

Houle et surcote cycloniques

Cyclonic swell and storm surge

Adrien Colomb

Prévisionniste Cyclone / TC forecaster

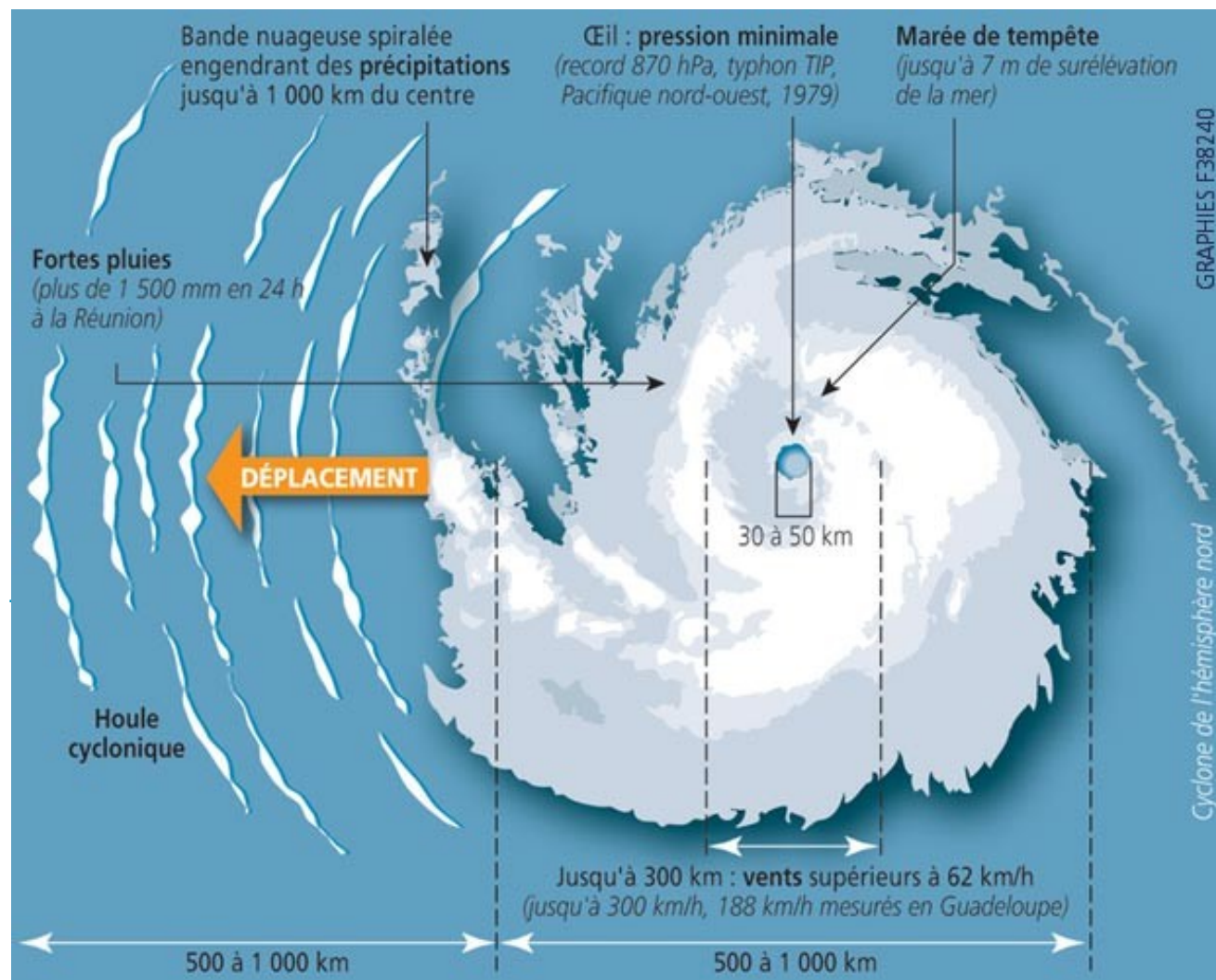
Stage OMM

OMM Cyclone training

04/11/19



**METEO
FRANCE**

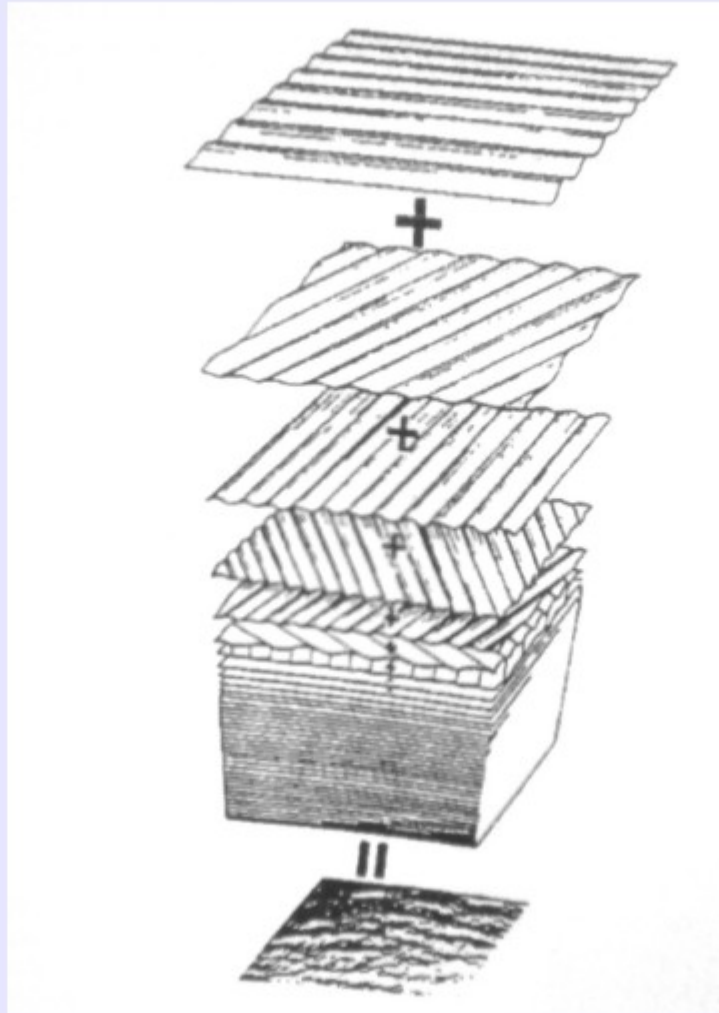


La Houle

Swell

État de la Mer
=
Superposition d'ondes
sinusoïdales

Théorie linéaire
d'Airy



Total sea state
=
Sinus waves overlay

Linear theory of
Airy

Mer du vent

Wind waves

Mer du vent (ou clapot) :

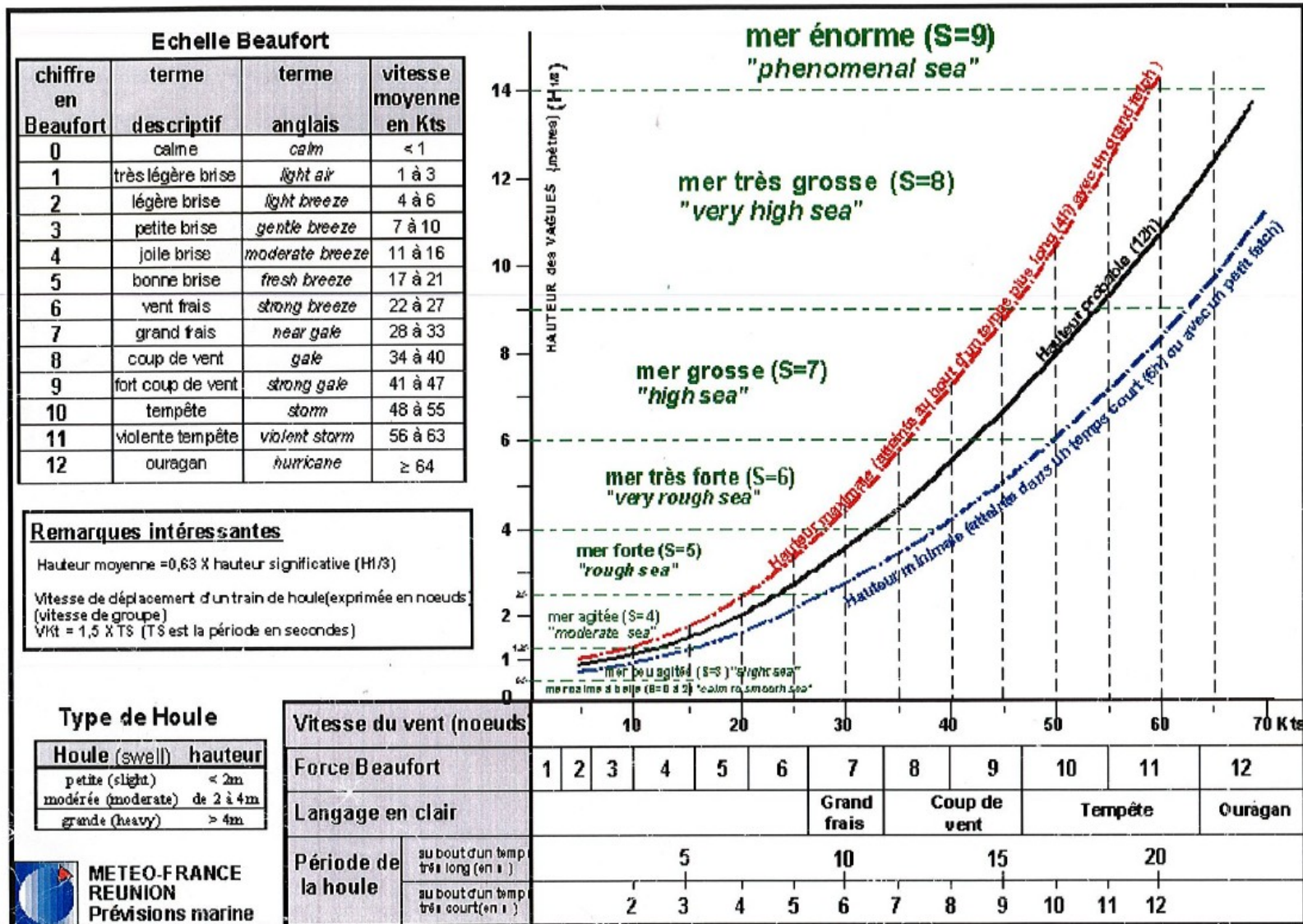
- **Vagues encore soumises à l'action du vent**
- **Aspect Chaotique**
- **Direction de propagation proche de celle du vent**

Wind waves :

- *Waves under wind action*
- *Chaotic aspect*
- *Propagation direction close to the wind direction*

Mer du vent

Wind waves



**METEO-FRANCE
REUNION
Prévisions marine**



**METEO
FRANCE**

Mer du vent

Wind waves

Information présente dans le BMS MARINE

Communicated through the MARINE WARNINGS FOR METAREA VIII (S)

OURAGAN 65/95 KT ET MER TRES GROSSE A ENORME DANS UN RAYON DE 50 MN AUTOUR DU CENTRE, S'ETENDANT JUSQUE 60 MN DANS LE DEMI-CERCLE SUD ET LE QUADRANT NORD-EST.

Extrait du BMS de JOANINHA, le 27/03/19 à 0000UTC

HURRICANE FORCE WINDS 65/95 KT AND VERY HIGH TO PHENOMENAL SEAS WITHIN A 50 NM RADIUS FROM THE CENTRE, EXTENDING UP TO 60 NM IN THE SOUTHERN SEMI-CIRCLE AND THE NORTH-EASTERN QUADRANT.

Snippet from JOANINHA's Hurricane warning, on the 27/03/19 0000UTC

La Houle

Swell

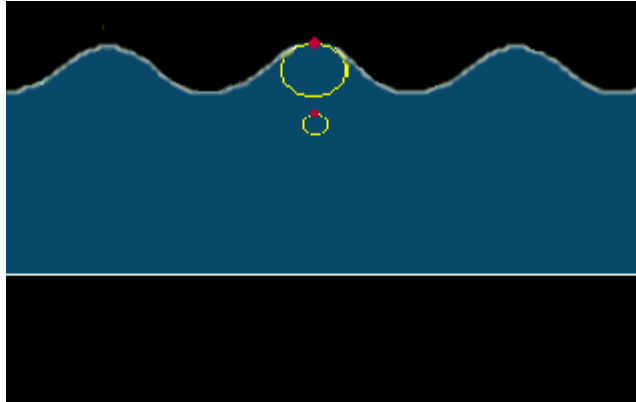


La houle cyclonique levée par COLINA (Janvier 93), Le Port (Réunion)

Cyclonic swell picked up by COLINA (January 93), Le Port (Réunion)

La Houle

Swell



La Houle est donc une onde, à ce titre elle a :

