

PIUFORTAVI

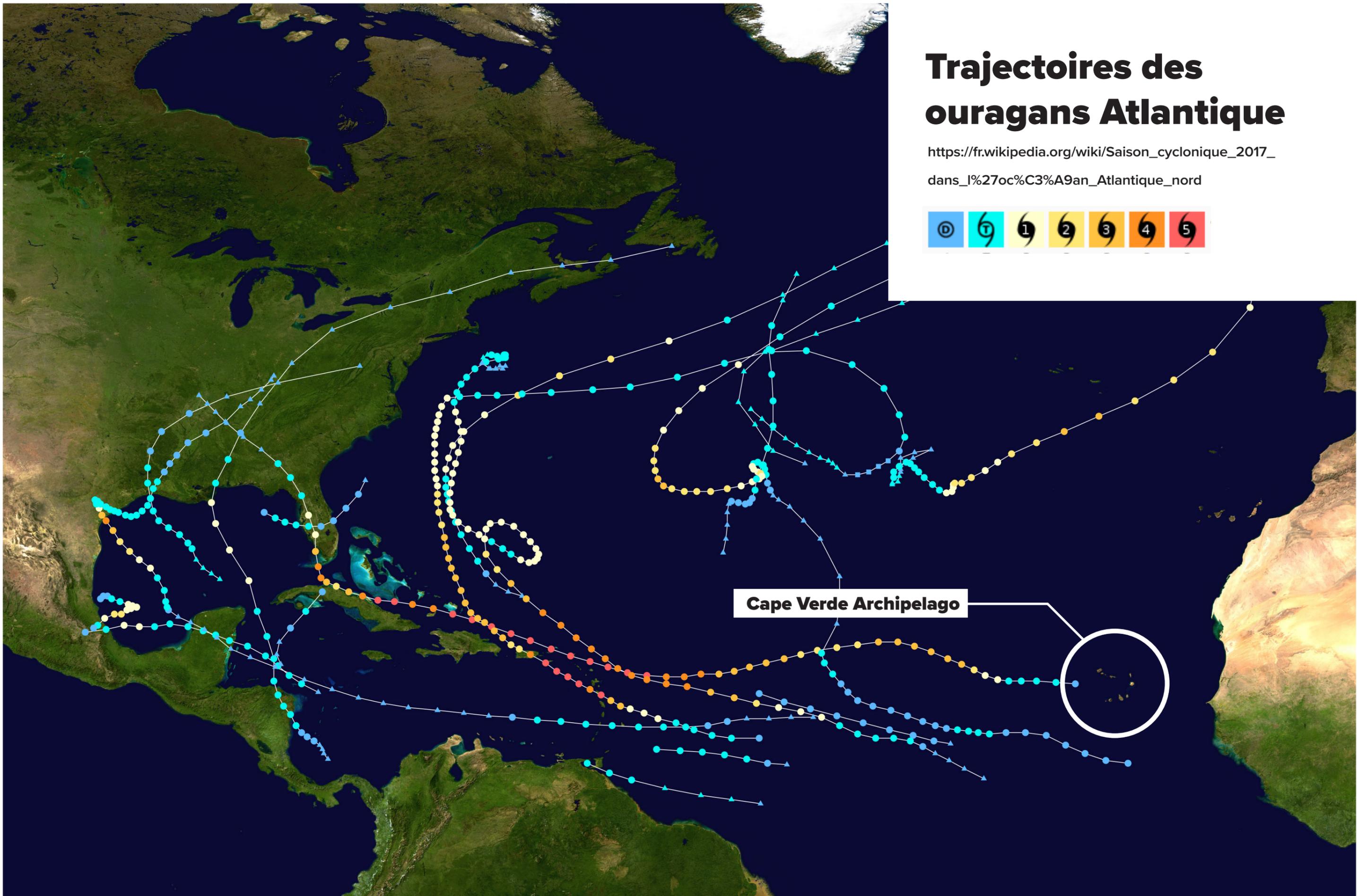
**PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING FOR TROPICAL AND
VOLCANIC ISLAND**

Résumé

- Le réchauffement climatique est responsable de l'accroissement de l'intensité des cyclones tropicaux. La prédiction du Professeur James Hansen de l'Université Columbia , décrite en 2009 dans son livre désormais incontournable, que nos petits enfants verraient des cyclones monstrueux avec des vents de plus de 400 km/h, s'est presque réalisée en 2017 avec le cyclone Irma dont les vents ont atteint plus de 350 km/h.
- Les cyclones tirent leur énergie des eaux chaudes océaniques de surface, si cette température continue à augmenter il est évident que ces phénomènes climatiques extrêmes seront de plus en plus dévastateurs.
- Mais avec les moyens techniques dont l'humanité dispose à l'heure actuelle on peut stopper la production des eaux chaudes de surface des îles volcaniques tout autour de la ceinture équatoriale de la planète entre les deux tropiques
- Sur le plateau continental de chaque île importante de cette zone intertropicale il convient d'installer, en limite de plage ou de côte, des batteries de pompes électriques centrifuges à grand débit (électricité produite par panneaux solaires et éoliennes), régulièrement espacées pour créer un phénomène **d'upwelling ou remontée d'eau froide à grande échelle** afin d'obtenir un refroidissement de la couche de mélange océanique de plus de 2 degrés.
- C'est l'objet de la présentation du Procédé Industriel d'Upwelling pour Ile Tropicale et Volcanique appliqué sur l'Archipel du Cap Vert, **PIUFORTAVI**, brevet déposé auprès de l'INPI en date du

Trajectoires des ouragans Atlantique

https://fr.wikipedia.org/wiki/Saison_cyclonique_2017_dans_l%27oc%C3%A9an_Atlantique_nord



TRAJECTOIRES DES OURAGANS ATLANTIQUE NORD

La saison cyclonique 2017, de début juillet à fin septembre, a été particulièrement intense sur l'Atlantique nord, avec quatre ouragans majeurs qui ont atteint la catégorie 5, intensité maximale sur l'échelle Saphir Simpson, il s'agit de **Harvey, Irma, José et Maria**.

Les dégâts causés sont considérables et se montent à plus de 300 milliards de \$ dans les pays touchés notamment **Texas, Floride, Cuba, Porto Rico, Haïti et Saint Martin**.

Les faits marquants de ces phénomènes climatiques extrêmes :

- le plus meurtrier en Haïti et Cuba avec des centaines de victimes concerne Irma,
- le plus intense avec une dépression à 907 Hpa est **Maria**
- et le plus coûteux au Texas en termes de destructions de plus de 190 milliards de \$ de dommages est dû à Harvey.

La génèse d'un cyclone, les conditions connues pour la formation d'un

- ouragan en **Atlantique Nord**,
- cyclone dans **l'Océan Indien**
- typhon dans **l'océan Pacifique**

Les cyclones ont besoin de la convergence de plusieurs conditions pour naître et se développer :

1- au départ il faut une **forte humidité** supérieure à 70 %, ce qui existe dans **la zone intertropicale de convergence**, pour que des masses nuageuses de type cumulonimbus puissent se former.

2- ensuite une **absence de vent en altitude** pour ne pas chasser ces nuages convectifs.

3- puis un **gradient de pression** pour mettre en mouvement les masses d'air humide et provoquer une dépression naissante.

4- on a également besoin d'une condition géographique avec la pseudo **force de Coriolis** pour dévier vers la droite, dans l'hémisphère nord, les particules en mouvement dans cette dépression naissante. Les dépressions et cyclones ne peuvent pas se former près de l'équateur où la composante horizontale de la force de Coriolis est nulle.

5- enfin, bien sûr il faut de **l'air chaud et humide provenant de l'échange océan/atmosphère**. Cet échange se déroule uniquement dans la couche superficielle de mélange au-dessus de la thermocline car dans la profondeur de l'océan, l'eau y est très froide. Il faut donc une dernière condition thermique pour alimenter cette dépression naissante pour qu'elle devienne un cyclone, **la température de l'eau de surface et dans cette couche de mélange doit être supérieure à 26°C sur une épaisseur de 50 mètres**.

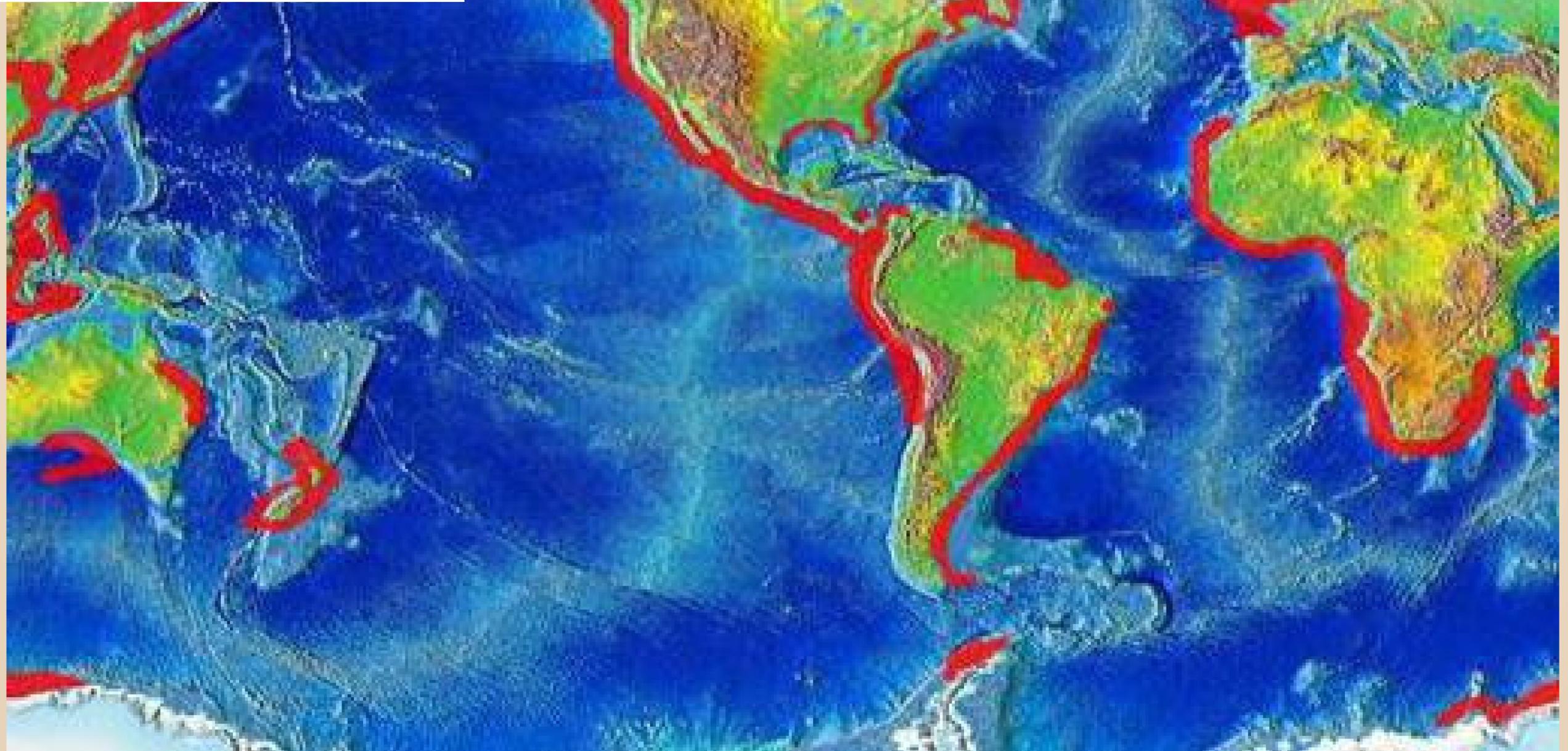
Observation 1, la zone critique ou nursery qui alimente l'activité cyclonique dans l'océan Atlantique Nord

