de suivre les animaux de milieux extrêmes comme l'Antarctique (manchots royaux, éléphants de mer, phoques): là-bas, collecter des données serait périlleux et compliqué pour l'homme...

Quels sont les développements futurs ?

Le système se perfectionne: plus de fonctionnalités et moins de volume. La nouvelle génération de balises est « intelligente »: elle n'émet que lorsqu'un satellite est à sa portée, soit une grosse heure par jour. Cela économise l'énergie et augmente donc l'autonomie. De nouvelles balises bidirectionnelles permettent aussi de changer de fréquence ou de puissance (par exemple dans une région « bruyée », où il faut émettre un signal fort pour se faire entendre). Enfin, les balises actuelles sont très miniaturisées: les plus légères pèsent 10 grammes.

reach the end-user in just 20 minutes. The radiowave from the transmitter is analysed to ascertain its Doppler shift and thus calculate the animal's position and track its movements.

environments like the Antarctic (king penguins, seals, elephant seals) where in-situ measurements would be difficult and even dangerous for researchers.

What kinds of animals does it track?

Some 20,000 animals have been tracked by Argos—most of them endangered species. In the early days, Argos transmitters were heavy, the electronics alone weighing 1 kilogram. These were fitted to large land mammals, like caribou for example. Gradually, transmitters became smaller and lighter, making it possible to tag marine animals (whales, dolphins, turtles) and birds (albatrosses, storks, eagles, etc.). Argos is the only system able to track animals in extreme

What's next for Argos?

The system is being enhanced all the time, with new functions and a lighter, more compact design. New-generation smart transmitters only send signals when a satellite is in range (an hour or so each day). This saves power, so the transmitter lasts longer. New two-way transmitters can also switch transmission frequency and power, a useful feature in "noisy" regions where a stronger signal is needed. Progress has also been made in transmitter miniaturization: the smallest today weigh just 10 grams.

Argos est-il différent de GPS ? de Sarsat ?

Argos est un système de localisation et de collecte de données par satellite dont l'utilisation est réservée à l'étude et à la protection de l'environnement de notre planète. Argos permet de localiser une station fixe ou mobile (bouée, bateau, animal marin ou terrestre) et de collecter les messages émis par elle.

GPS est un système de localisation. On sait où l'on se trouve mais les autres l'ignorent. Quelques balises Argos sont désormais équipées d'un GPS pour mieux les localiser.

Sarsat est un système dédié au sauvetage. En cas de danger, on actionne une balise de détresse, qui fonctionne 48 heures sur une bande de fréquence très protégée. Après localisation, des secours sont envoyés sur place.

What's the difference between Argos and GPS or Sarsat?

Argos is a satellite location and data collection system used exclusively for environmental research and protection. It is designed to locate fixed and mobile transmitters (on buoys, boats, marine and land animals, etc.) and collect the data they send.

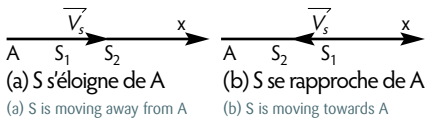
GPS is a location system only. A GPS receiver tells you where you are, but it doesn't tell anyone else. Some Argos transmitters incorporate GPS to improve location accuracy. Sarsat is dedicated to search and rescue. A person in difficulty in a remote location can activate their personal distress beacon, which transmits for 48 hours in a highly protected frequency band. Once located, their coordinates are relayed to the emergency rescue services.

PHYSIQUE / Principe de suivi d'une balise Argos

Une balise Argos « A » émet une onde de fréquence $f_0 = 401,650$ MHz. Le satellite « S » reçoit ce signal à une fréquence « f » différente de « f_0 » : c'est l'effet Doppler-Fizeau.

Données: vitesse du satellite: $V_s = 7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
 célérité de l'onde: $c = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

- Calculer la période « T_0 » et la longueur d'onde.
- Supposons la balise A immobile. Elle émet un premier signal à $t = 0$; le deuxième à $t = T_0$. Le satellite est en S_1 lorsqu'il reçoit le premier signal (à $t = t_1$) et en S_2 lorsqu'il reçoit le deuxième signal (à $t = t_2$).