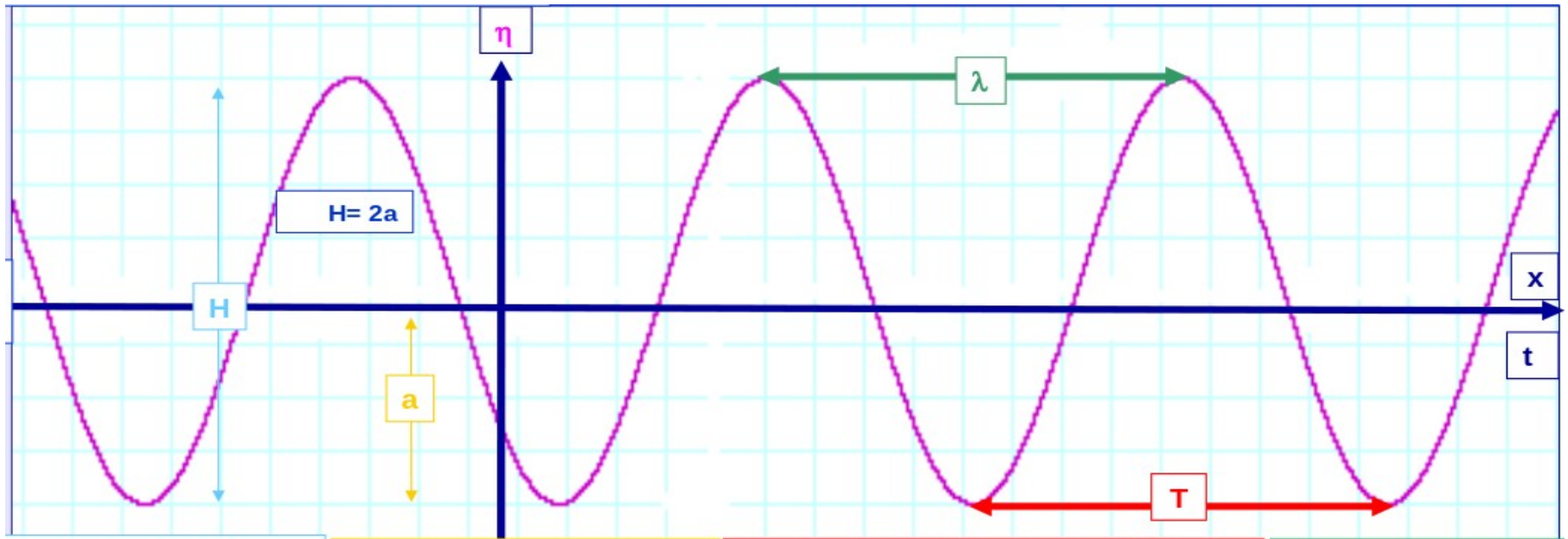
- Une période T
- Une amplitude (Hauteur/2)
- Une vitesse de propagation (proportionnelle à sa période en eaux profondes)

Swell is a wave, it is defined by :

- *A period T*
- *An amplitude (Height)*
- *A propagation speed (proportional to its period in deep waters)*

La Houle

Swell



La Houle est donc une onde, à ce titre elle a :

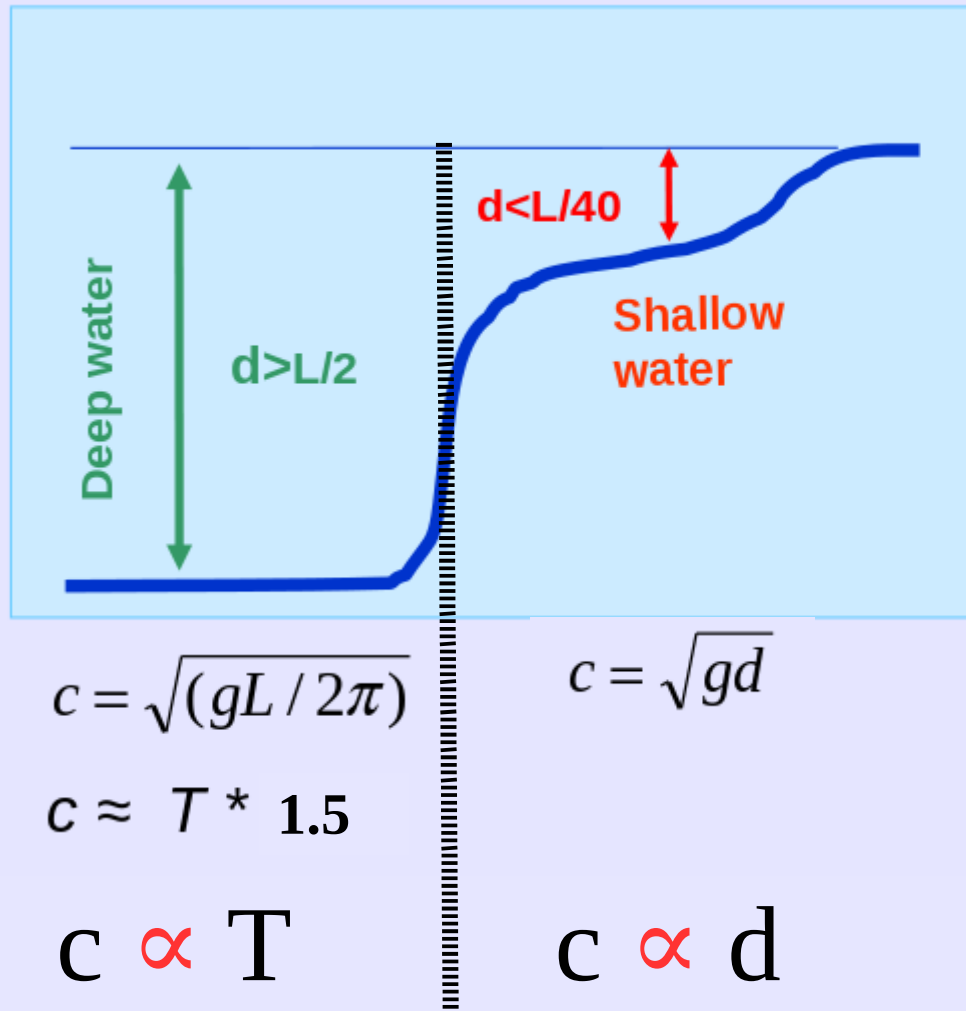
- Une période T
- Une amplitude (Hauteur /2)
- Une vitesse de propagation (proportionnelle à sa période en eaux profondes)

Swell is a wave, it is defined by :

- *A period T*
- *An amplitude (Height)*
- *A propagation speed (proportional to its period in deep waters)*

La Houle

Swell



- La propagation des vagues diffère suivant si elles sont en eau profonde ou en eau peu profonde.
- La variation de la vitesse de phase avec la longueur d'onde est appelée la relation de dispersion.
- *Waves propagation is different whether waves are in deep water or shallow water.*
- *Variation of wave speed with wavelength is called the dispersion relationship*

La houle, rappels théoriques

Swell, theory

Durée d'action : temps pendant lequel le vent souffle sur l'aire génératrice.

Wind duration : duration during which the wind blows over the generating area

FETCH : dimension de l'aire génératrice dans la direction du vent.

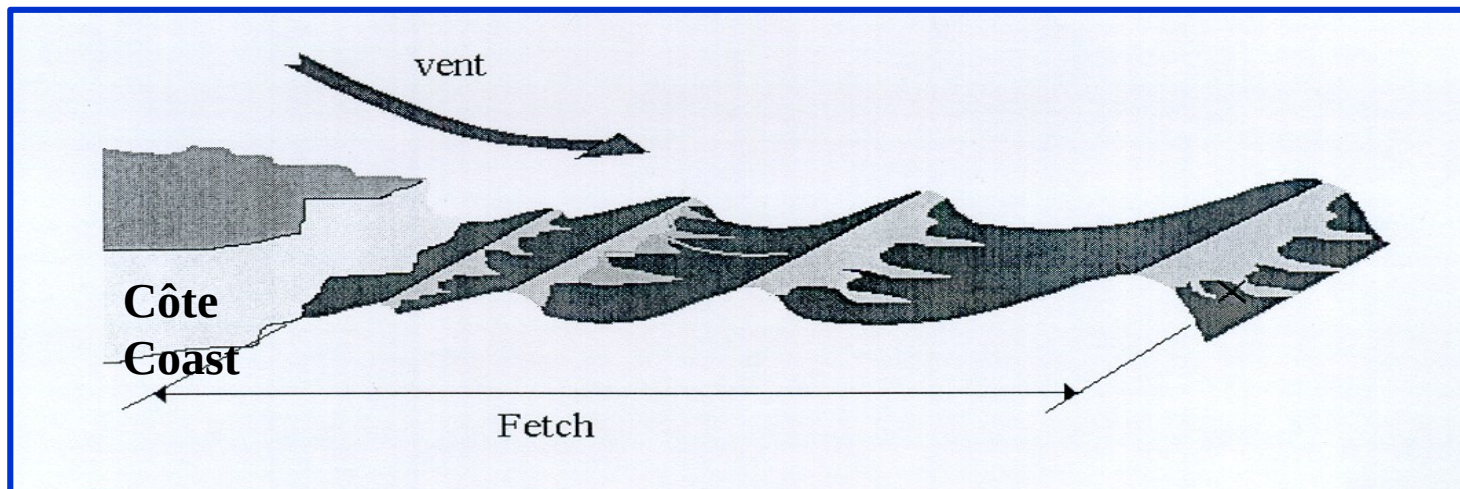
FETCH : length of the generating area in the direction of the wind.

Les caractéristiques des vagues sont donc fonction :

- de la vitesse du vent
- de sa durée d'action
- de la longueur de l'aire génératrice.

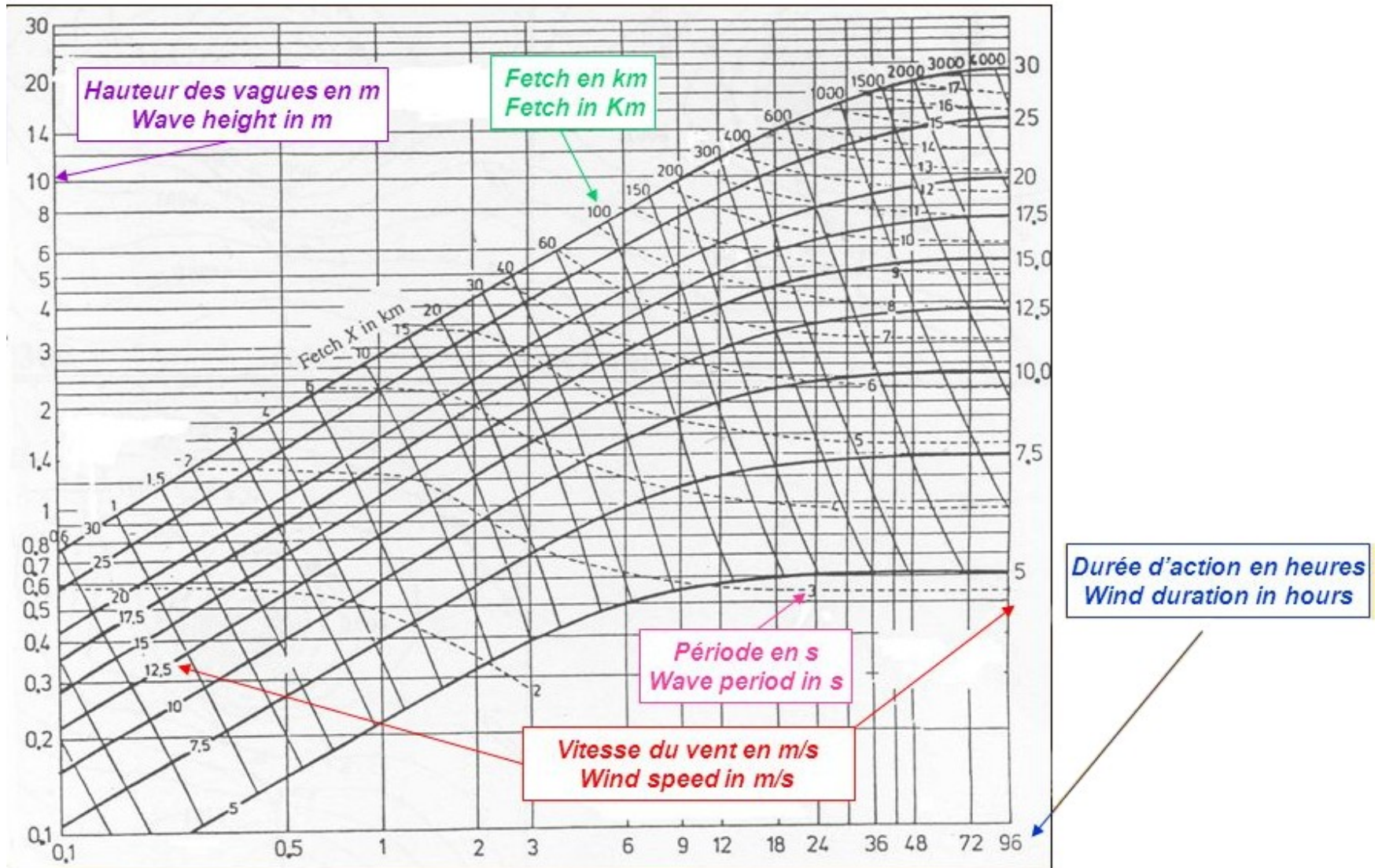
The waves characteristics depend on :