Durant la période de 1988 à 2015, sur 27 ans d'observation, on constate que 95 % des cyclones de l'Atlantique nord ont pris naissance **aux alentours de l'archipel du Cap Vert** (600 milles nautiques à l'ouest, sud-ouest) **entre les latitudes 12° et 17° Nord et les longitudes 22° et 37° Ouest.**

Les ouragans majeurs de 2017 n'échappent pas à cette statistique, ils se sont eux aussi formés dans cette zone critique.

Effectivement dans la partie Nord Est de cette zone géographique se situent les îles du Cap Vert d'origine volcanique, quasi désertiques et disposées en fer à cheval. Cette disposition quasi fermée **bloque la circulation océanique d'eau froide issue de l'upwelling naturel qui se produit sur les côtes marocaine, mauritanienne et sénégalaise consécutif à la rotation terrestre.**

CARTE MONDIALE DE L'UPWELLING SUR LES CÔTES CONTINENTALES



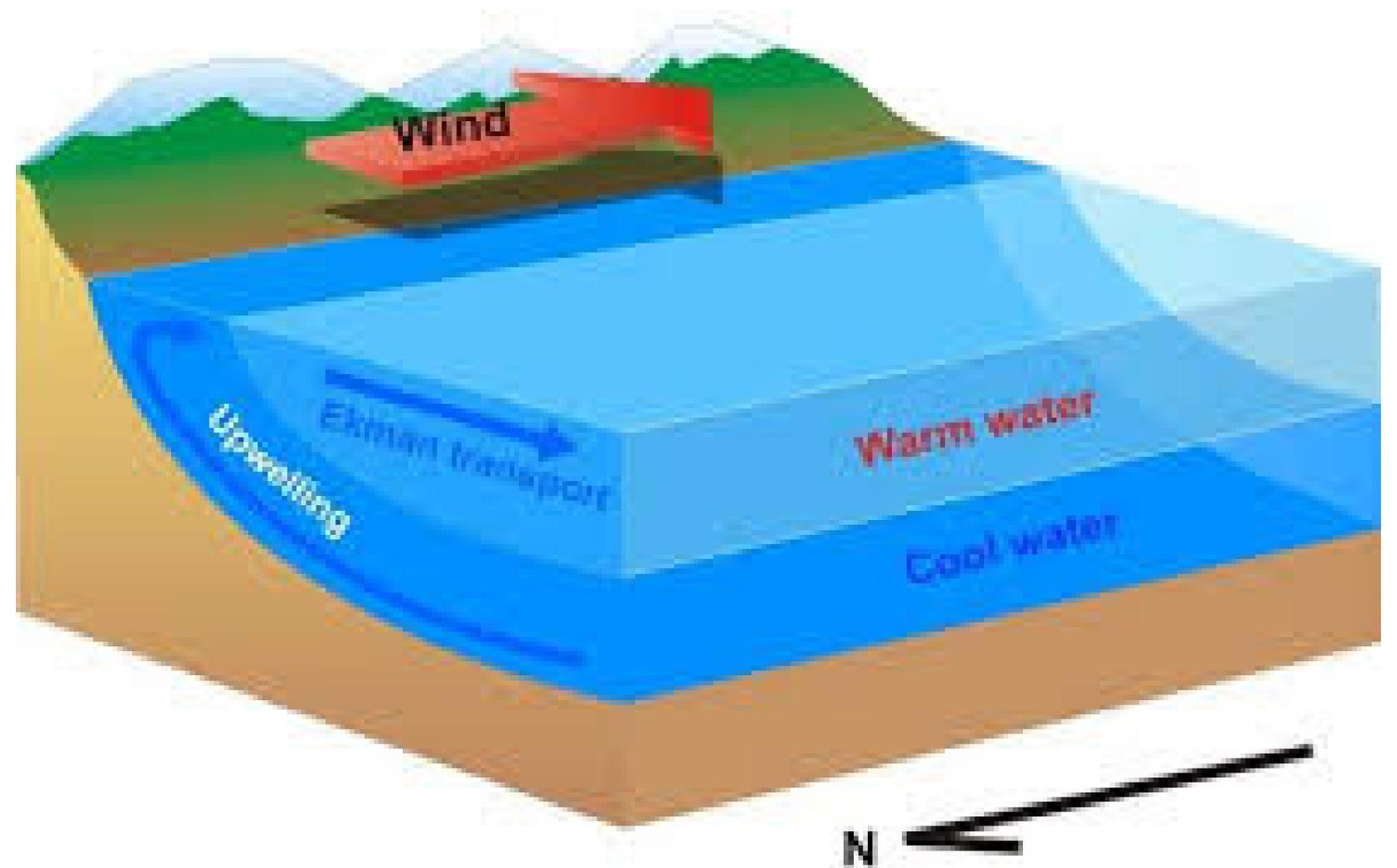
PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Procédé industriel d'Upwelling Sur l'Archipel du Cap Vert Afin de Réduire la Fréquence et l'Intensité de l'Activité Cyclonique sur l'Atlantique Nord

Définition de l'Upwelling, comment se produit la remontée d'eau froide sur une côte de continent?

Le mécanisme de l'upwelling naturel est schématisé par le croquis ci contre:

- Dans l'hémisphère nord, sur les côtes marocaine et mauritanienne par exemple les vents alizés soufflent le long des côtes vers le sud ouest.
- La force de Coriolis liée à la rotation terrestre dévie le courant marin engendré par le vent vers la droite.
- Donc les eaux chaudes de surface sont déplacées vers le large et le vide ainsi crée est compensé par une remontée des eaux froides du fond.



Observation 2, la production des eaux chaudes de surface et de la couche de mélange dans l'Atlantique Nord

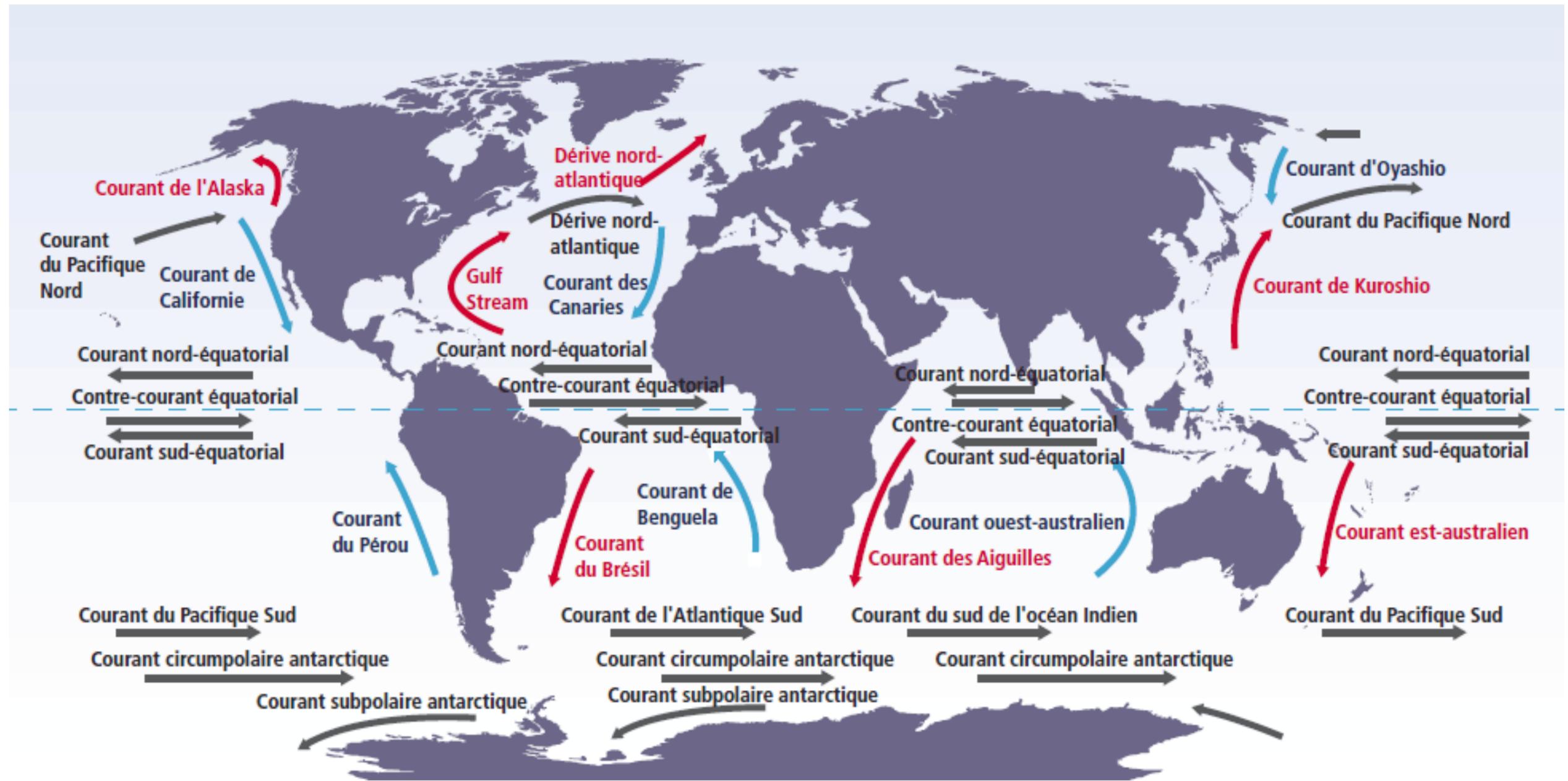
Les îles du Cap Vert Boavista, Maio, Sal, Sao Vicente et Santa Lucia, sont **d'immenses machines thermiques.**

La plus étendue, Boavista est un désert posé sur la mer, une île de sable presque inhabitée. C'est une **gigantesque cocotte-minute à ciel ouvert** qui produit de juin à fin septembre de l'eau de surface extrêmement chaude de 27° à plus de 28° en Août.