Dans les deux cas :

- Exprimer la durée T séparant la réception de deux signaux par le satellite en fonction de T_0 , c et V_s (T est donc la période de l'onde reçue par S).
- En déduire la fréquence de l'onde reçue par S et la comparer à la fréquence f_0 .
- Illustrer l'effet Doppler dans le cas des ondes sonores en s'appuyant sur la question 2 et sur un exemple.

Solution / Answer

1. $T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{401,650 \times 10^6} \approx 2,5 \times 10^{-9} \text{ s} = 2,5 \text{ ns}$

2. Cas (a) 2. Case (a)

$$t_1 = \frac{AS_1}{c}$$

$$t_2 = T_0 + \frac{AS_2}{c}$$

$$T = t_2 - t_1 = T_0 + \frac{S_2S_1}{c} = T_0 + \frac{v_s \times T_0}{c} = T_0 \times \left(1 + \frac{v_s}{c}\right)$$

$$b. f = \frac{1}{T} = \frac{f_0}{\left(1 + \frac{v_s}{c}\right)} \approx 401,641 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 401,641 \text{ MHz} < f_0$$

Cas (b) Case (b)

$$a. t_1 = \frac{AS_1}{c}$$

$$t_2 = T_0 - \frac{AS_2}{c}$$

$$T = t_2 - t_1 = T_0 - \frac{S_2S_1}{c} = T_0 - \frac{v_s \times T_0}{c} = T_0 \times \left(1 - \frac{v_s}{c}\right)$$

$$b. f = \frac{1}{T} = \frac{f_0}{\left(1 - \frac{v_s}{c}\right)} \approx 401,641 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 401,641 \text{ MHz} > f_0$$

3. Lorsqu'une moto se rapproche d'un observateur, le son perçu devient plus aigu (fréquence qui augmente). Il devient plus grave (fréquence qui diminue) lorsqu'elle s'éloigne.

Physics / How Argos tracks a transmitter

An Argos transmitter A emits a signal at frequency $f_0 = 401.650$ MHz. The satellite S receives this signal at frequency f, which is different from f_0 . This change in frequency is caused by the Doppler effect.

Data:

Velocity of the satellite: $V_s = 7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

Velocity of the radio wave: $c = 300,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

- Calculate the period T_0 and wavelength of the wave.
- Assume transmitter A is in a fixed position. It emits a first signal at $t = 0$ and a second signal at $t = T_0$. The satellite is at position S_1 when it receives the first signal ($t = t_1$) and at position S_2 when it receives the second signal ($t = t_2$).

PHYSIQUE ET SVT / Éléphants de mer et plongées

Les balises Argos équipant les éléphants de mer ont permis de constater qu'ils plongent régulièrement, parfois au-delà de 1800 mètres, avec des moyennes de plongée entre 400 et 900 mètres (voir tableau).

Profondeurs de plongée d'un éléphant de mer, températures saisonnières et salinité associées / Elephant seal dive depths, with seasonal water temperatures and associated salinity data

Profondeur (m)	T° fin été (mars)* T (°C) in late summer (March)*	T° hiver (juillet)* T (°C) in winter (July)*	Salinité hiver* PSU Salinity in winter* PSU
20	-0,9	-1,8	33,9
40	-1	-1,8	33,9
80	-1	-1,8	33,95
120	-0,9	-1,7	34,4
200	-0,6	-1,5	34,7
300	-0,3	-1	34,8
400	0,1	-0,3	34,85
500	0,3	0,2	34,9
600	0,5	0,4	34,9
700	0,6	0,5	34,9
800	0,7	0,6	34,9
900	0,7	0,6	34,9

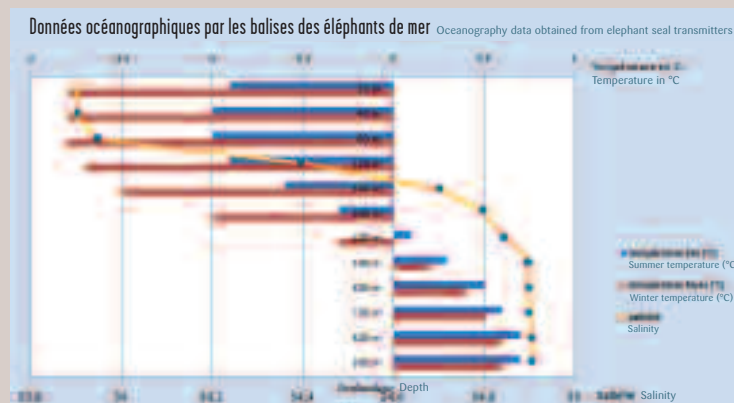
* Attention, réfléchissez aux saisons dans l'hémisphère Sud

*NB: seasons in the southern hemisphere

■ Quelles informations supplémentaires apportent les balises Argos des éléphants de mer par rapport aux cartes de surface ?