- Windspeed
- Wind duration
- Fetch size



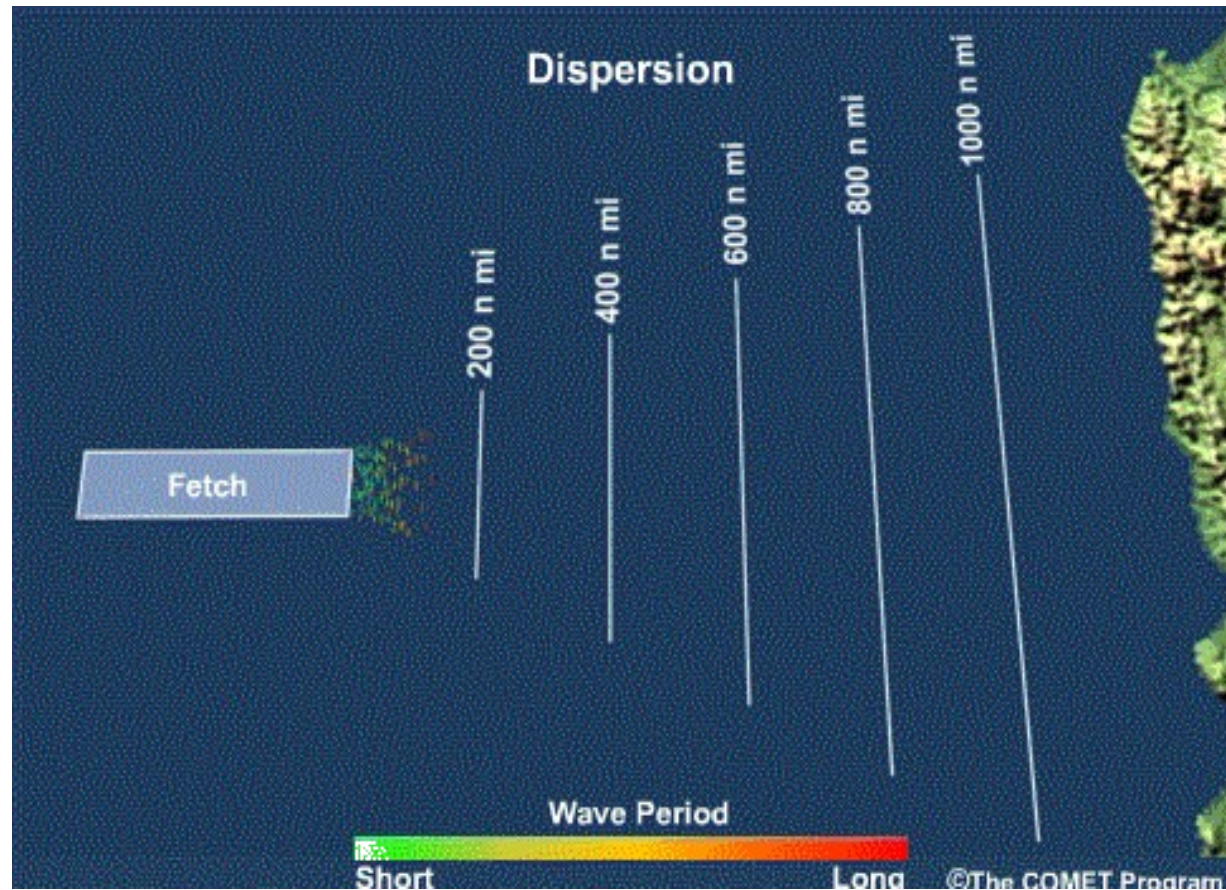
La houle, rappels théoriques

Swell, theory

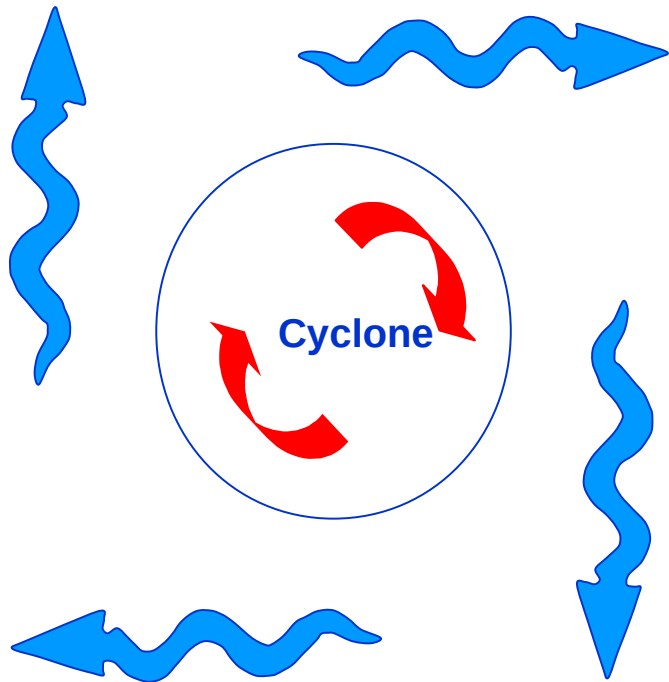


La houle, rappels théoriques

Swell, theory



Houle Swell



- Les vents tournent autour d'une dépression, mais la houle s'en échappe tangentiellement

The winds blow clockwise around a low, but the swell escapes tangentially

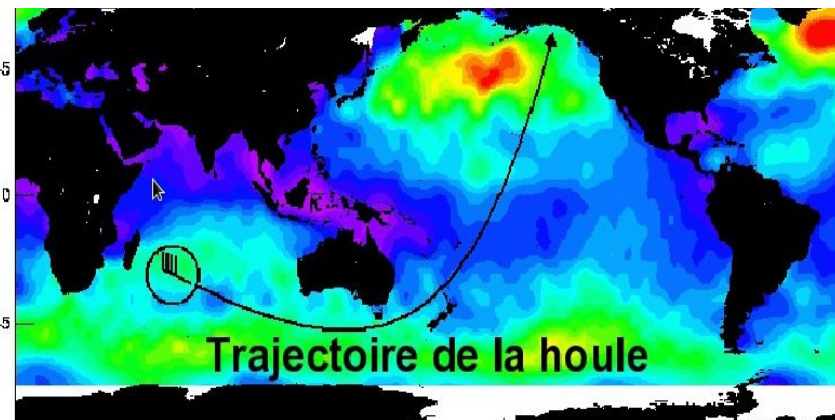
- Pourquoi ? *Why ?*

Les vagues sont des ondes, elles transportent de l'énergie et non de la matière : pas ou peu de force de Coriolis et propagation en ligne droite (sur les grands cercles).

Waves do not carry matter but energy : no or little Coriolis force and a straight-line propagation (on the Great circles).

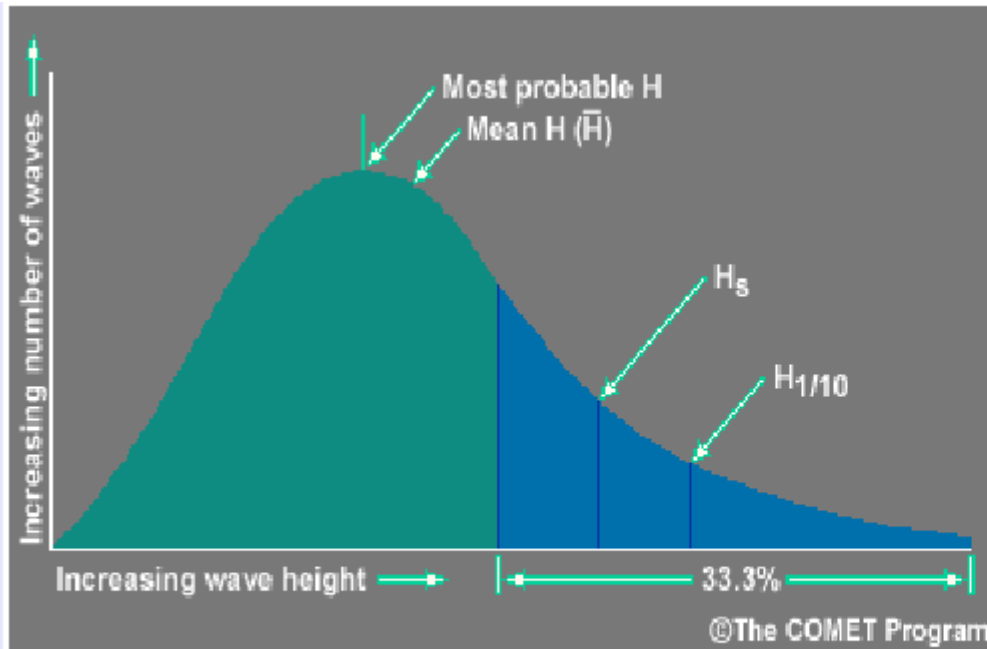
- La houle concerne donc des zones qui n'ont jamais été directement soumises aux vents de la dépression

Swell ends up impacting areas that have never underwent the winds of the low



La Houle

Swell



Mean H = Hauteur de vagues moyennes

$H_s = H_{1/3}$ = Hauteur significative

$H_{1/10}$ = Hauteur moyenne du dixième des vagues les plus hautes

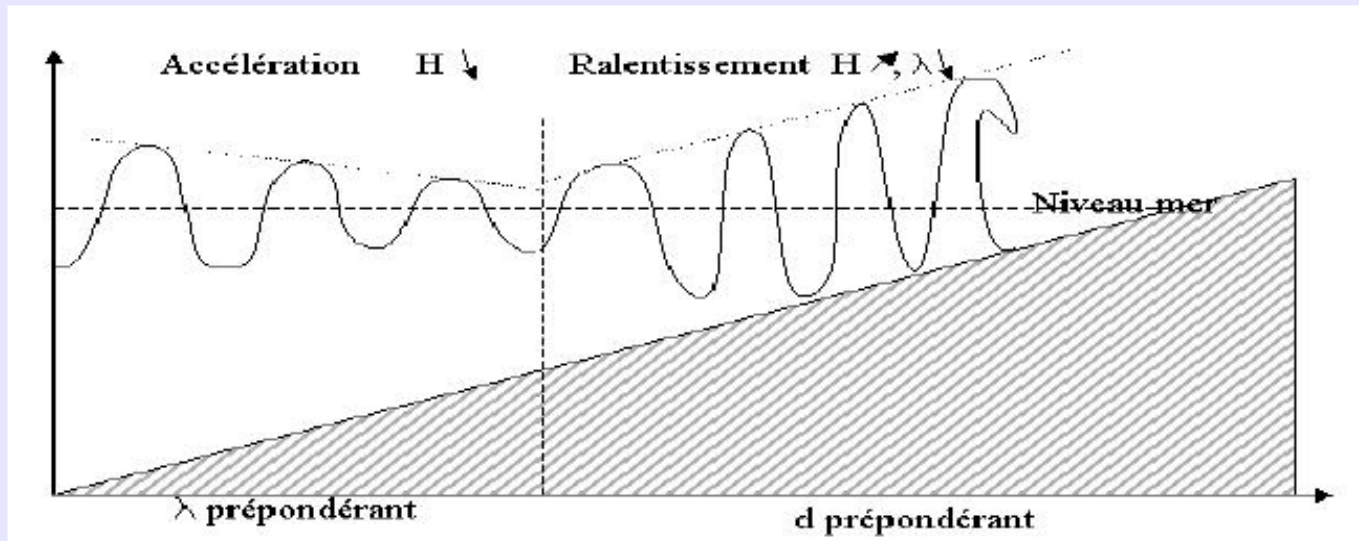
Mean H = Average wave height

H_s or $H_{1/3}$ = Significant wave height

$H_{1/10}$ = Highest one-tenth wave height

La Houle

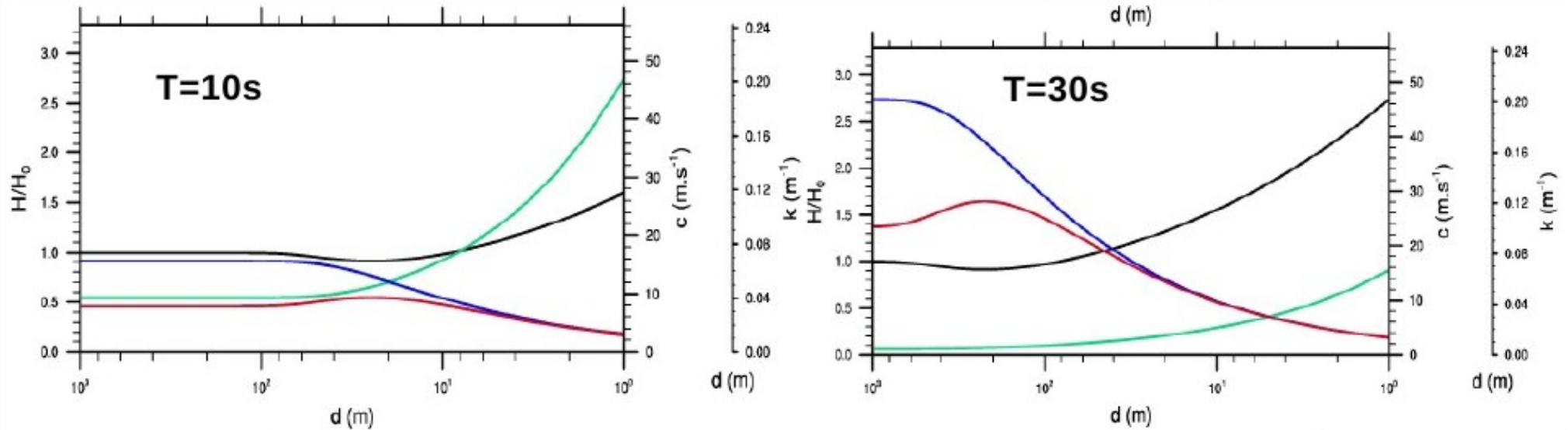
Swell



- Le flux d'énergie perpendiculaire à la côte est constant.
 - En eau intermédiaire, la vitesse de groupe augmente ($c_g \propto c$) > H diminue.
 - En eau peu profonde, $c_g = c \propto \sqrt{d}$. La vitesse diminue > H augmente avant déferlement
 - Ceci explique les surélévations dévastatrices qui surviennent dans le cas des tsunamis.
- Energy flux perpendicular to the coast is constant.
 - When waves arrive in middle water, speed increases >> H decreases.
 - In shallow water, speed decreases >> H increases before breaking
 - This phenomena explains devastating elevations in tsunamis.

La Houle

Swell



Coefficients de levage (noir), vitesses de phase (bleu) et de groupe (rouge), nombre d'onde (vert), pour des ondes de période $T = 10$ s (haut) et $T = 30$ s (bas).

- Importance de la période des vagues
- Plus T est grand, plus le levage est important

- The swell period matters !
- The greater the wave period, the greater the shoaling

La Houle

Swell



Spilling

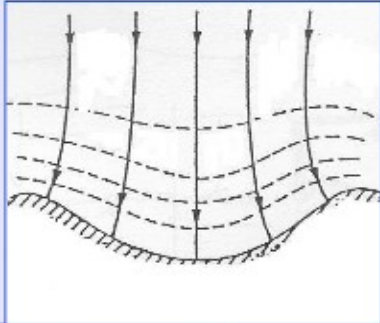
Plunging

Surging

Types de déferlement
Types of breakers

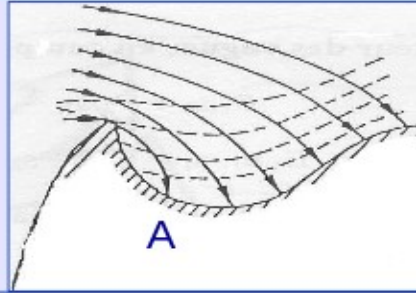
La Houle

Swell



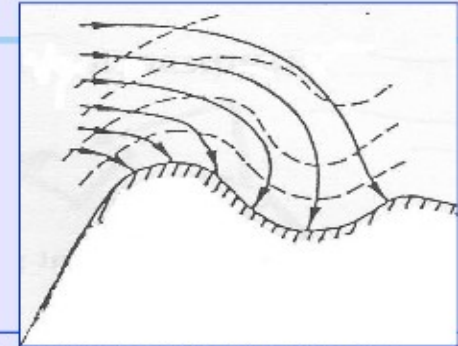
Peu de déviation vers l'extérieur.