Ces eaux très chaudes sont naturellement transportées vers l'ouest / sud-ouest par le courant océanique nord équatorial dont la vitesse est comprise entre 0,5 et 1 kt. En 24 heures 12 à 24 milles nautiques sont ainsi parcourus. En un mois ces eaux chaudes atteignent **la zone critique de nursery de formation des cyclones de l'Atlantique Nord.**

A ce courant s'ajoute l'effet vent, les alizés très soutenus de Nord-Est vers le Sud-Ouest, soufflent avec une force 5/6 sur l'échelle de Beaufort à certaines périodes de l'année. La boucle est bouclée pour alimenter en eaux chaudes les cyclones en développement dans la zone critique.

CARTE MONDIALE DES COURANTS OCEANIQUES



PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Procédé industriel d'Upwelling Sur l'Archipel du Cap Vert Afin de Réduire la Fréquence et l'Intensité de l'Activité Cyclonique sur l'Atlantique Nord

Northen Atlantic, The cold current of the Canaries

Sur l'Atlantique Nord, le **courant froid des Canaries** du nord-est et issu de l'upwelling qui se produit le long des côtes marocaine, mauritanienne et sénégalaise, est freiné par le relief sous marin constitué par l'activité volcanique ayant donné naissance à l'archipel du Cap vert. Les eaux de surfaces du plateau continental des différentes îles se réchauffent au dessus de 26 degrés et sont transportées par le NEC (North equatorial current) d'est en ouest ce qui favorise et donne naissance aux cyclones tropicaux.

Atlantique Sud, Le courant froid de Benguelat

A l'inverse, si l'on regarde ce qui se passe dans l'Atlantique Sud, rien ne bloque la circulation d'eau froide du puissant courant de Benguela issue de l'upwelling naturel qui se produit dans le golfe de Guinée et sur les côtes namibienne et sud africaine.

Ce courant rejoint le SEC (south equatorial current) et traverse l'océan d'est en ouest au sud de l'équateur en régulant la température de surface. Les cartes marines de la Royal Navy confirment que, sur une grande partie, **la température moyenne de surface de l'Atlantique Sud reste inférieure à 26°C.**

Grâce à cette régulation naturelle de la température de surface et de la couche de mélange aucun cyclone ne se forme en été austral (de janvier à mars) dans cette partie de l'hémisphère sud et les côtes du Brésil, d'Uruguay et d'Argentine sont épargnées par les vents dévastateurs des ouragans de catégorie 3, 4 ou 5.

Conclusion

Ces observations nous conduisent à penser que le point commun, de tous les ouragans qui traversent l'Atlantique Nord d'Est en Ouest, est leur origine capverdienne.

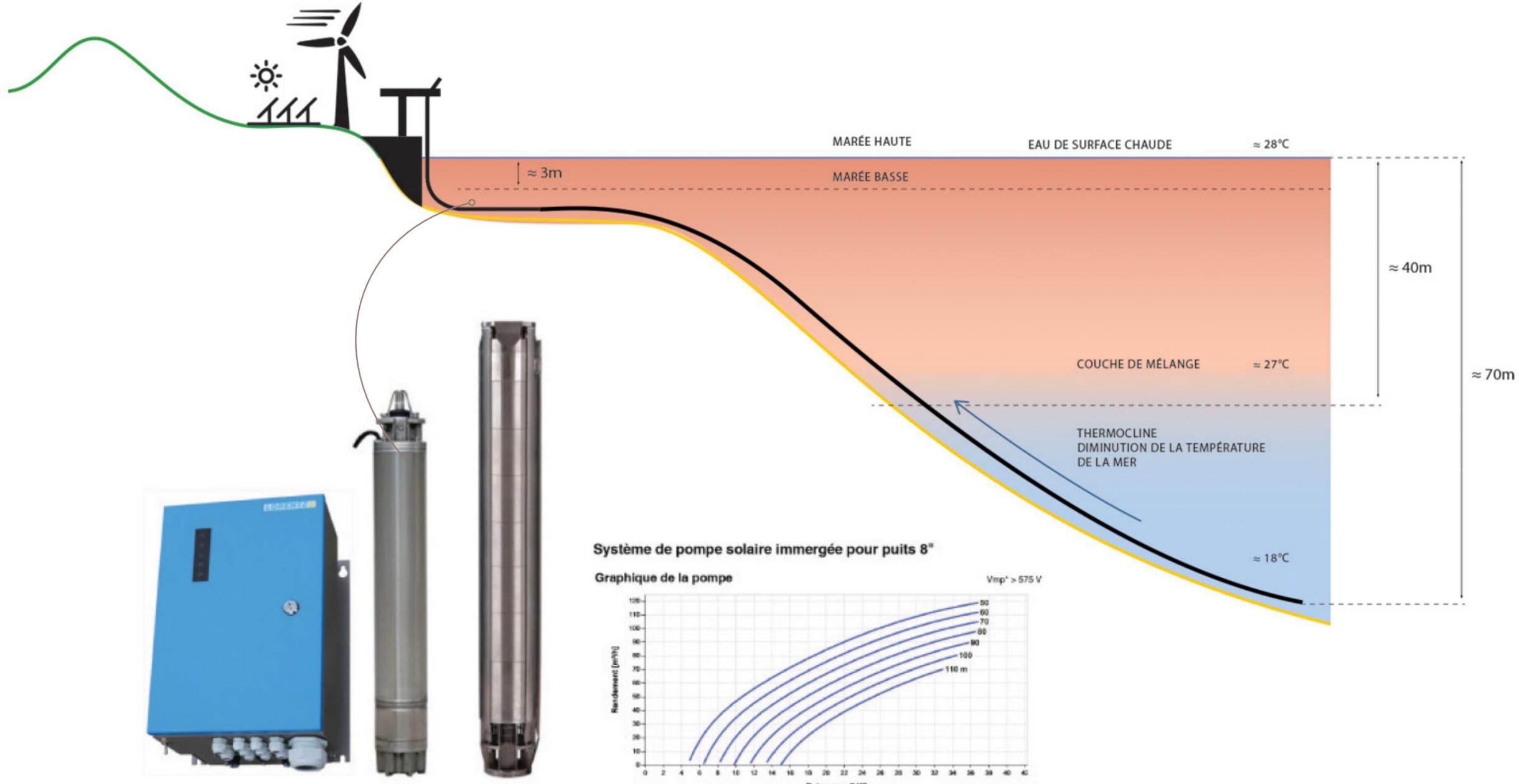
Aussi il convient de refroidir les eaux de surface de certaines îles de cet archipel sur leur plateau continental.

Ainsi, le courant océanique nord équatorial qui brasse et convoie ces eaux de surface vers la zone de formation des cyclones va désormais non pas faire circuler des eaux chaudes mais des eaux refroidies qui vont avoir pour effet de réduire, la température de surface et de la couche de mélange sur une grande partie de l'Atlantique nord équatorial, sous la barre des 26°C, comme dans l'Atlantique Sud.

En stoppant l'apport d'eaux chaudes des îles capverdiennes vers la zone critique de formation de la dépression initiale on peut ainsi atténuer significativement la fréquence et l'intensité dévastatrice de ces phénomènes climatiques extrêmes.

PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Configuration aspect en coupe du PIU -installation du groupe de pompes en limite de plage avec usine de panneaux solaires et éolienne. Schéma de la couche de mélange eaux chaudes de surface en rouge, eaux froides en profondeur en bleu.



Toutes propriétés intellectuelles appartenant à des tiers intégrées par accident, ou à des fins de compréhension de biens ou de services sur ces tableaux sont uniquement à titre illustratif et ne déduisent aucune relation commerciale ou juridique.

PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Procédé industriel d'Upwelling Sur l'Archipel du Cap Vert Afin de Réduire la Fréquence et l'Intensité de l'Activité Cyclonique sur l'Atlantique Nord

PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Le procédé industriel d'upwelling consiste à :

Installer sur l'Archipel et en limite de plage ou de la côte, sur des rampes en béton, 7 000 pompes centrifuges électriques à grand débit de plus de 100 m^3 par heure, immergées par 3 ou 4 mètres de fond et reliées à des tuyaux reposant en fond de mer jusqu'en limite de plateau continental vers moins 70 m sous la couche de mélange. Cette disposition permet de remonter de l'eau froide de la thermocline aux environs de 18° Celsius.

L'énergie sera fournie par des panneaux solaires pendant le jour avec une durée utile et un rendement satisfaisant pendant environ 10 heures. On double l'efficacité des pompes en fonctionnant aussi de nuit avec l'énergie éolienne. L'investissement est conséquent mais nécessaire pour faire un mix des deux énergies afin d'avoir plus de souplesse pendant les périodes de maintenance.