Réponse: les plongées des éléphants de mer permettent de fournir des données supplémentaires telles que les températures, ou la salinité en fonction de la profondeur. Ils donnent donc de précieuses informations océanographiques.

■ Tracer les courbes de températures et de salinité en fonction de la profondeur à l'aide d'un logiciel tableur-grapheur. **Réponse / illustration.**



■ Comment peut-on expliquer les températures négatives de l'eau de mer en surface ?

Réponse: La température de congélation de l'eau de mer est de $-1,9^\circ\text{C}$ pour une salinité S de 34 PSU (gramme par kilogramme d'eau). On peut donc avoir de l'eau de mer liquide à moins de 0°C .

In both cases:

- Write out the formula for the time lapse T between reception of the two signals as a function of T_0 , c and V_s (thus, T is the period of the wave received by S).
- Use your formula to calculate the frequency of the wave received by S and compare it with frequency f_0 .

Physics, life and Earth sciences

The diving habits of elephant seals

Argos transmitters fitted to elephant seals have revealed that these animals regularly dive to depths of 400 to 900 metres (see table) and sometimes even 1,800 metres or deeper.

■ In addition to surface movements, what other types of information can the elephant seal transmitters provide?

Answer: As an elephant seal dives, its transmitter measures the variation of temperature and salinity with depth. This type of data is extremely useful to oceanographers.

■ Use a computer spreadsheet/graphics program to plot the graph of water temperature and salinity as a function of depth. *Answer/illustration.*

■ How do you explain the sub-zero temperatures near the surface?

Answer: Sea water freezes at -1.9°C , assuming a salinity value (S) of 34 PSU (grams per kilogram of water).

■ Propose a hypothesis to explain the shape of the temperature graph from the surface to a depth of 900 metres.

Ice forms in the first few metres below the surface. Thus, the water is coldest near the surface. Water temperature increases with depth. At depths of 200 or 300 metres and below, the water is typically warmer, saltier and denser—the result of medium-depth circulation below the colder surface water.

En allant sur le portail Argonimaux il est possible de suivre le déplacement en surface des éléphants de mer.
 * You can track the surface movements of elephant seals on the ArgonIMAUX web portal.

■ Proposer une hypothèse pour expliquer le profil des températures de la surface jusqu'à 900 mètres de profondeur.

On constate la présence de 2 couches. Près de la surface, l'eau est plus froide, moins salée, et de température variable selon la saison (influencée par la formation de glace, la température de l'air, ou l'ensoleillement). En dessous de 300 m, l'eau est plus chaude, plus salée, et ne varie pas entre l'hiver et l'été. La température et salinité sont alors réglées par la circulation océanique en profondeur. La zone de transition entre les deux couches (vers 200-300 mètres de profondeur) s'appelle la thermocline.

3. Based on the principle outlined in question 2, use an example to describe how the Doppler effect would apply to a sound wave.

3. Example: as a motorcycle approaches an observer, the pitch of the noise it makes gets higher (increasing frequency). As it moves away, the pitch gets lower (decreasing frequency).



“ AVEC SON ÉQUIPE DE SEPT PERSONNES, IL ÉTUDIE LE SUIVI DE FABRICATION DES BALISES ET LEURS PERFORMANCES. ”

“With his team of seven, he oversees transmitter manufacture and monitors performance.”

PROFILE: JEAN-PIERRE MALARDÉ
Argos system manager

Job: translating Argos data into human language

“I’m a basic physicist,” says Jean-Pierre Malardé. Physicist? Yes. He has a PhD in physics. But basic? Not so sure. Especially when you consider the brilliant career of the guy at CLS responsible for monitoring the performance of Argos transmitters.