Small deviation towards the exterior



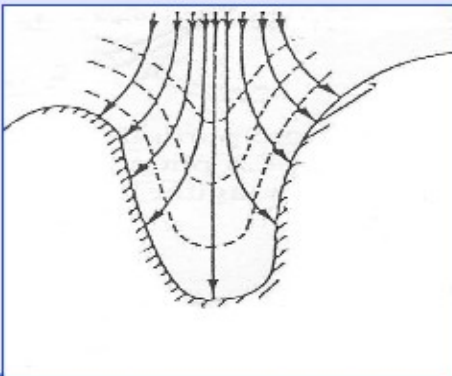
Vagues dépassant le cap pointu sans réfraction importante. Déferlement à partir de A

Waves passing the pointed cape without big refraction ; breaking starts at A point.



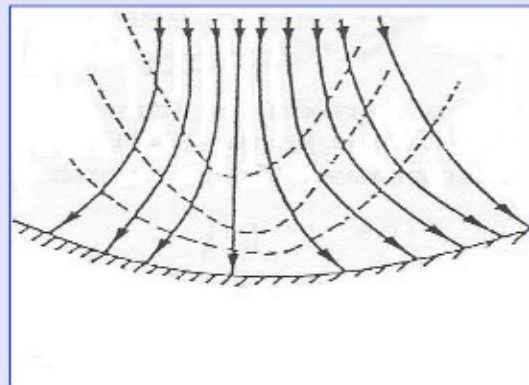
Avec un cap arrondi, les vagues déferlent sur toute la côte.

With the rounded cape, waves break on all the coast.



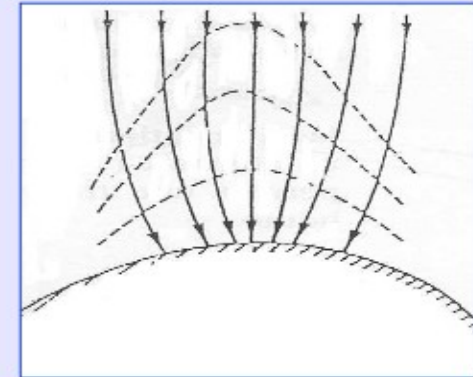
Crêtes de plus en plus étirées au fur et à mesure que les vagues pénètrent dans le goulet.

The more the waves get into the narrows, the more the crests are elongated.



Réfraction vers l'extérieur de la vallée sous-marine, diminution du déferlement.

Refraction towards the submarine valley and decrease of the breaking.



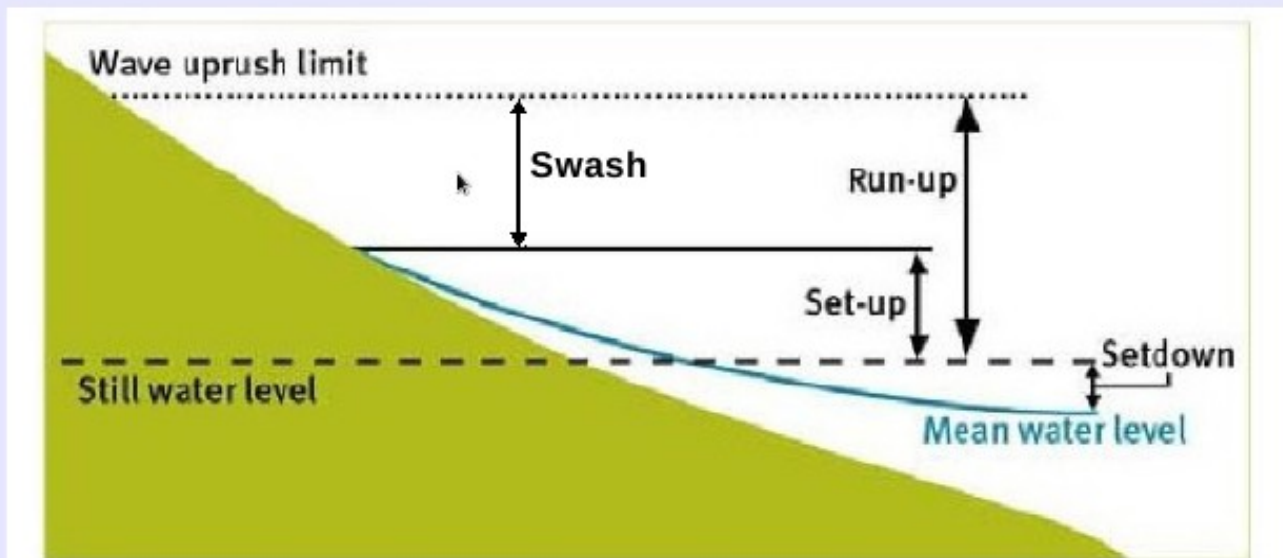
Réfraction vers l'intérieur de la crête sous-marine ; augmentation du déferlement.

Refraction towards the submarine crest ; increase of the breaking.

La Houle

Swell

- Quand les vagues déferlent sur une plage, elles produisent une surcote, une montée du niveau de la mer moyen au-dessus du niveau qu'aurait la mer au repos
- Par conservation de la masse, une zone de décote, où le niveau de la mer moyen diminue, apparaît conjointement.
- *When the waves break on the coast, they product a set-up*
- *At the same time, a set-down area exists offshore*



La Houle

Swell

Crossed swells, Phare des Baleines (île de Ré), Michel Griffon



Mer croisée au Phare des Baleines (île de Ré), Michel Griffon

Houle Cyclonique

Cyclonic swell



- En eau profonde, la vitesse théorique de la houle est donnée par :

In deep waters, the theoretical wave speed is given by :

$$C = 1.5 T \text{ m/s}$$

- La houle étant une vague de période longue, elle se déplace plus vite que le cyclone.

With their long period, the swell waves usually travel faster than the cyclone.

- Une forte houle est donc perceptible à l'avant du cyclone (jusqu'à 800 km de son centre).

A strong swell is thus felt ahead of the cyclone (up to 800km from the center)

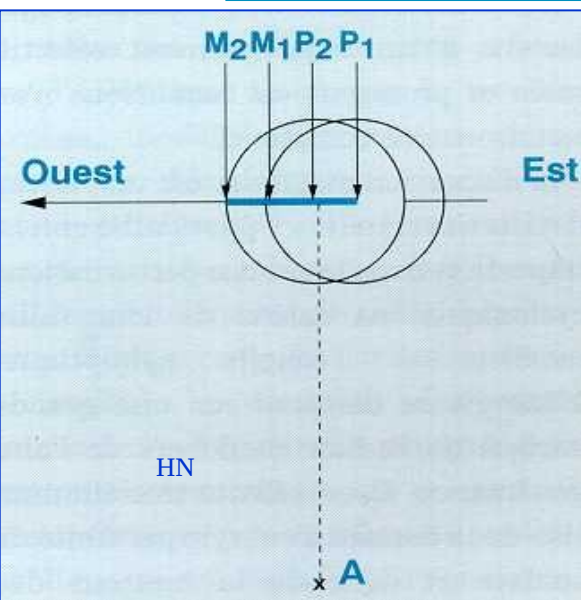
- La houle cyclonique est surtout susceptible de causer des dégâts par déferlement sur le littoral.

The cyclonic swell mainly causes damage through surging over the coastline

La mer, le cas des cyclones tropicaux

- Cas cyclonique, complexités liées à
 - *rotation des vents*
 - *variation d'intensité des vents*
 - *Trajectoire (cap et vitesse)*
- Dans un cyclone tropical, zone de violente tempête géographiquement très limitée (« fetch » court).
 - *Vagues s'échappent avant de s'être pleinement développées,*
 - *H1/3 reste souvent inférieur à 10 m.*
- Toutefois, si un cyclone se déplace à une certaine vitesse, il peut accompagner ces vagues sur un temps plus long et leur permettre ainsi de continuer à se développer (fetch considérablement augmenté).
- In the cyclonic case, complex interactions with :
 - *Wind rotation*
 - *Variations of wind strength*
 - *Track (bearing and speed)*
- In a tropical cyclone, small area of storm-force winds (short fetch) :
 - *Waves escapes before being completely formed*
 - *H1/3 often remains lower than 10 m.*
- However, if a cyclone tracks at a certain speed, it can catch up with its swell and accompany it over a longer time, allowing a full development and thus maximum height thanks to the augmented fetch

La mer, le cas des cyclones tropicaux

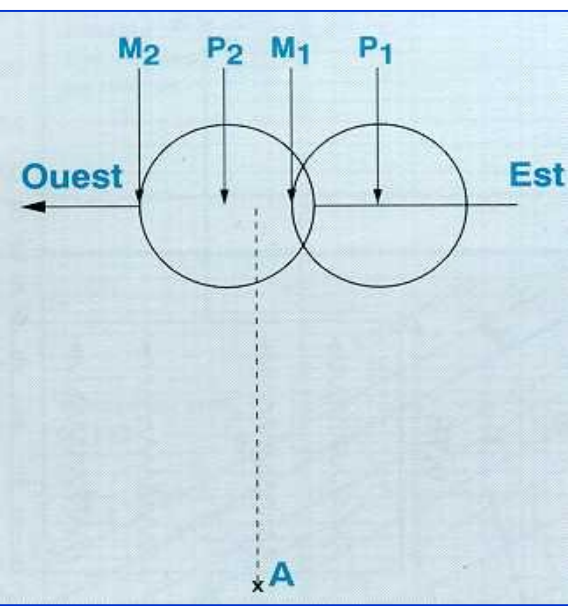


Déplacement lent : Les enveloppes se recouvrent largement ; sur une même zone, les vents gardent la même direction pendant 12 heures ou plus.

La houle générée sera suffisamment importante pour se propager loin du cyclone.

Low speed : the envelopes are largely overlapping : the winds keep the same direction over the same area during 12 hours or more. The generated swell will be able to propagate far from the system.

Tracé de 12 heures en 12 heures de l'enveloppe des vents supérieurs à 34 nœuds permet de déterminer la largeur du front de tempête.



Déplacement rapide : Les enveloppes se recouvrent peu ou pas du tout. Vents du nord remplacés rapidement par vent du sud, et n'ont pas le temps de générer une houle suffisante pour atteindre A.

High speed : the envelopes do not overlap : northerly winds are quickly replaced by southerly winds and do not have enough time to generate a high-enough swell to reach point A.

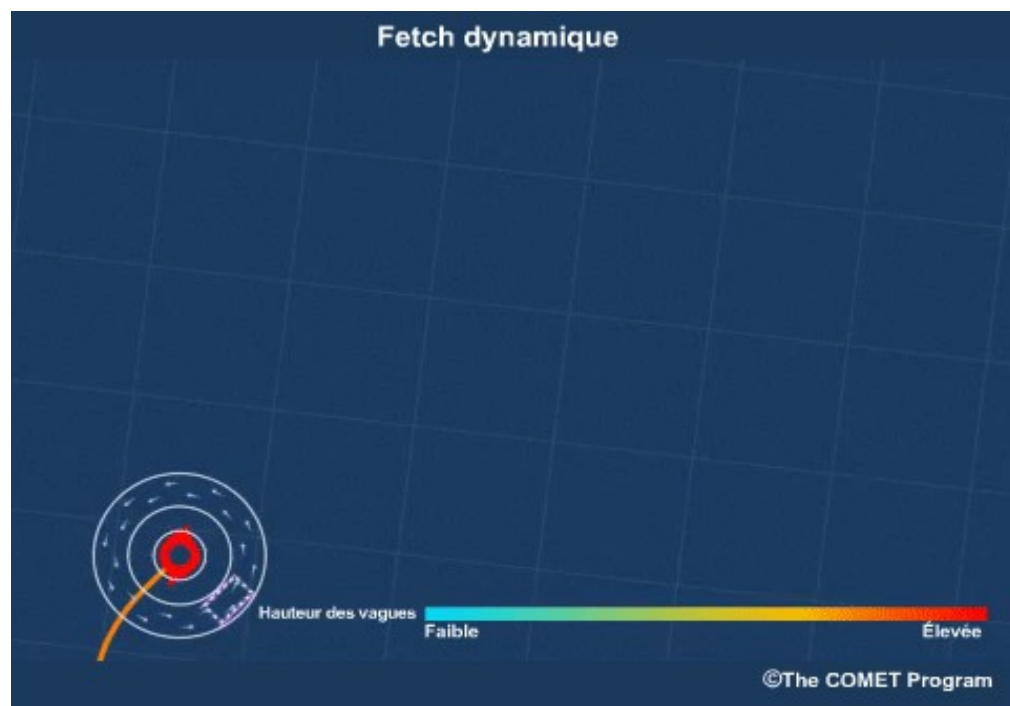
Le cas des cyclones tropicaux

Tropical cyclones

Houle
Swell

Le fetch « dynamique »