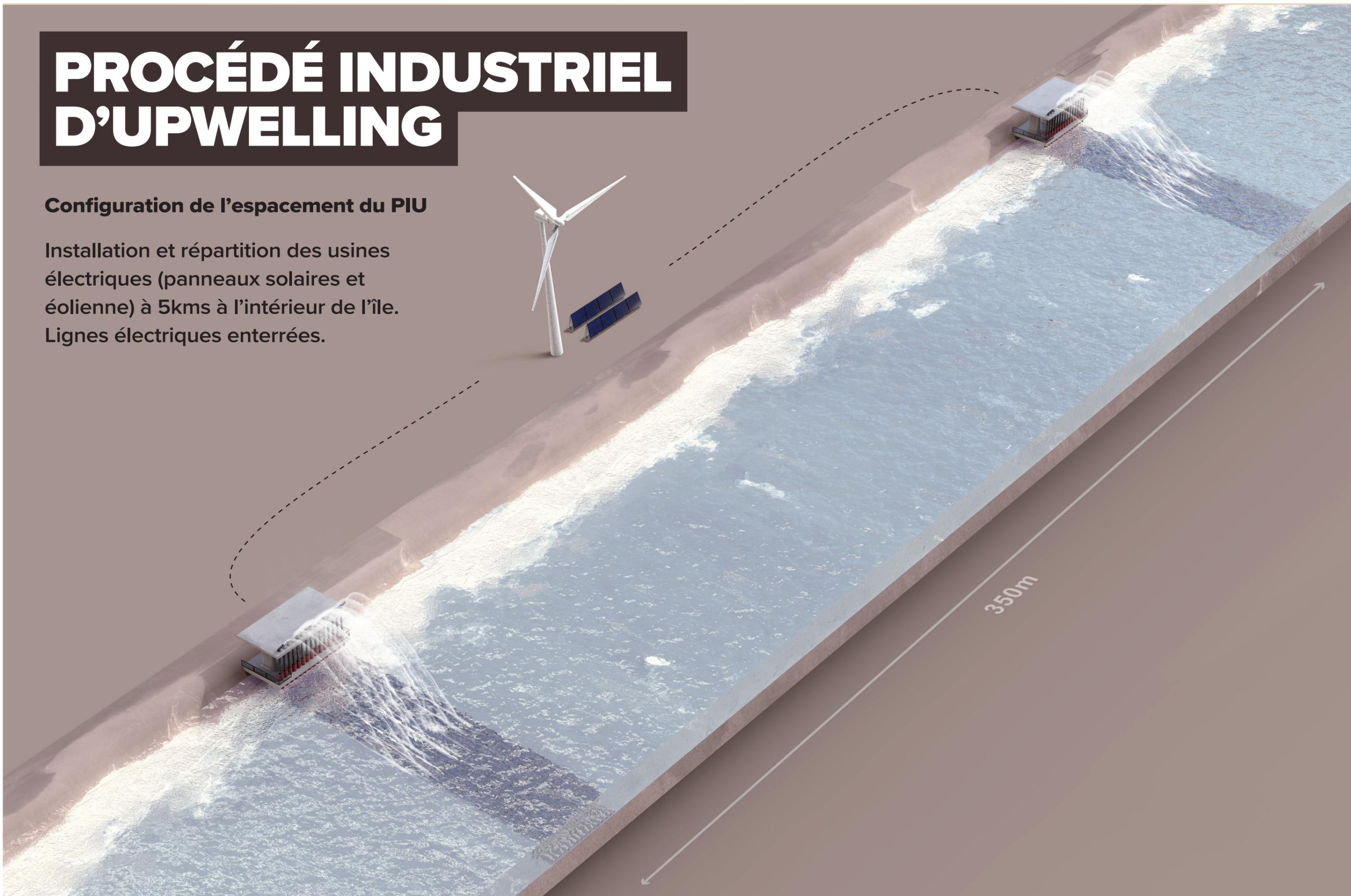
C'est sur la plus grande des îles, Boavista et la plus désertique qu'il convient de concentrer l'investissement. Son périmètre est d'environ 100 km et son plateau continental est en moyenne de 6 km de large sur 20 m de profondeur moyenne. Il y a donc environ 600 km^2 de superficie développée et 12 km^3 d'eau de la couche de mélange à refroidir soit 12 milliards de m^3 .

Une pompe fonctionnant avec des panneaux solaires (pendant 10 heures) et avec l'énergie éolienne en nocturne (pendant 10 heures supplémentaires) et qui existe déjà sur le marché pour les grands complexes d'arrosage, remonte par jour $2 000 \text{ m}^3$ d'eau froide à 18° C , si on la disperse avec des canons à eau en pluie fine de 1,5 cm/jour on peut couvrir $133 000 \text{ m}^2$ soit $0,133 \text{ km}^2$, pour couvrir 600 km^2 il faut donc 4 500 pompes.

PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING

Configuration de l'espace du PIU

Installation et répartition des usines électriques (panneaux solaires et éolienne) à 5kms à l'intérieur de l'île. Lignes électriques enterrées.



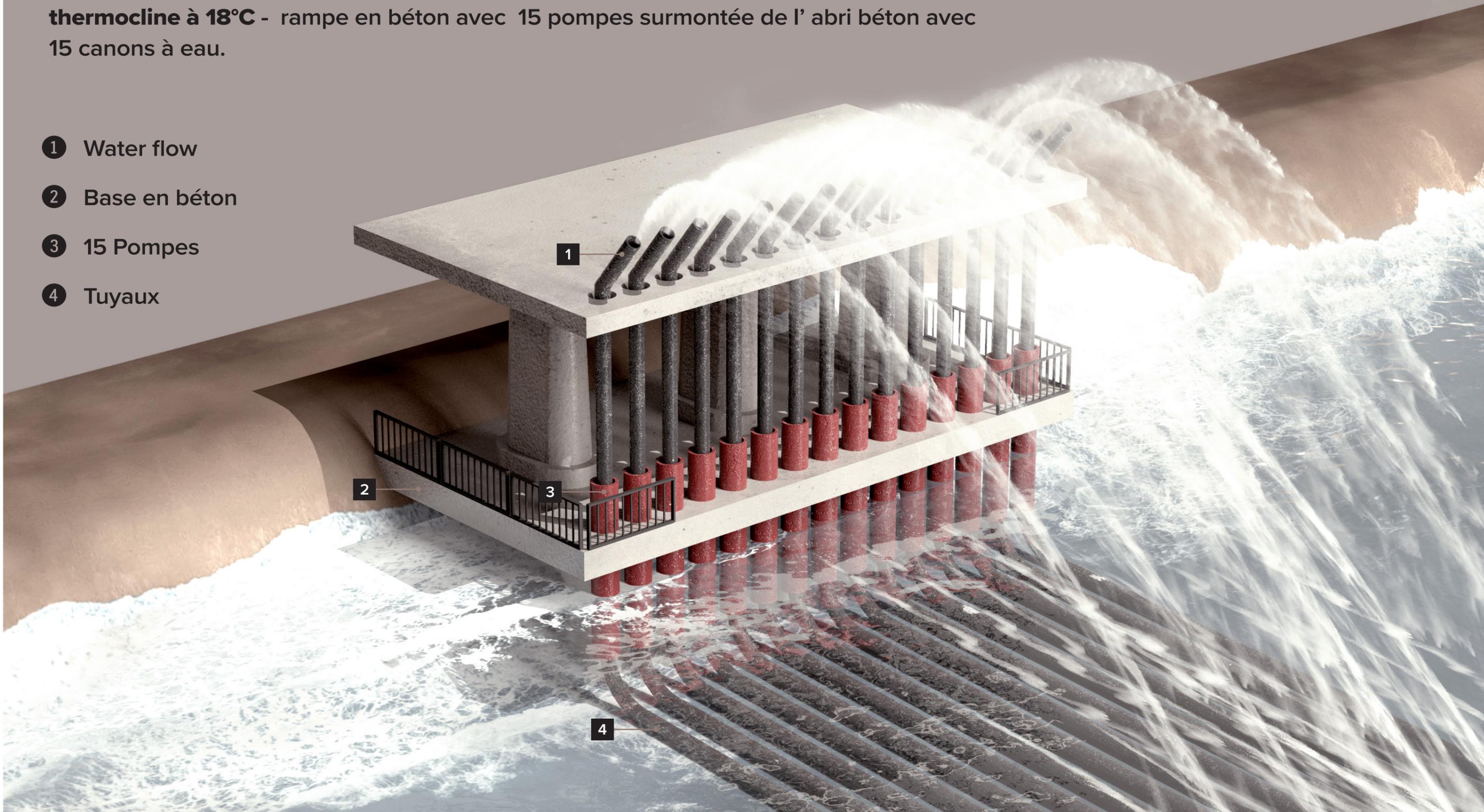
Configuration de l'installation des usines électriques à l'intérieur de l'île (au moins à 5 kms des côtes)

- Sur l'île de BOAVISTA, tous les kilomètres,
- on construit à terre des usines solaires et des éoliennes
- pour fournir en électricité, 60 pompes reliées à
- des canons à eau par des tubes souples et /ou rigides reposant sur le fond en fonction du relief sous marin.

UPWELLING INDUSTRIAL PROCESS

Solution installation de batterie de pompes pour remonter de l'eau froide de la thermocline à 18°C - rampe en béton avec 15 pompes surmontée de l'abri béton avec 15 canons à eau.

- ① Water flow
- ② Base en béton
- ③ 15 Pompes
- ④ Tuyaux



Exemple d'Architecture et Design des installations de rampe en limite de plage tous les 350 mètres sur l'île de Boavista

- Ces canons sont placés sur des fondations et construction béton en limite de plage ou de la côte. Chaque site solaire et éolien fournit 3 lignes électriques espacées de 350 mètres. Ces lignes électriques seront enterrées.

- Chaque rampe de canons à eau est alimentée par 15 pompes disposées par 3 à 4 mètres de fond pour tenir compte du marnage d'environ 1,5 mètres en moyenne, les tuyaux reliant chaque pompe sont disposés en fond de mer sur plusieurs kms jusqu'en limite de plateau continental par 60/70 m de fond.

PROCÉDÉ INDUSTRIEL D'UPWELLING



Configuration du positionnement du PIU sur l'Archipel du Cap Vert

Répartition des 7000 pompes

Les Iles équipées du PIU,

- ① Boavista 4500 pompes,
- ② Maio 1400 pompes,
- ③ Sal 700 pompes,
- ④ Sao Vicente 200 pompes,
- ⑤ et Santa Lucia 200 pompes.

Base 802990AI (C00671) 2-04

Les Iles du Cap Vert équipées du PIU

Un calcul similaire conduit à installer:

- sur l'île de **Maio 1400 pompes,**
 - sur l'île de **Sal 700 pompes,**
 - sur l' îles de **Sao Vicente 200 pompes,**
- Et sur l'île de **Santa Lucia 200 pompes.**

Ce qui fait un **total de 7 000 pompes**

pour un coût estimé de 700 millions à 1 milliard €

en fonction des infrastructures (routes, ponts, habitat, usines de dessalement pour la population, liaisons aériennes et maritimes, reboisement...) à faire ou à améliorer.