Paris born and bred, he moved to Toulouse (“I hardly knew where it was on the map...”) because his PhD tutor relocated there, one of the top guys in France and “a great mentor. That’s important in our business.” Jean-Pierre arrived at CLS in 1990 but had already been immersed in space oceanography for several years. And so he began working at one of the two Argos global processing centres. Here, powerful computers help to translate seemingly unintelligible data into language users can understand. As well as deciphering data, the centre acts as the interface between CNES and users: “Each location assignment is made to measure. We help each customer to decide exactly what they want—which transmission frequency, which programme, etc. Getting into the nitty-gritty with researchers is fascinating.” Today, Jean-Pierre is Argos system manager and responsible for location algorithms. With his team of seven, he oversees transmitter manufacture, monitors performance and plans how the system will evolve. “We’re looking at different strategies for network deployment, bearing in mind that not all new non-geostationary satellites are compatible with certain ground stations...” Another option is to use geostationary satellites to relay data in real time. He has taken part in educational projects before and continues to give talks to classes about location technologies. “I wish my son had done this kind of stuff at high school, though I’m not sure he’d have appreciated his dad coming into class!” How helpful was Jean-Pierre’s education to his work today? University gave him a solid grounding, which is useful now as he talks with satellite specialists, high-level statisticians, biologists and oceanographers. But translating the language of transmitters and interfacing with experts in so many fields is obviously not something you learn in school.

Jean-Pierre Malardé / Un traducteur simultané de données Argos en langage humain

« Physicien de base », c’est ainsi que Jean-Pierre Malardé se définit. Physicien, peut-être, puisqu’il a un doctorat en physique. « De base », c’est moins sûr, quand on découvre le parcours brillant de celui qui, chez CLS, suit les performances des balises Argos...

Ce Parisien pur souche a débarqué à Toulouse (« Je savais à peine situer la ville sur une carte ! ») pour suivre son directeur de thèse, une pointure nationale, « un très bon guide, c’est important, dans notre métier ». Arrivé à CLS en 1990, Jean-Pierre Malardé baigne déjà dans l’océanographie spatiale depuis des années. Le voilà dans l’un des deux centres de traitement Argos du monde. Ici, à l’aide de puissants calculateurs, on traduit en langage clair ce qui n’était qu’un ensemble de chiffres abscons. En plus de donner du sens aux données recueillies, il fait l’interface entre le CNES et les utilisateurs : « Chaque localisation, c’est de la petite série artisanale ; on aide chaque client à affiner sa demande : à quelle fréquence émettre, avec quel programme ? C’est intéressant d’avoir les mains dans le cambouis aux côtés du chercheur. » Aujourd’hui, Jean-Pierre est responsable système Argos, et chargé des algorithmes de localisation. Avec son équipe de sept personnes, il étudie le suivi de fabrication des balises et leurs performances, et réfléchit à l’évolution du système. « Nous cherchons la meilleure stratégie de déploiement du réseau, sachant que les nouveaux satellites à défilement ne sont pas tous compatibles avec certaines stations. » Autre évolution possible : disposer de satellites géostationnaires pour avoir des données en temps réel. Il a déjà participé à des projets pédagogiques et continue d’intervenir en classe pour parler des techniques de localisation. « J’aurais bien aimé que mon fils ait ce genre de programme au lycée... quoiqu’il n’aurait peut-être pas aimé voir intervenir son père en cours ! » Quel regard porte-t-il sur son parcours ? L’université lui a donné une culture générale qui lui permet de dialoguer aussi bien avec un spécialiste des satellites, un statisticien très pointu, un biologiste ou un océanographe. Savoir traduire le langage des balises et dialoguer avec autant de profils différents, ce n’est décidément pas donné à tout le monde !

Cursus classique

- Baccalauréat S
 - Master
- DEA de physique en méthodes physiques de télédétection
 - Doctorat
- Career path
 - Baccalaureate (science stream)
 - MSc
- Postgraduate diploma in physics (specializing in physical remote-sensing methods)
 - PhD

(N.D.L.R. Nos remerciements vont à Virginie Godechoul, professeur de physique, Mehdi Rajade, professeur de SVT, Michel Vouzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES, Christophe Guinet et Céline Clément Chastel du CNRS) / thanks Virginie Godechoul, Mehdi Rajade, Michel Vouzelle (teachers) and Christophe Guinet, Céline Clément Chastel (CNRS).