Dynamic fetch

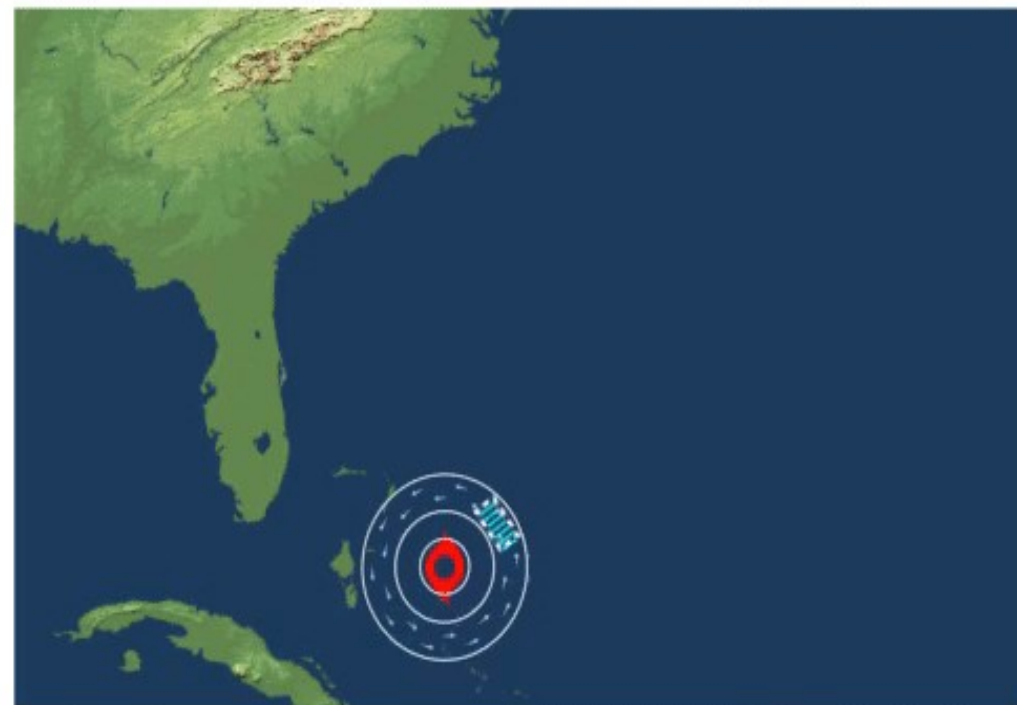


Le cas des cyclones tropicaux

Tropical cyclones

Houle
Swell

Croissance des vagues dans un fetch dynamique



Hauteur des vagues

Faible

Élevée

©The COMET Program

Croissance des vagues dans un fetch dynamique



Hauteur des vagues

Faible

Élevée

©The COMET Program



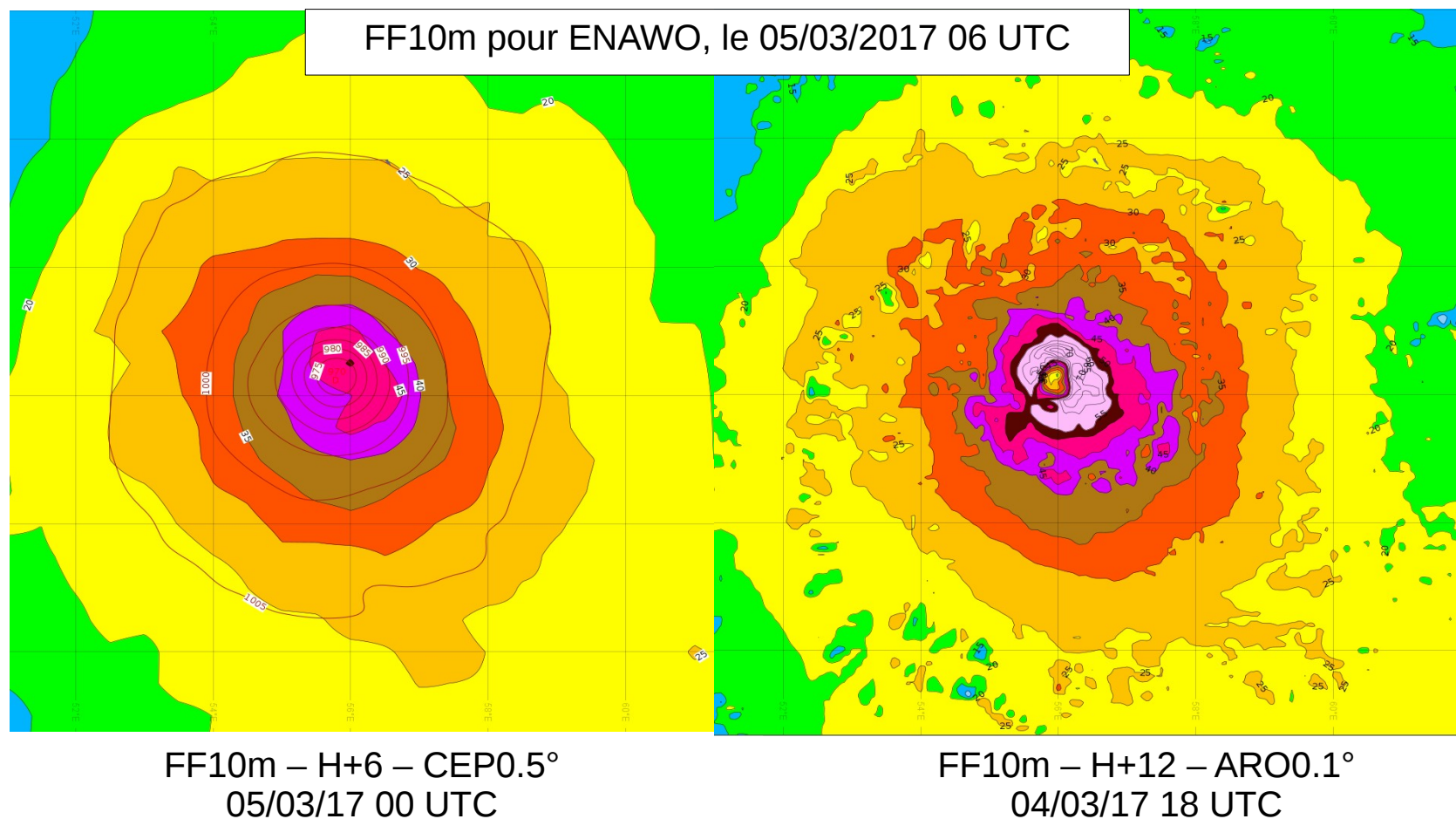
AROME OI
(+48h)

IFS
(+120h)

ARPEGE
(+102h)

MFWAM

Modèle de vagues hauturier
Deep-Sea wave model



Le choix modèle se base sur la meilleure représentation des rayons de vents, ce qui est plus important que l'intensité max.

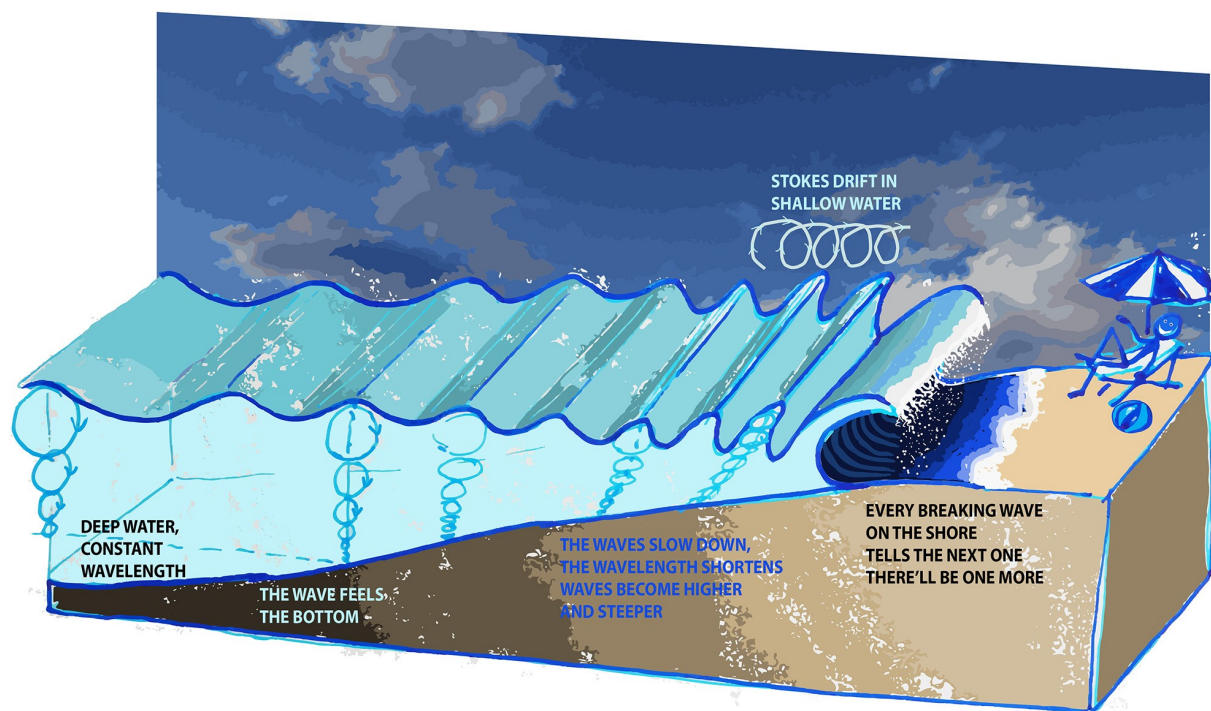
The model choice is based on the best rendering of the winds radii, which is more important than the simulated max intensity.

Les paramètres à surveiller dans le modèle sont :

- La hauteur de la houle (son énergie)
- La direction de la houle -> déterminer les zones côtières les plus exposées
- La période la houle -> le levage est d'autant plus important

Parameters to be monitored :

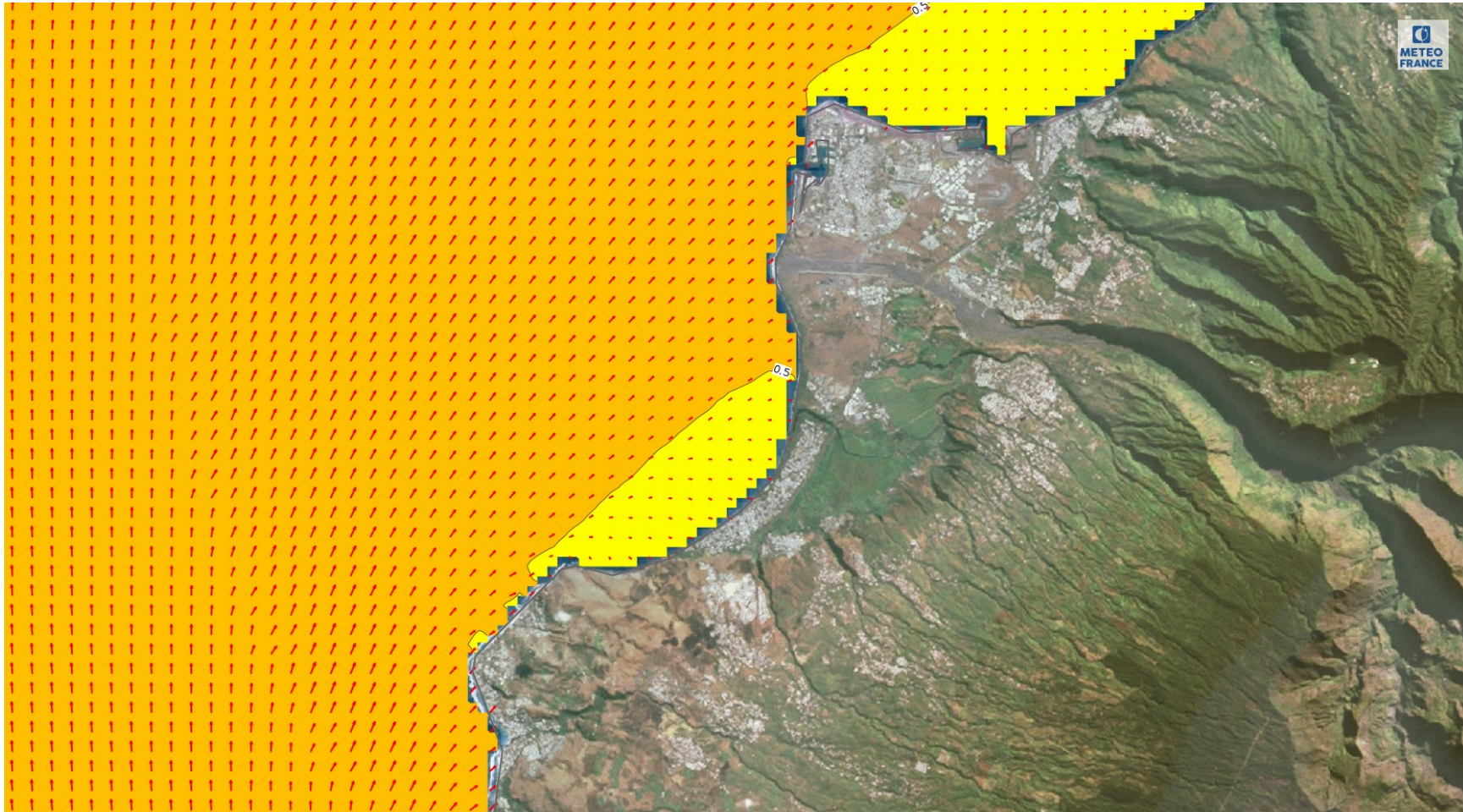
- *Swell height (its energy)*
- *Swell direction to determine the most exposed coastal regions.*
- *Swell period : the higher the period, the more important the shoaling*