Généralisation du PIU et effets secondaires à exploiter

Le procédé industriel d'upwelling installé dans l'Archipel du Cap vert va réduire la fréquence et l'intensité des ouragans en Atlantique Nord dans un premier temps, mais il faudra certainement le généraliser pour plus d'efficacité sur le chapelet d'îles des Caraïbes qui possèdent un important plateau continental : **Martinique, Guadeloupe, Porto Rico, République Dominicaine, Haïti, Jamaïque, Cuba** et dans le golfe du Mexique il faudra aussi équiper de PIU **la baie de Campêche et le Nord du Yucatan.**

Ce procédé industriel peut être généralisé sur la ceinture équatoriale autour du monde après étude des cartes et des courants,

- dans l'Océan Indien sur la nursery située dans l'**Archipel des Chagos,**
- sur la nursery du **Pacifique Nord** située dans l'**Archipel des Mariannes**
- et sur celle du **Pacifique Sud** dans la zone des îles **Fidji, Vanautu, Nouvelle guinée et des îles Salomon.**

Effets secondaires bénéfiques :

- Le refroidissement des eaux de surface et de la couche de mélange renouvelle l'eau en contact avec l'atmosphère ce qui favorise l'absorption du dioxyde de carbone, gaz à effet de serre, par l'océan.
- L'upwelling favorise les ressources halieutiques ce qui favorise le développement de fermes marines.

On dispose de 4 heures par jour d'énergies renouvelables gratuites pour développer les activités humaines après dessalinisation de l'eau de mer:

- amélioration de l'agriculture, de l'élevage et des cultures vivrières,
- perspectives de reboisement en caféiers, cacaotiers, vignes, fruits exotiques...

Effacité du PIU

- Pour mesurer l'efficacité du procédé on procède au **Calcul de la température moyenne du mélange des masses d'eau M et m.**
- **M** étant la masse d'eau du plateau continental autour de Boavista par exemple à la température de $t_1=28$ degrés, puis t_2 le jour 2, puis t_i au bout de i jours (i varie de 1 à 365).
- **m** étant la masse d'eau remontée quotidiennement par le PIU à la température t (vers -70m $t=18$ degrés).
- Après un jour de fonctionnement du PIU la température moyenne est dans le rapport des masses d'eau en présence ainsi: $t_2 = (Mt_1 + mt) / (M + m)$ - This equation is simplified by asking $x = m / M$ which gives: $t_2 = (t_1 + xt) / (1 + x)$
- Cette équation se simplifie en posant $x = m/M$ ce qui donne : $t_2 = (t_1 + xt) / (1 + x)$
- x étant très petit on peut approcher la valeur $1/(1+x)$ par les 2 premiers termes de son développement limité (formule complète sur Wikipedia) , on retient la valeur approchée: $1/(1+x) \approx 1 - x$
- D'où l'équation de la valeur de t_2 devient: $t_2 = (t_1 + xt)(1 - x)$
- Après développement le terme au carré est négligeable et la formule approchée se finalise par: $t_2 = t_1 - x(t_1 - t)$
- Par un calcul itératif il vient: $t_3 = t_2 - x(t_2 - t)$
- On remplace t_2 par sa valeur en fonction de t_1 et en négligeant les termes en carré de x on a ainsi: $t_3 = t_1 - 2x(t_1 - t)$
- Et ainsi de suite, le terme de rang i devient $t_i = t_1 - (i-1)x(t_1 - t)$

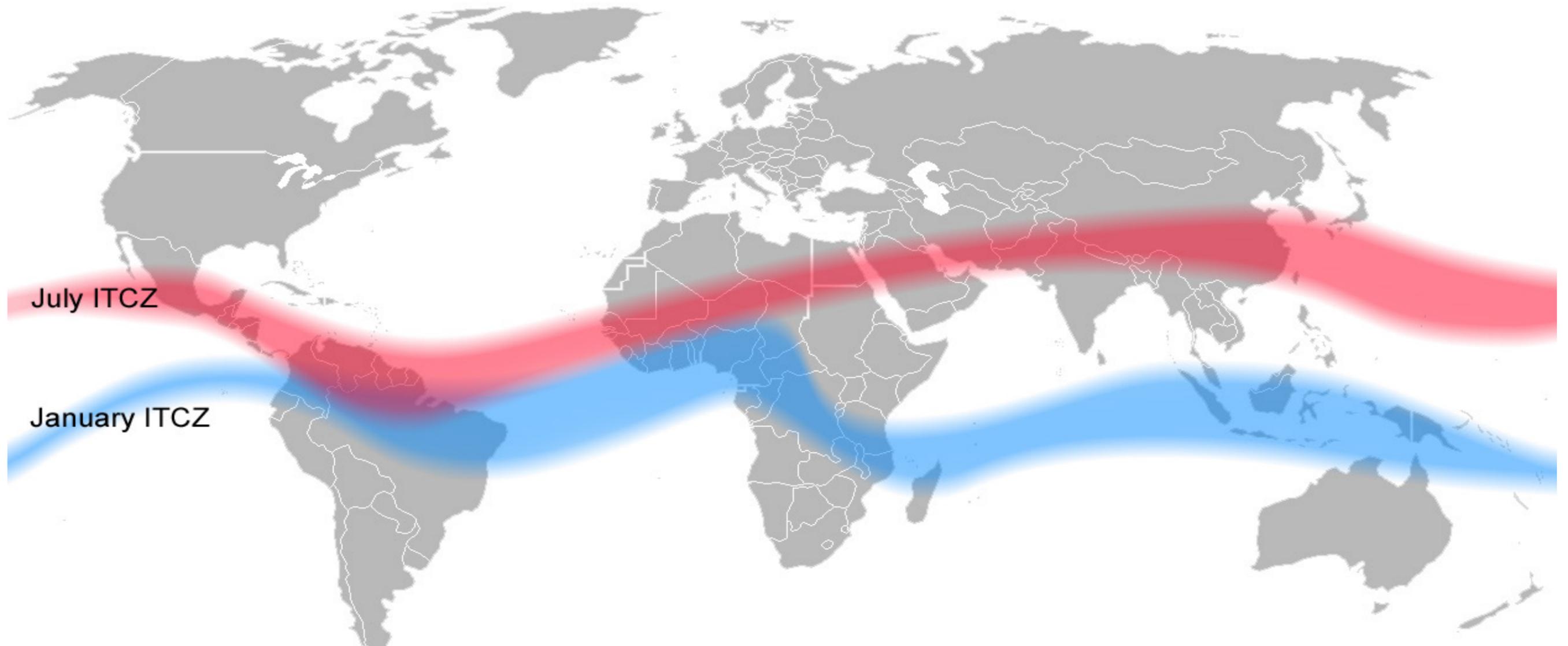
Application numérique sur le plateau continental de l'île Boavista

- Application numérique pour $i=365$, $t_1=28^\circ\text{C}$, $t=18^\circ\text{C}$
- Après un an de fonctionnement du PIU on a: $t_{365}=28-3640x$
- Les valeurs de $x=m/M$ sur l'île de Boavista: pour M, le volume à refroidir est de 12 milliards de m^3 .
- Avec un fonctionnement par énergie solaire uniquement de 10 h par jour, 4500 pompes remontent $m=4.5$ millions de m^3 jour et $x=3.75/10000$.
- Il vient $t_{365}=28-3640*3.75/10000$ soit: **$t_{365}=26,635$ degrés**
- On en déduit que le refroidissement de seulement $1,365^\circ\text{C}$ est largement insuffisant.
- Examinons maintenant avec un fonctionnement solaire et éolien de 20h par jour $m=9$ millions de m^3 jour,
 $x = 0.75/1000$ et il vient pour $t_{365}=28-3640*0.75/1000$ soit: **$t_{365}=25.27$ degrés.**
- Ce refroidissement de plus de 2 degrés appliqué sur les îles du Cap vert est suffisant pour maintenir les eaux de surface de la zone critique de l'Atlantique Nord en dessous du seuil de 26 degrés, facteur de déclenchement du processus de formation des ouragans.