Prévision numérique

Numerical forecast

Houle
Swell



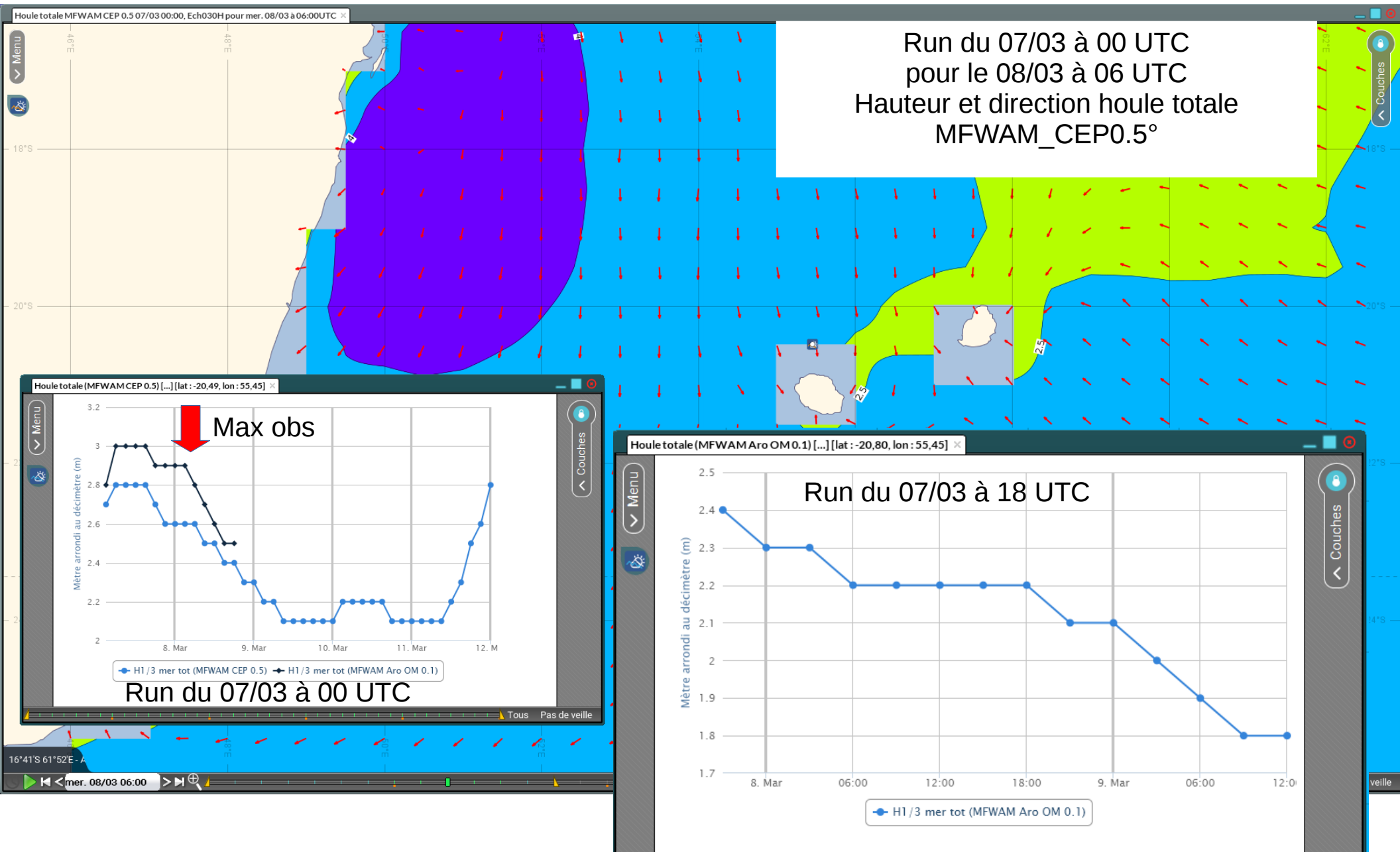
L'apport de WW3 : une résolution impressionnante... à condition qu'AROME soit bien calé en trajectoire et extensions !

WW3 advertismment : fine simulations... but first, AROME has to represent well the track and wind radii !

Prévision numérique

Numerical forecast

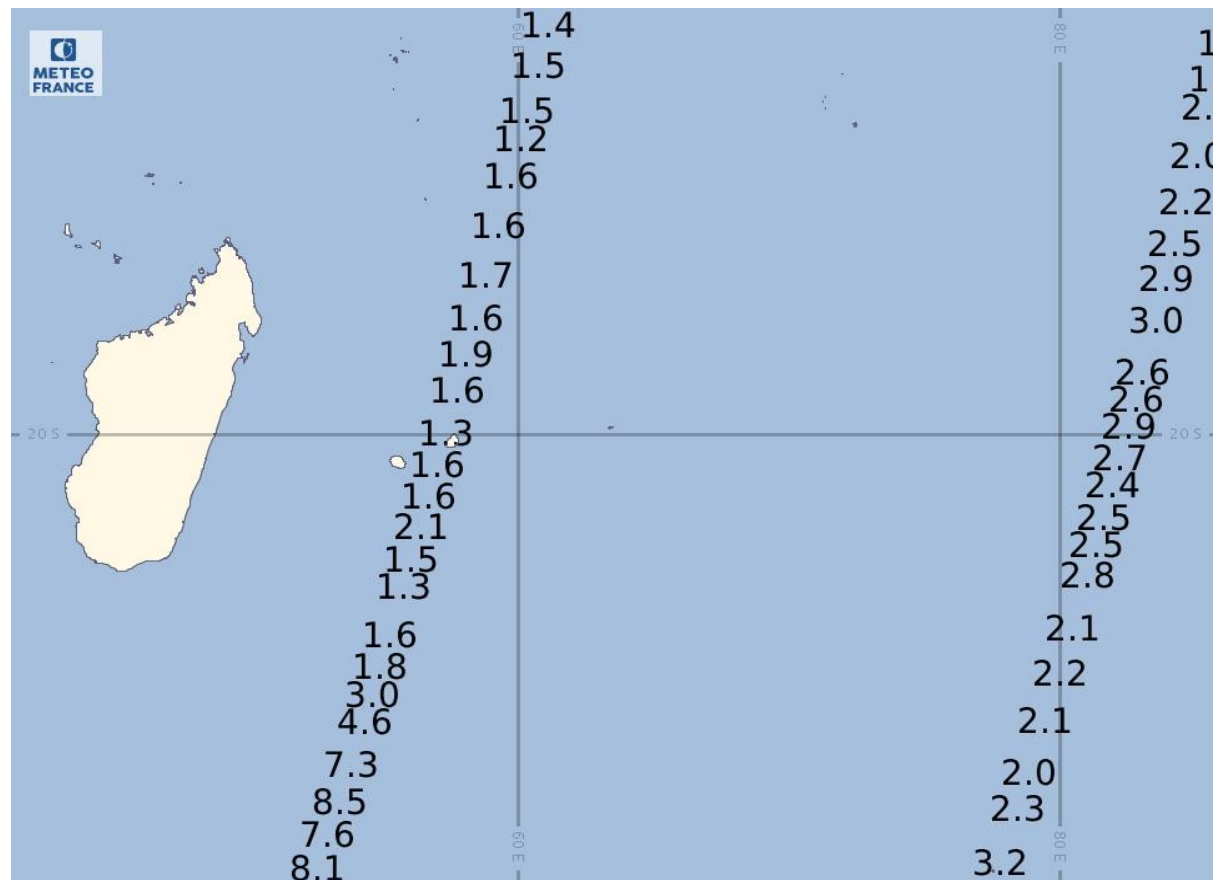
Houle
Swell



Prévision numérique

Numerical forecast

Houle
Swell



Un challenge : le manque d'observations

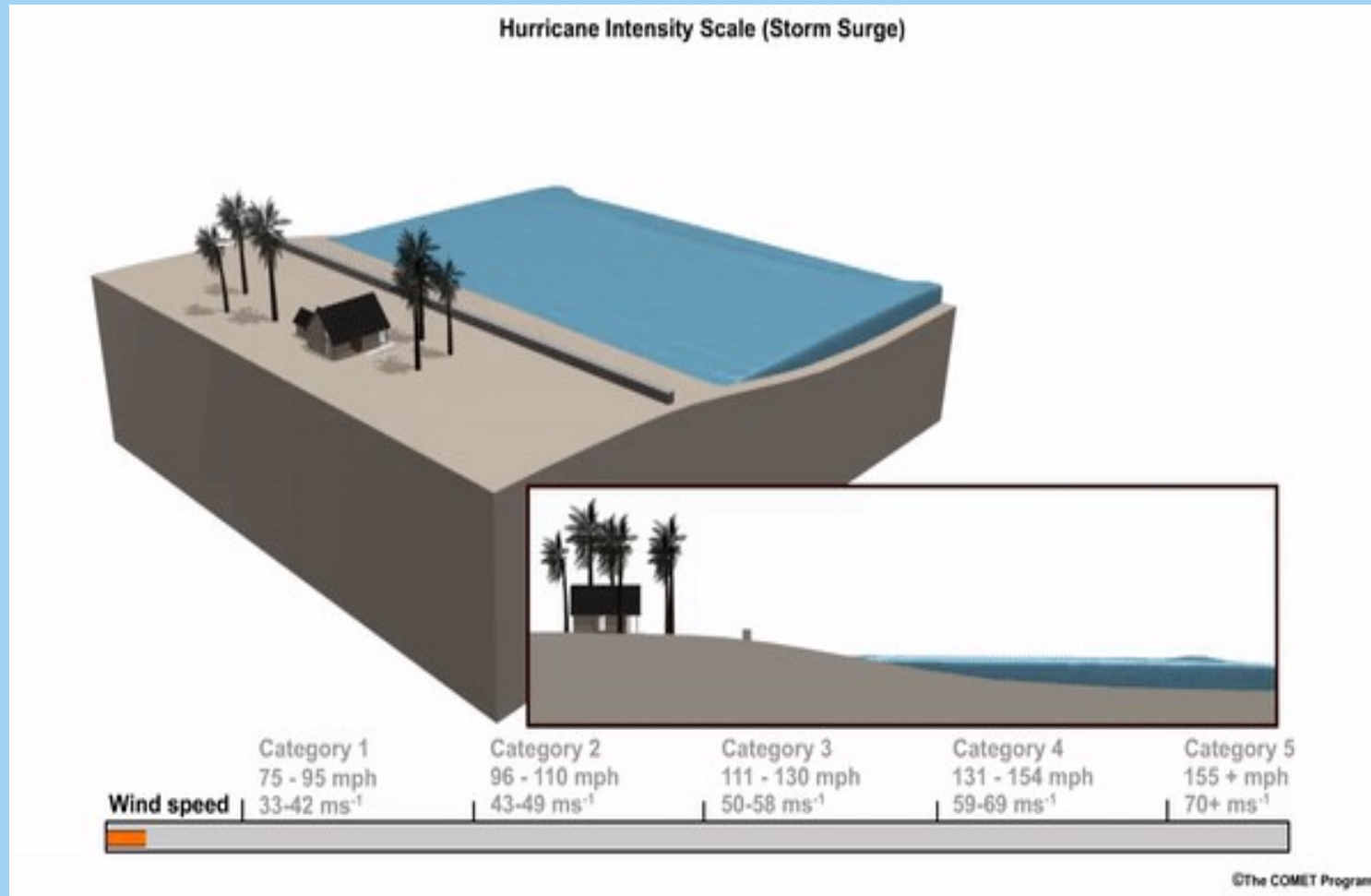
- Peu de Houlographes
- Fauchées de défilants (altimètres) étroites
- Données SHIPS parcellaires &/ou douteuses

A challenge : lack of observation data

- *Few waves recorders*
- *Narrow swath of moving satellites (altimeters)*
- *Patchy and/or doubtful SHIPS data*

Onde de tempête

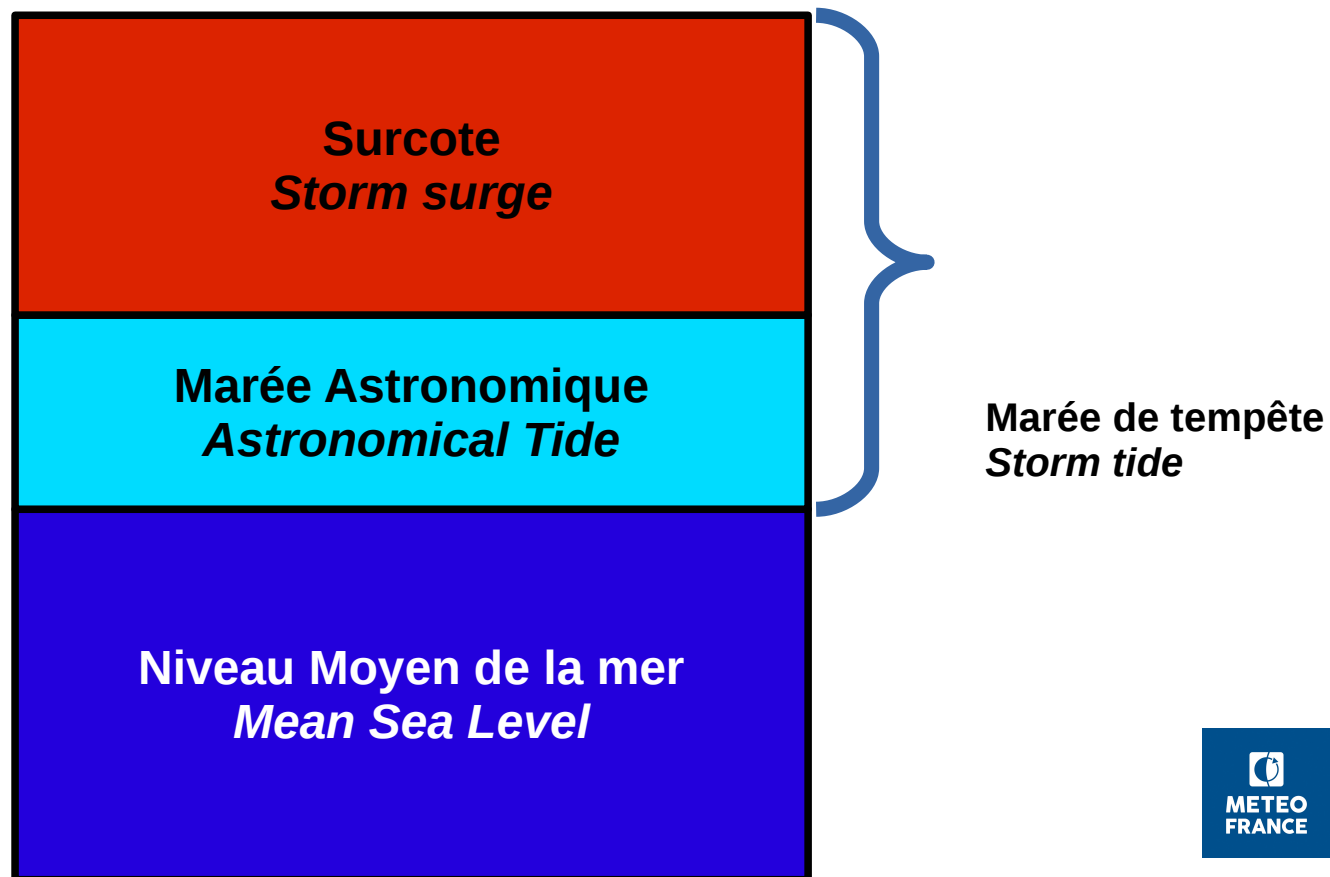
Storm surge

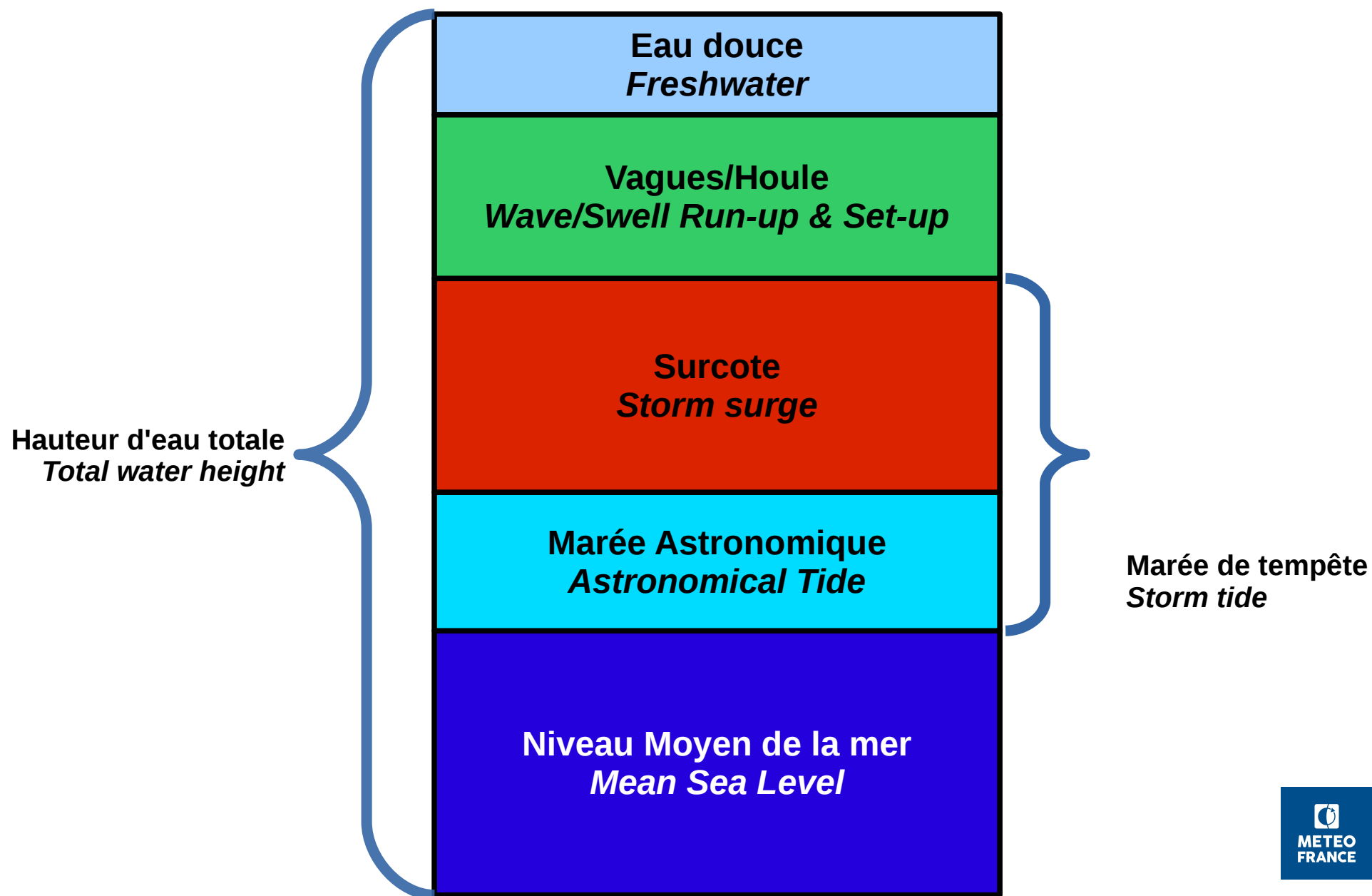


From the MetEd website, credits : The COMET Program

Marée Astronomique
Astronomical Tide

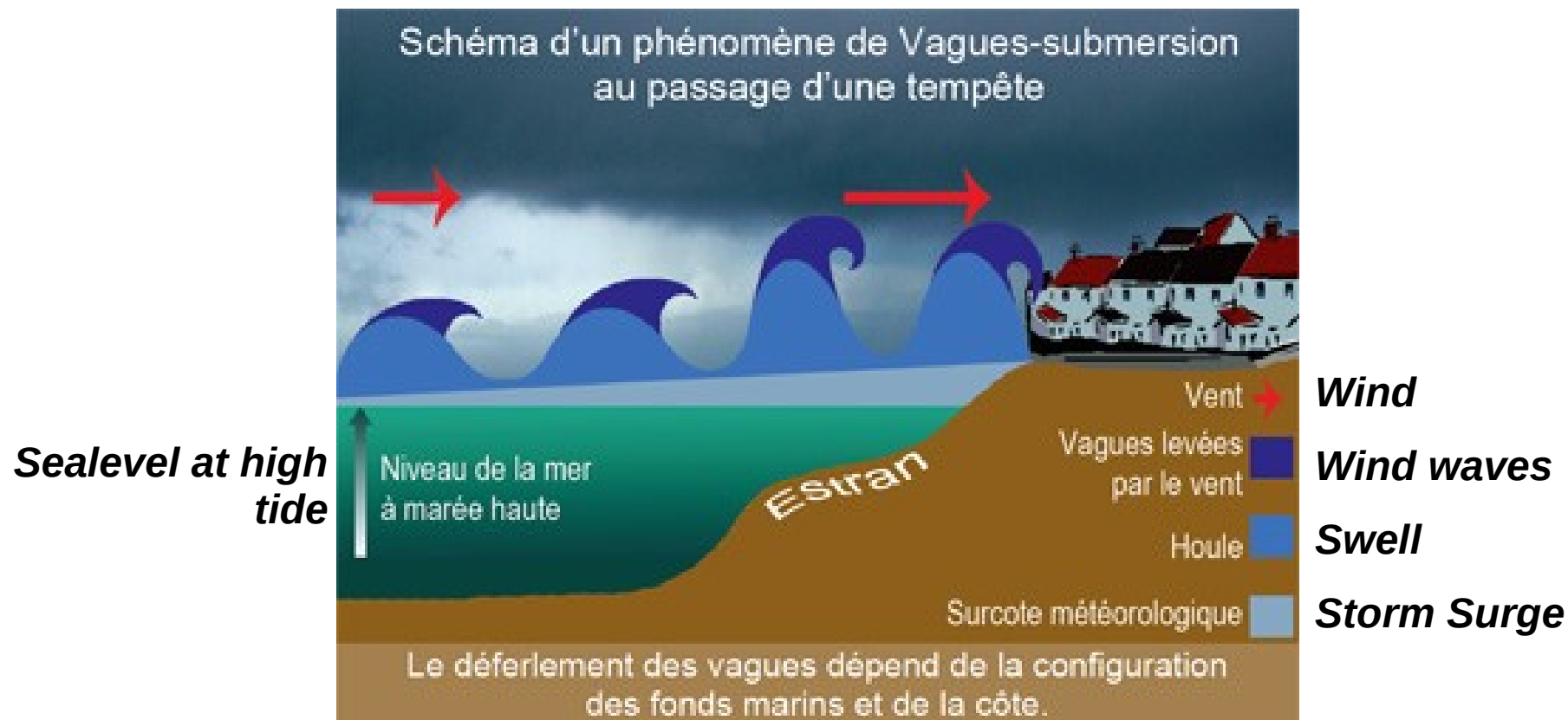
Niveau Moyen de la mer
Mean Sea Level

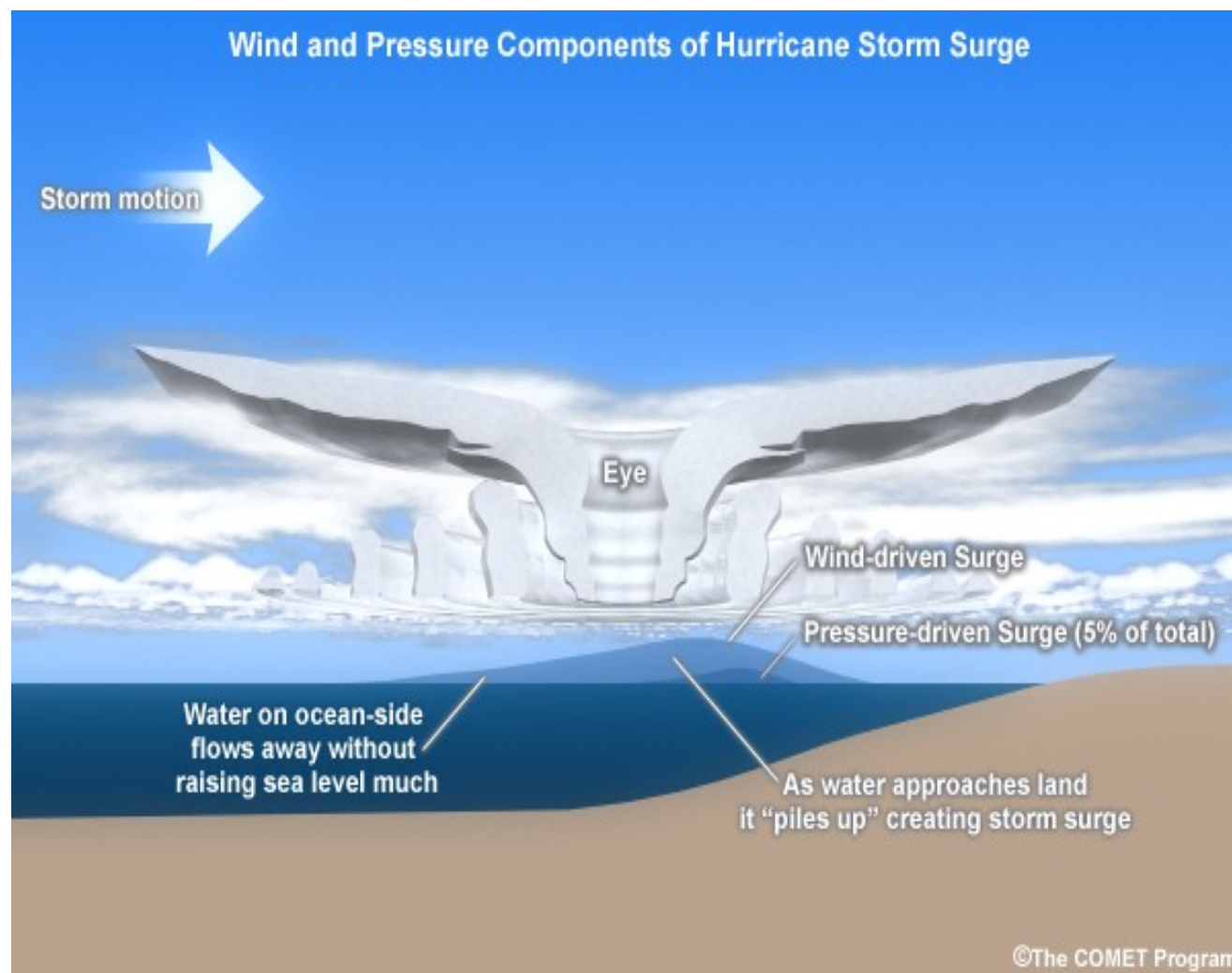




Onde de tempête

Storm surge





Surcote = Contribution du vent + Contribution de la basse pression atmosphérique

Storm surge = Wind effect + lower atm. Pressure effect

Effet barométrique inverse

L'élévation de la mer due à de faibles pressions est appelé effet barométrique inverse. A la zone de très basses pressions au centre du cyclone correspond une hausse du niveau de la mer.

Une baisse de pression de 10 hPa provoque une hausse de la mer de 10 cm.