Annexe 1: Définition de la Zone de Convergence Intertropicale

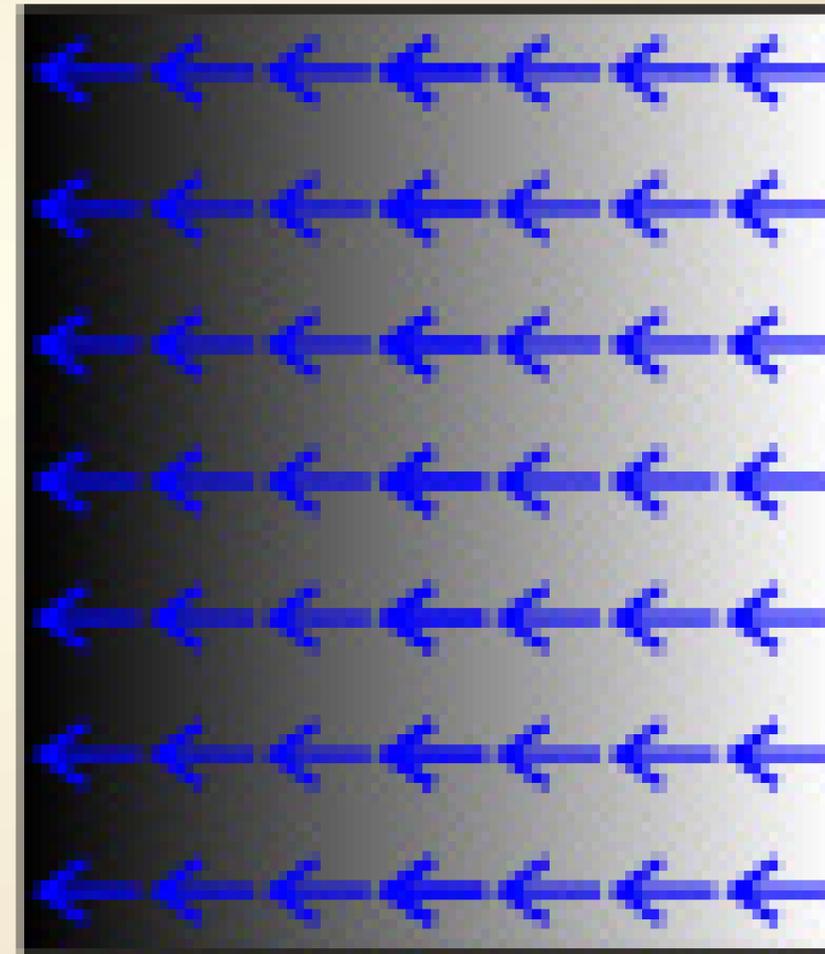
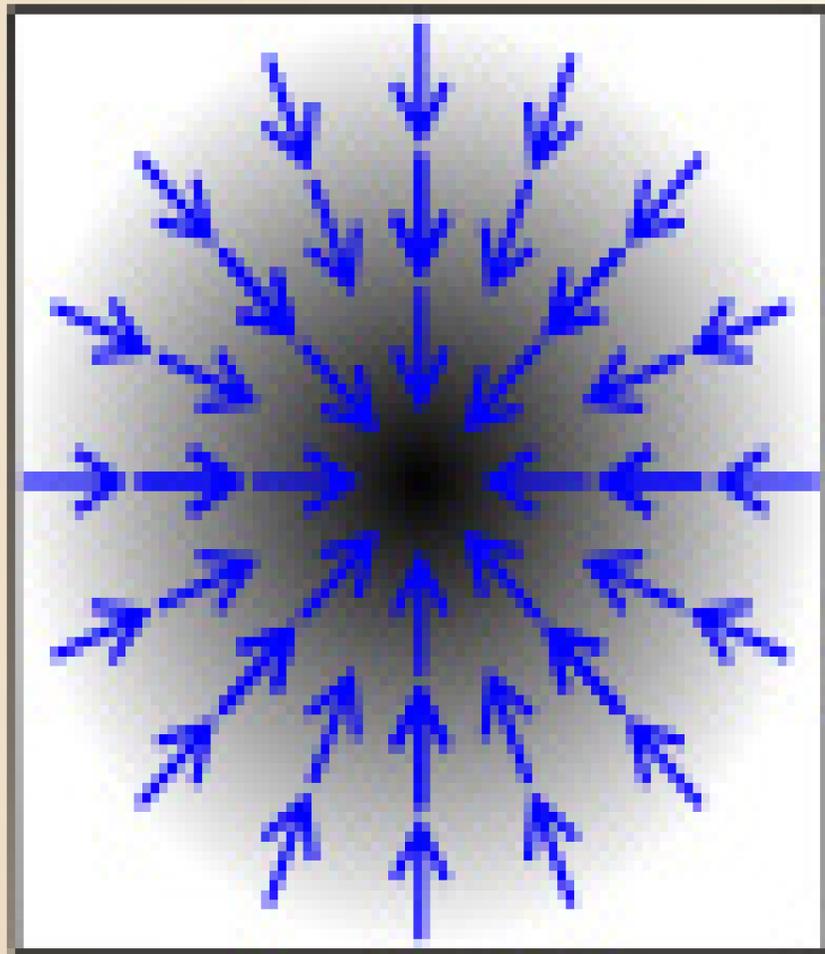
« La zone de convergence intertropicale (ZCIT), ou plus familièrement qualifiée par les marins de « Pot au noir », est une ceinture de quelques centaines de kilomètres du nord au sud, de zones de basses pressions entourant la Terre près de l'équateur. »

« Elle est formée par la convergence des masses d'air chaudes et humides anticycloniques provenant des tropiques portées par les vents alizés. Elle est caractérisée par des mouvements convectifs des cellules de Hadley qui conduisent à des formations importantes de cumulonimbus »



Annexe 2: Définition du gradient de pression

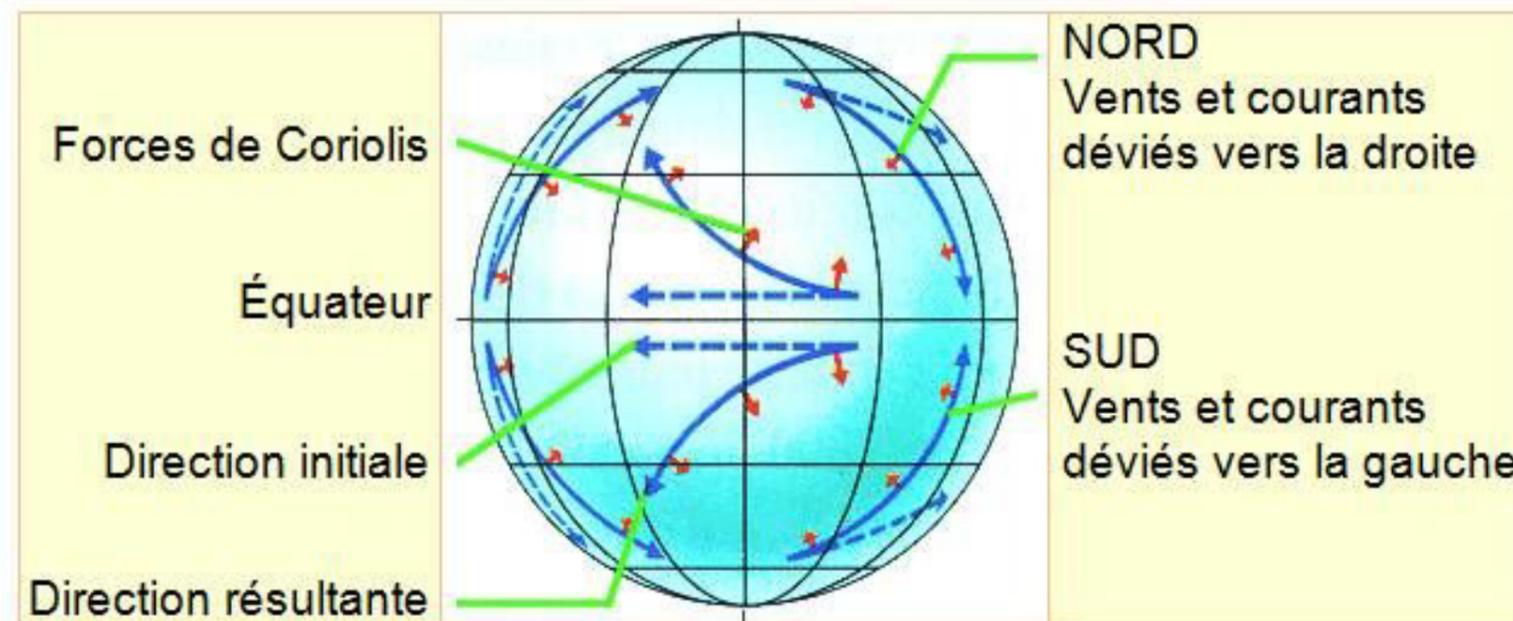
« le gradient de pression constitue l'une des principales forces qui agissent sur l'air et qui le font déplacer, produisant le vent. La force due au gradient de pression pointe des zones de haute pression vers les zones de basse pression. »



Annexe 3: Définition de la pseudo force de Coriolis

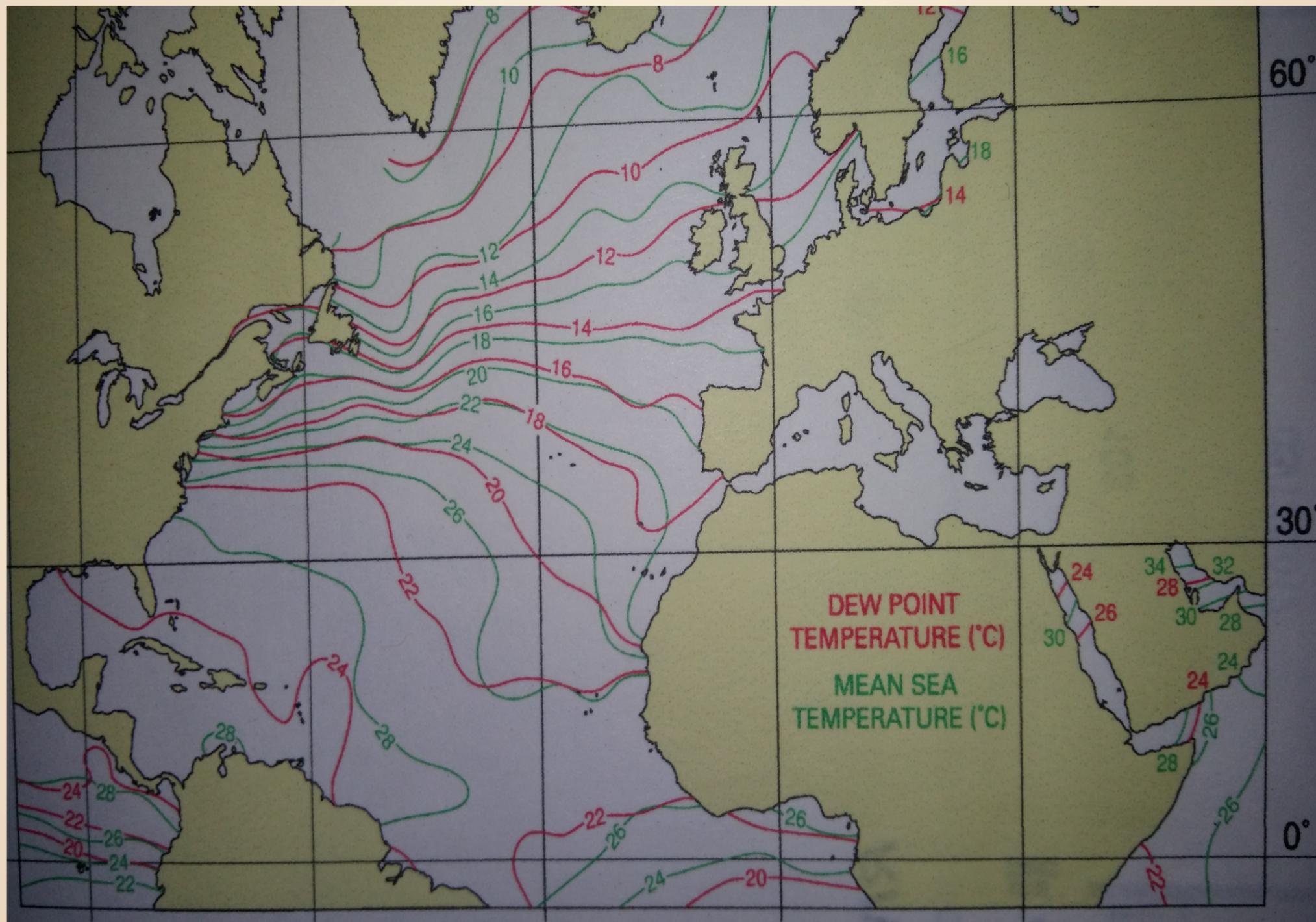
La force de Coriolis (encyclopédie Universalis)

« Du fait de la rotation de la Terre, la force de Coriolis dévie tout mouvement vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud. Elle a donc des implications énormes sur le déplacement des masses d'eau et des masses d'air : ainsi, la circulation générale des courants marins de surface prend la forme d'une boucle horaire dans l'hémisphère Nord et contre-horaire dans l'hémisphère Sud ; la trajectoire des alizés qui soufflent vers l'ouest de chaque côté de l'équateur se courbe vers le nord dans l'hémisphère Nord et vers le sud dans l'hémisphère Sud ; le sens de rotation des perturbations atmosphériques, des cyclones et des tornades suit le même principe. La force de Coriolis est nulle à l'équateur et augmente avec la latitude pour être maximale aux pôles. »



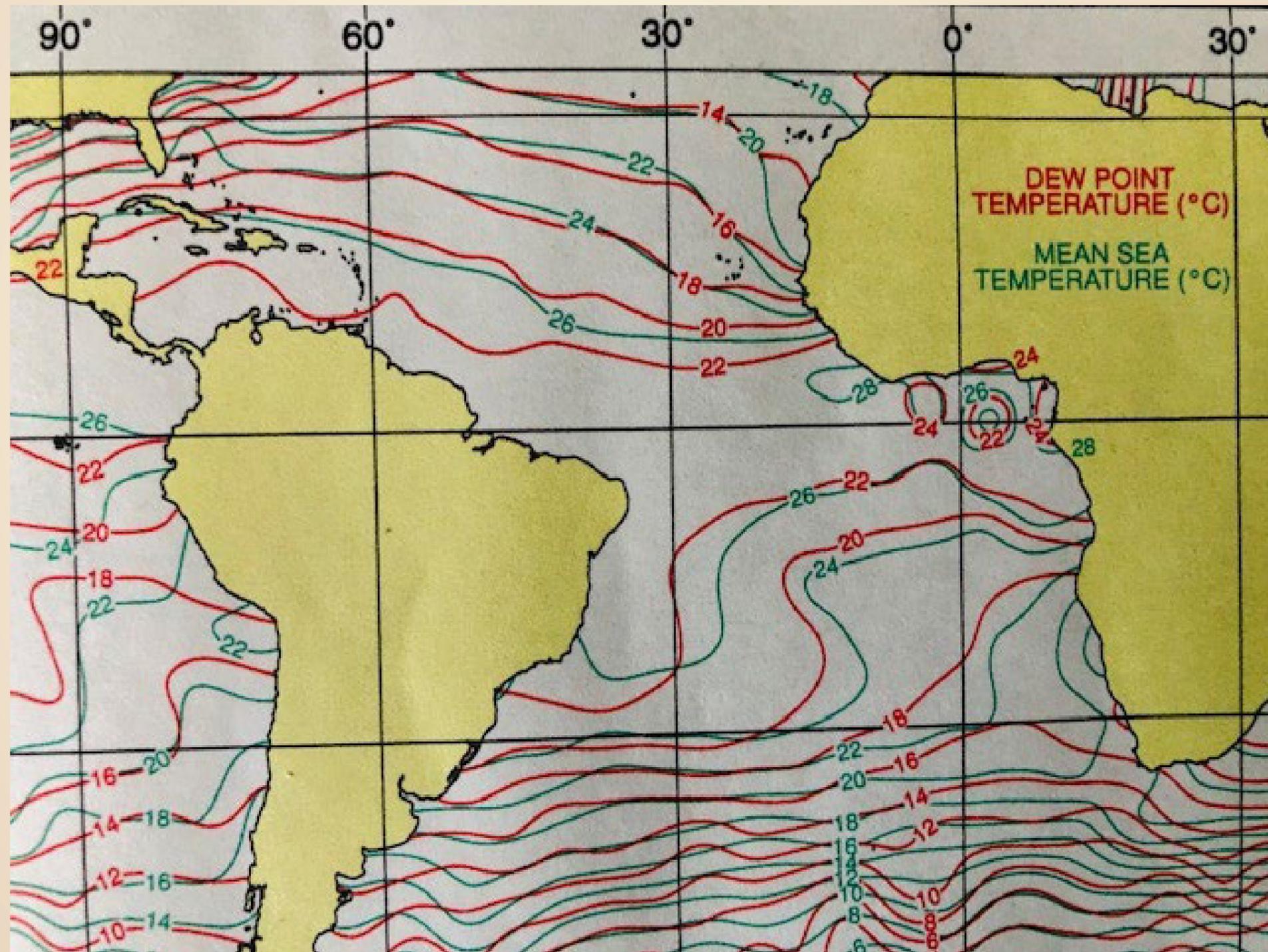
Annexe 4: Température de surface de l'océan Atlantique Nord en Août

Source carte Atlantique Nord de la Royal Navy (august 5124)



Annexe 5: Température de l'océan Atlantique Sud en janvier

Source carte Atlantique Sud de la Royal Navy (January 5125)



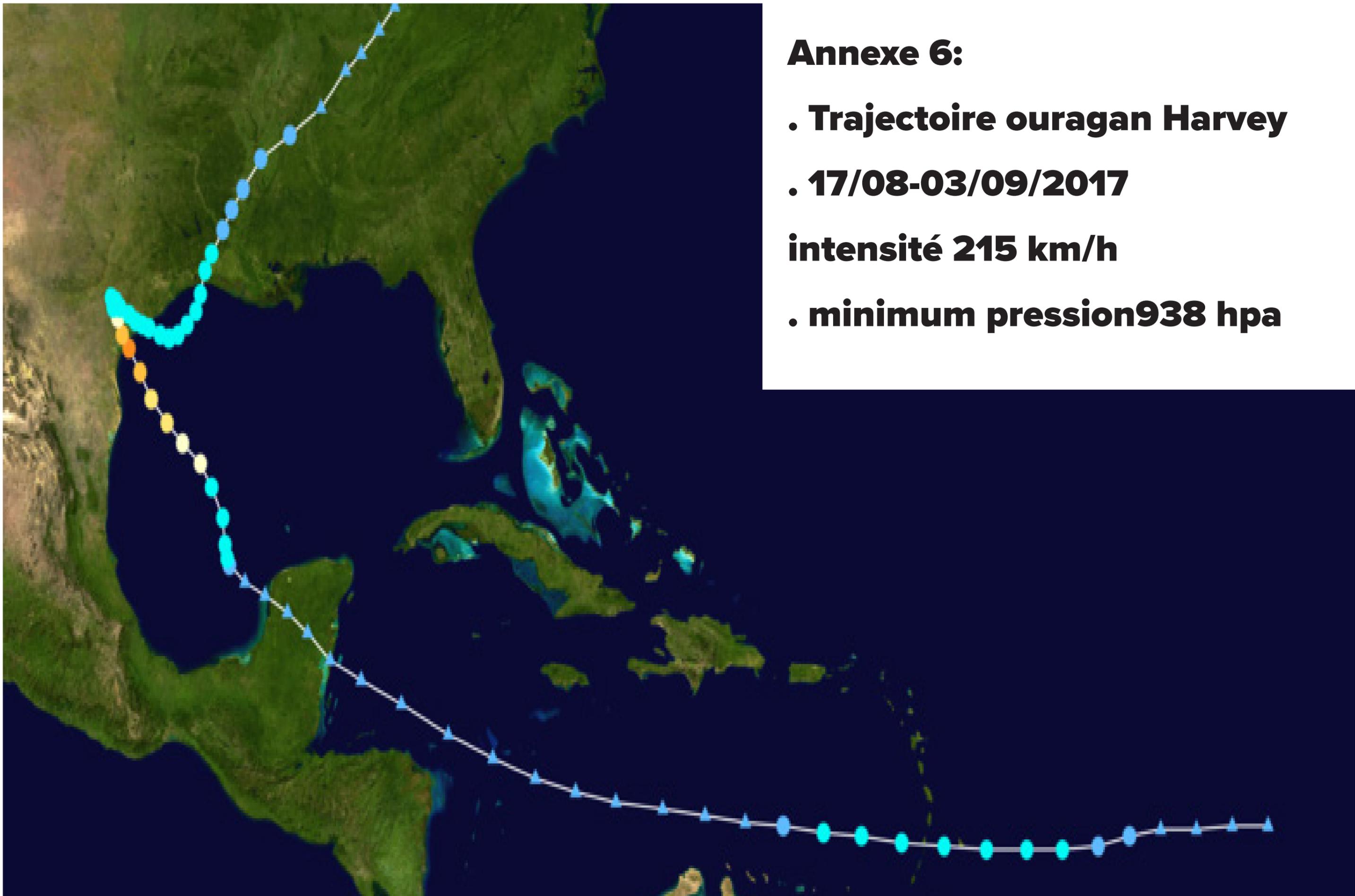
Annexe 6:

. Trajectoire ouragan Harvey

. 17/08-03/09/2017

intensité 215 km/h

. minimum pression 938 hpa



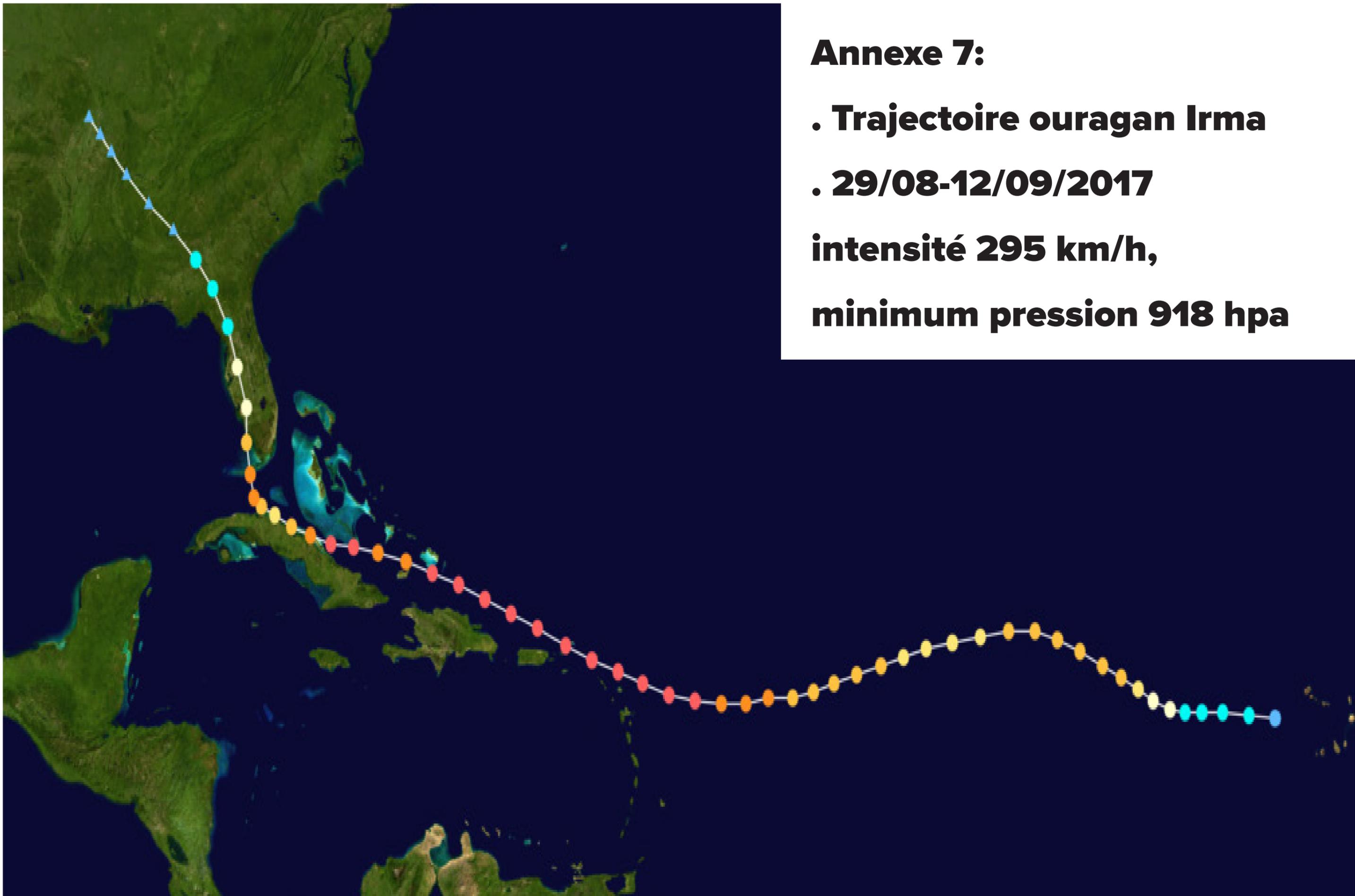
Annexe 7:

. Trajectoire ouragan Irma

. 29/08-12/09/2017

intensité 295 km/h,

minimum pression 918 hpa



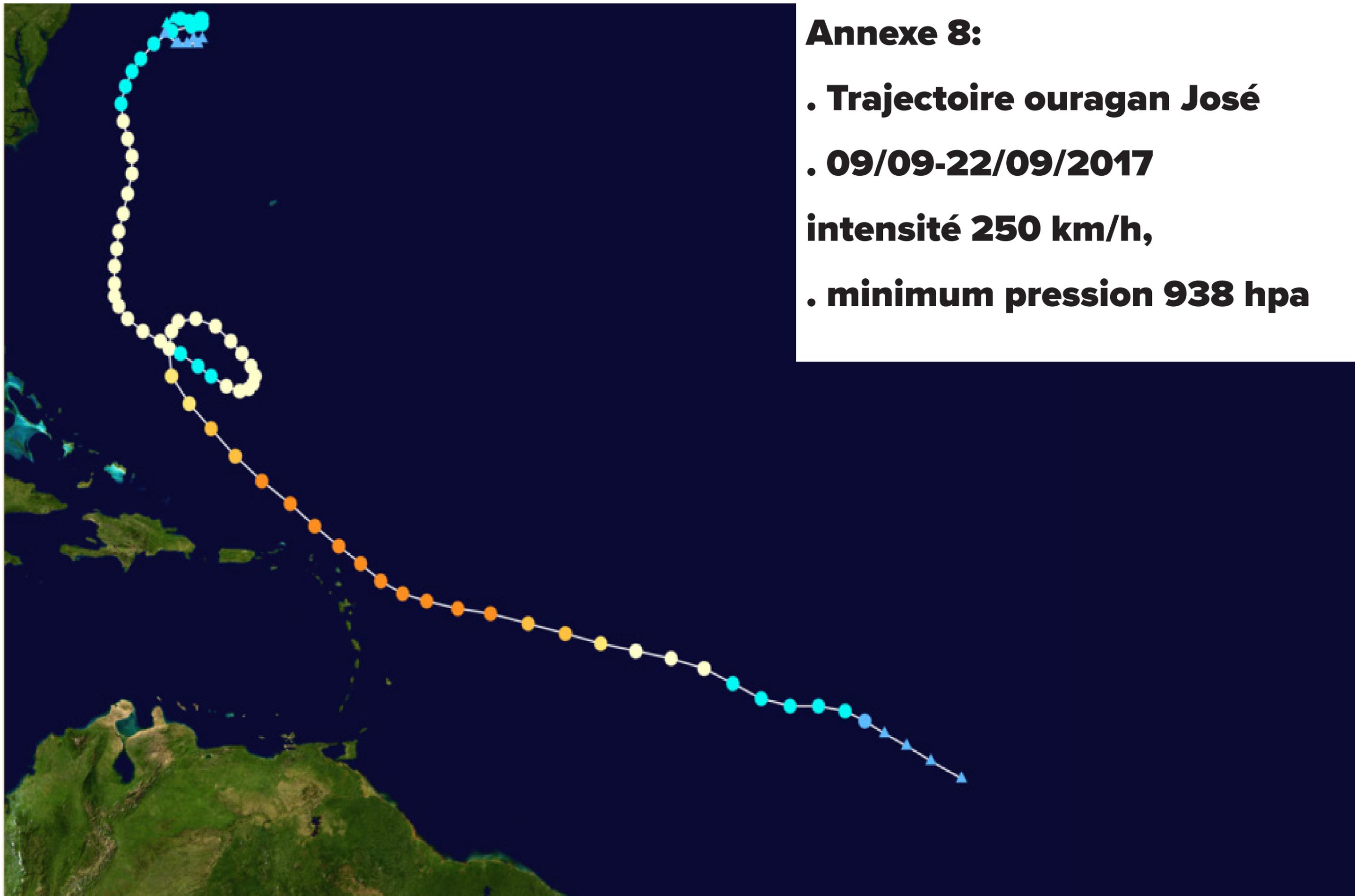
Annexe 8:

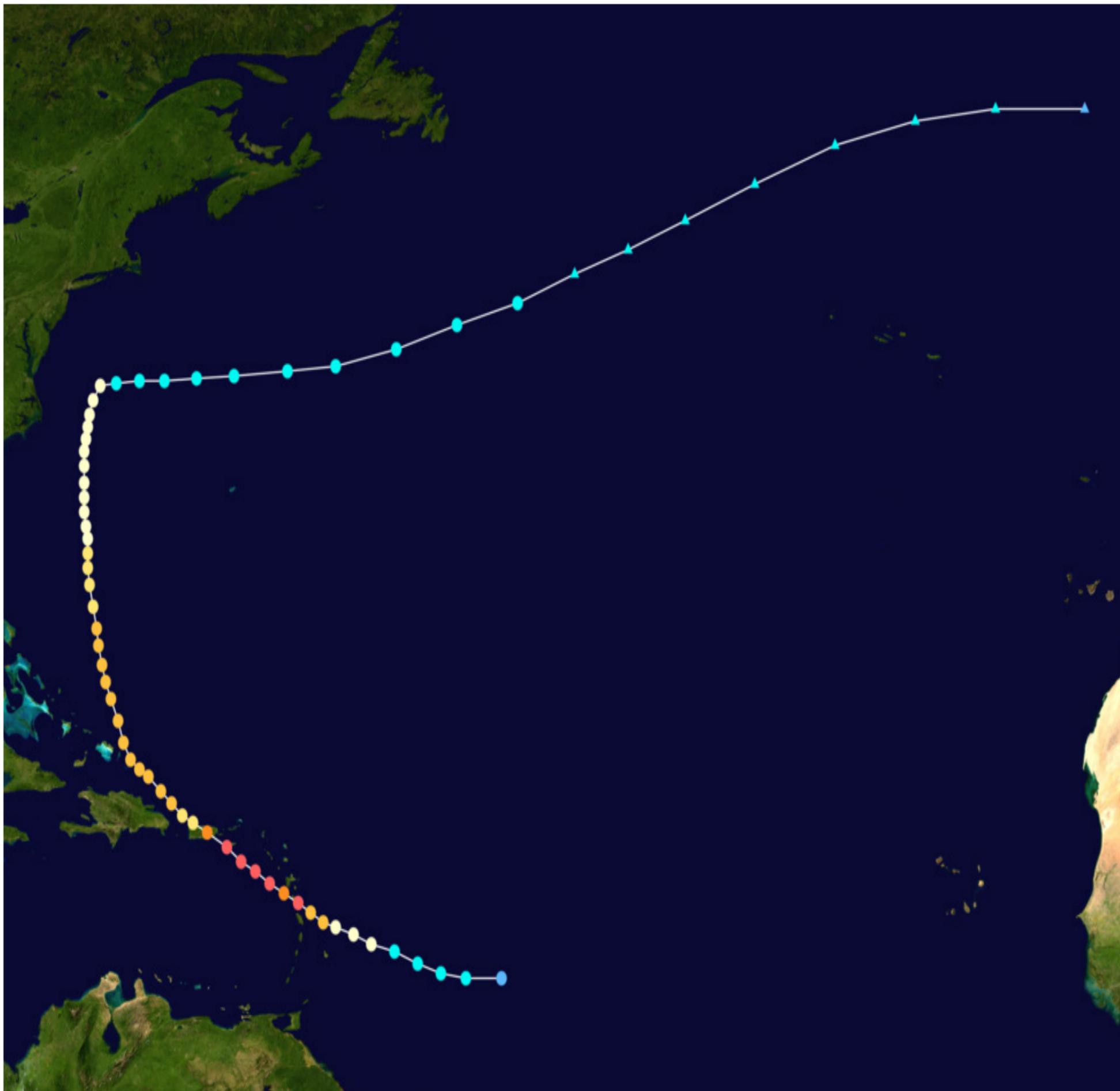
. Trajectoire ouragan José

. 09/09-22/09/2017

intensité 250 km/h,

. minimum pression 938 hpa





Annexe 9:

Trajectoire ouragan Maria

. 16/09-30/09/2017

intensité 280 km/h,

. minimum pression

908 hpa