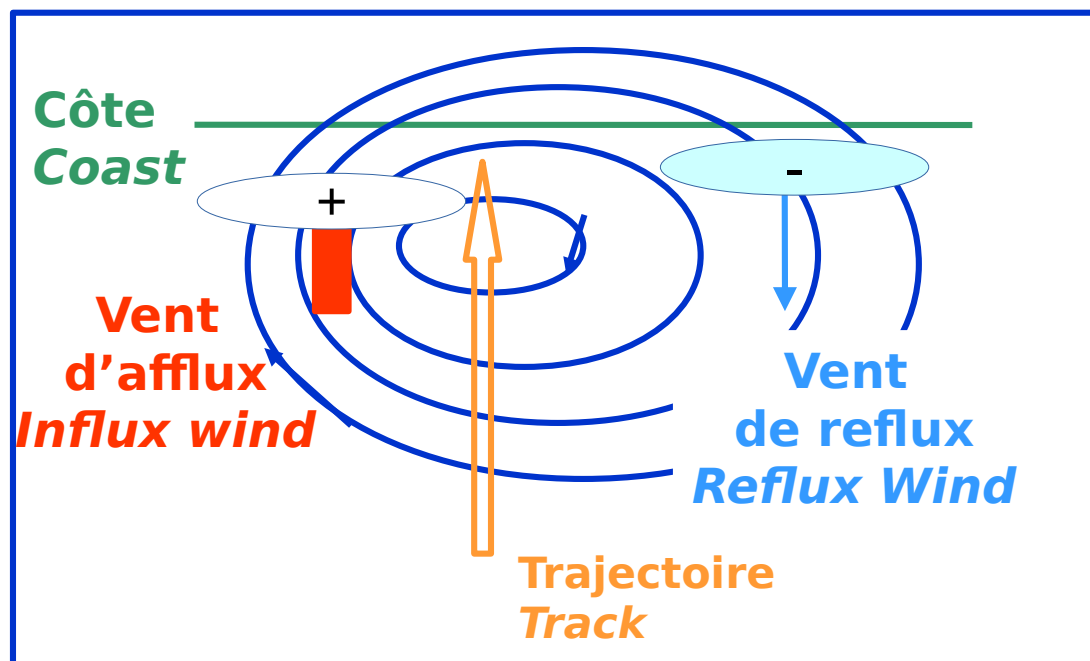


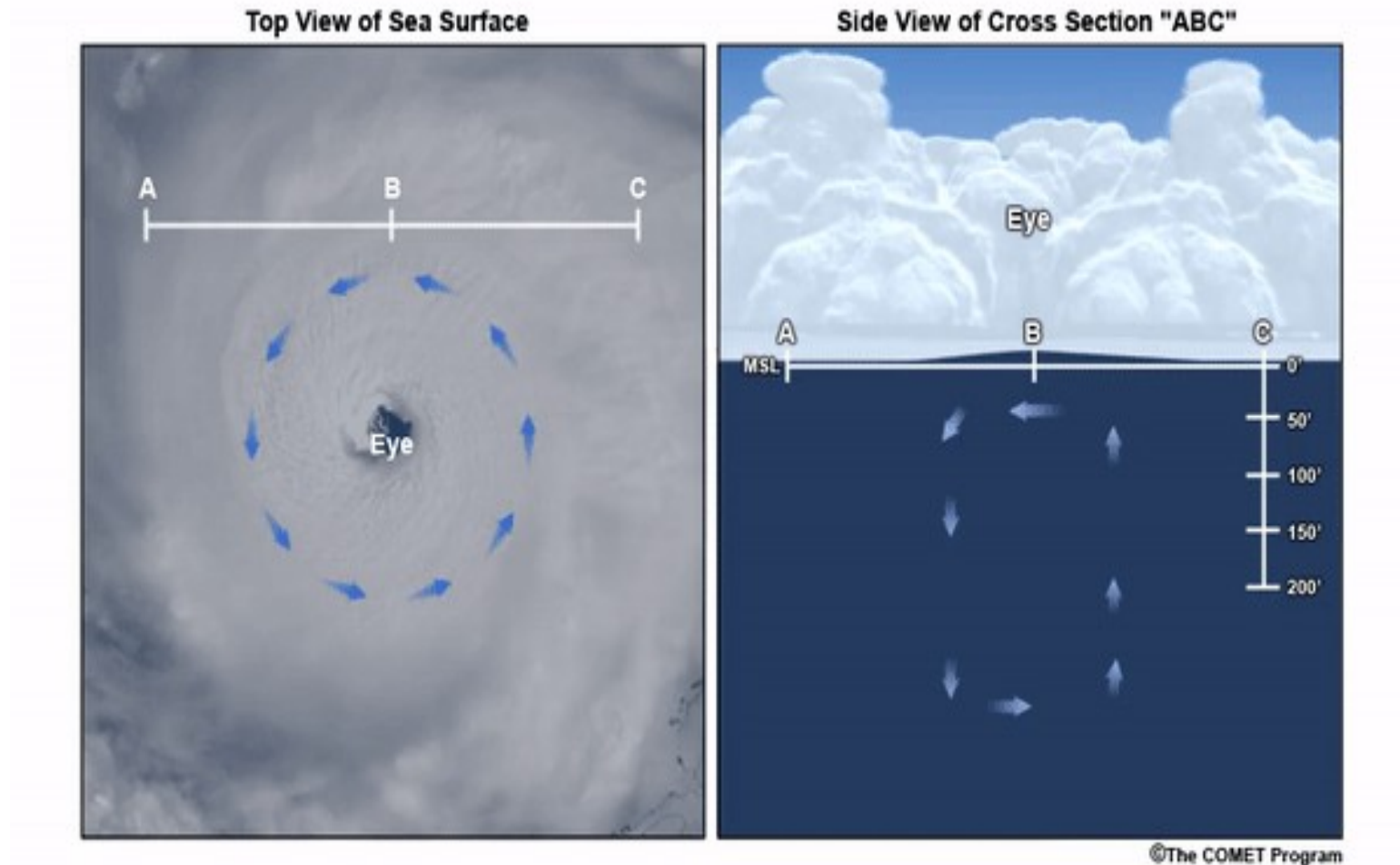
Inverse Barometric effect

*Sea level elevation due to a lower atmospheric pressure is called the inverse barometric effect. In the eye of the storm, the sea level rises.
A 10-hPa decrease of SLP induces a 10 cm sea level rise.*

Dans un cyclone tropical, les vents du demi-cercle dangereux (gauche dans HS) créent un courant dit courant de dérive : Pas d'impact en eau profonde. Mais, à l'approche d'une côte, ce courant conduit à une accumulation des eaux dans le quadrant avant : une surélévation du niveau de la mer.

In a tropical cyclone, the winds in the dangerous semi-circle (left in the SH) induces a drift current : No impact in deep water. But, when approaching the coast, this current creates a water accumulation in the ahead quadrant : a sea level rise.



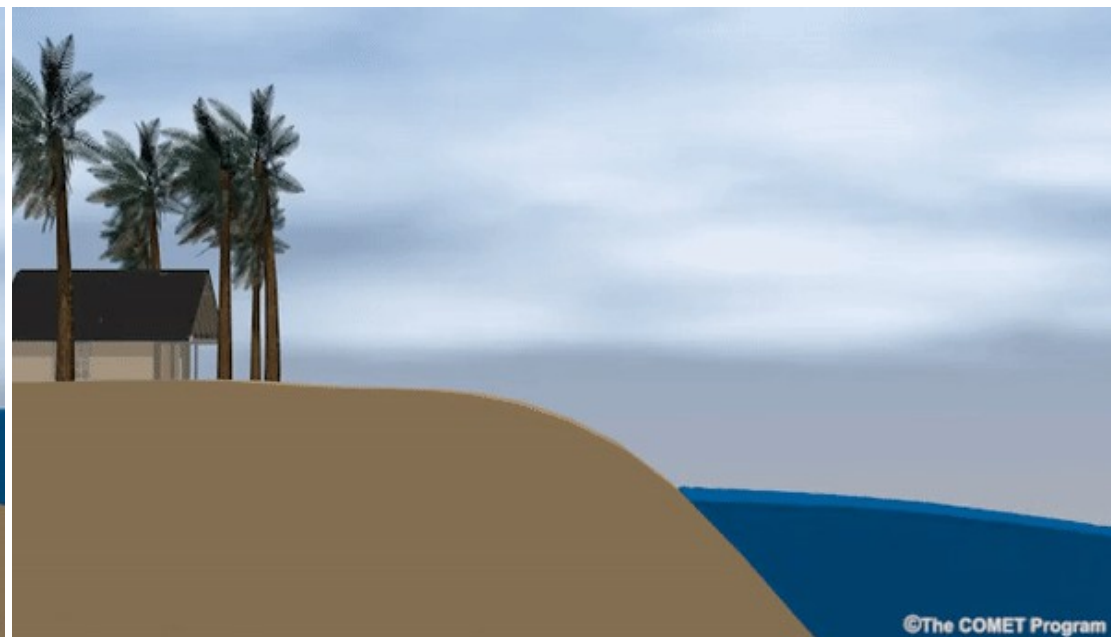


Les influences de :

- × la configuration de la côte
- × la topographie du fond.

Influences of :

- × Coastline topography
- × Bathymetry



Plusieurs facteurs à considérer pour la prévision de la surcote :

- Pression centrale
- Intensité des vents
- Vitesse du système
- Taille du système (R34)
- Angle d'impact sur la côte
- Spécificités géographiques de la côte : bathymétrie, lignes de côtes (caps, baies, rivières, îles)



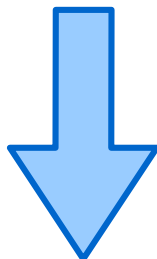
Many parameters influence the storm surge height :

- Central pressure
- Wind speed
- System speed
- System size (R34)
- Angle at impact
- Coastline features : bathymetry, topography (capes, bays, rivers, islands)

Prévision Forecast

Forçage atmopshérique
Atmospheric forcing

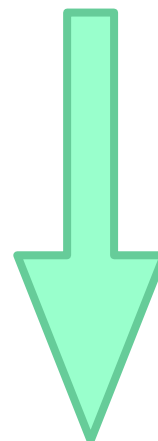
AROME-OI



HYCOM 2D

Modèle de Surcote
Storm surge model

RSMC Forecast



Storm Surge DB

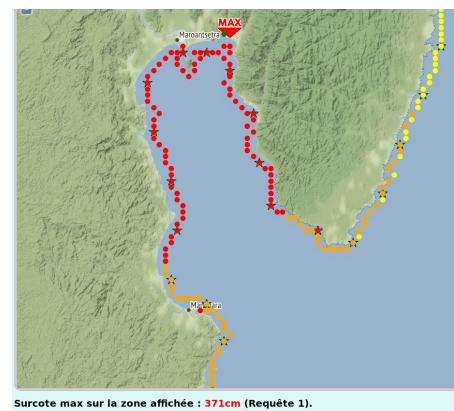
Set of close Tracks



Idealized TC
Vortex (Holland)

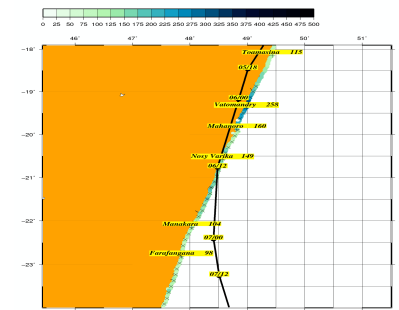


Storm Surge DB



Surcote max sur la zone affichée : 371cm (Requête 1).

Système AVA (Réseau 05/01/2018/0000Z)
Estimation entre le 07/01/2018 à 00h et le 07/01/2018 à 06h
Vmax 60->80 Kts, Rvmax 5->25 MN, Ec. pc -15->15 hPa
Dir. 120->240 degrés, Vlt. 5->20 Kts, 41 points d'impact
Surcote en cm - maximum: 321 cm



Prévision Forecast

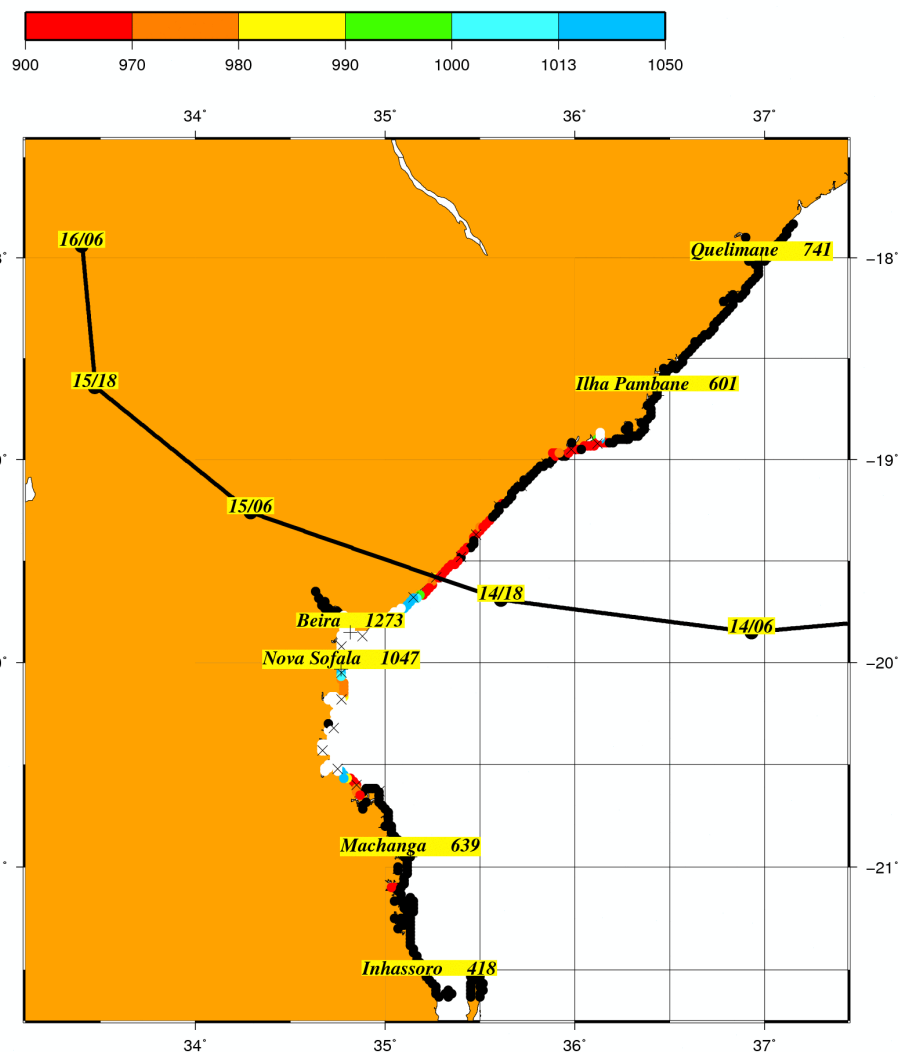
Système IDAI (Réseau 12/03/2019/0600Z)

Estimation entre le 14/03/2019 à 18h et le 15/03/2019 à 00h

Vmax 90→130 Kts, Rvmax 5→20 MN, Ec. pc -15→15 hPa

Dir. 220→340 degrés, Vit. 5→15 Kts, 21 points d'impact

Surcote en cm – maximum: 1502 cm



IDAI DEVRAIT ETRE UN SYSTEME TRES DANGEREUX LORS DE SON ATERRISSAGE, MAINTENANT PREVU JEUDI SOIR SUR LA COTE MOZAMBICAINE. UNE SURCOTE DANGEREUSE, EXCEDANT PROBABLEMENT LES 3M, DEVRAIT SE PRODUIRE PRES ET JUSTE AU SUD DE LA OU LE CENTRE VA ATTERIR. A CELA, IL FAUT AJOUTER UNE HOULE CYCLONIQUE DEJA PRESENTE SUR LES COTES MALGACHES ET AFRICAINES.

IDAI SHOULD BE A VERY DANGEROUS STORM AT THE TIME OF ITS LANDFALL NOW FORECAST THURSDAY NIGHT. DANGEROUS STORM SURGE, EXCEEDING 3 METERS ARE LIKELY NEAR AND JUST TO THE SOUTH OF THE CENTER. TO THIS, WE MUST ADD A CYCLONIC SWELL ALREADY PRESENT ON THE MALAGASY AND AFRICAN COASTS WHICH WILL CONTINUE TO GROW.

Cas dans le SOOI

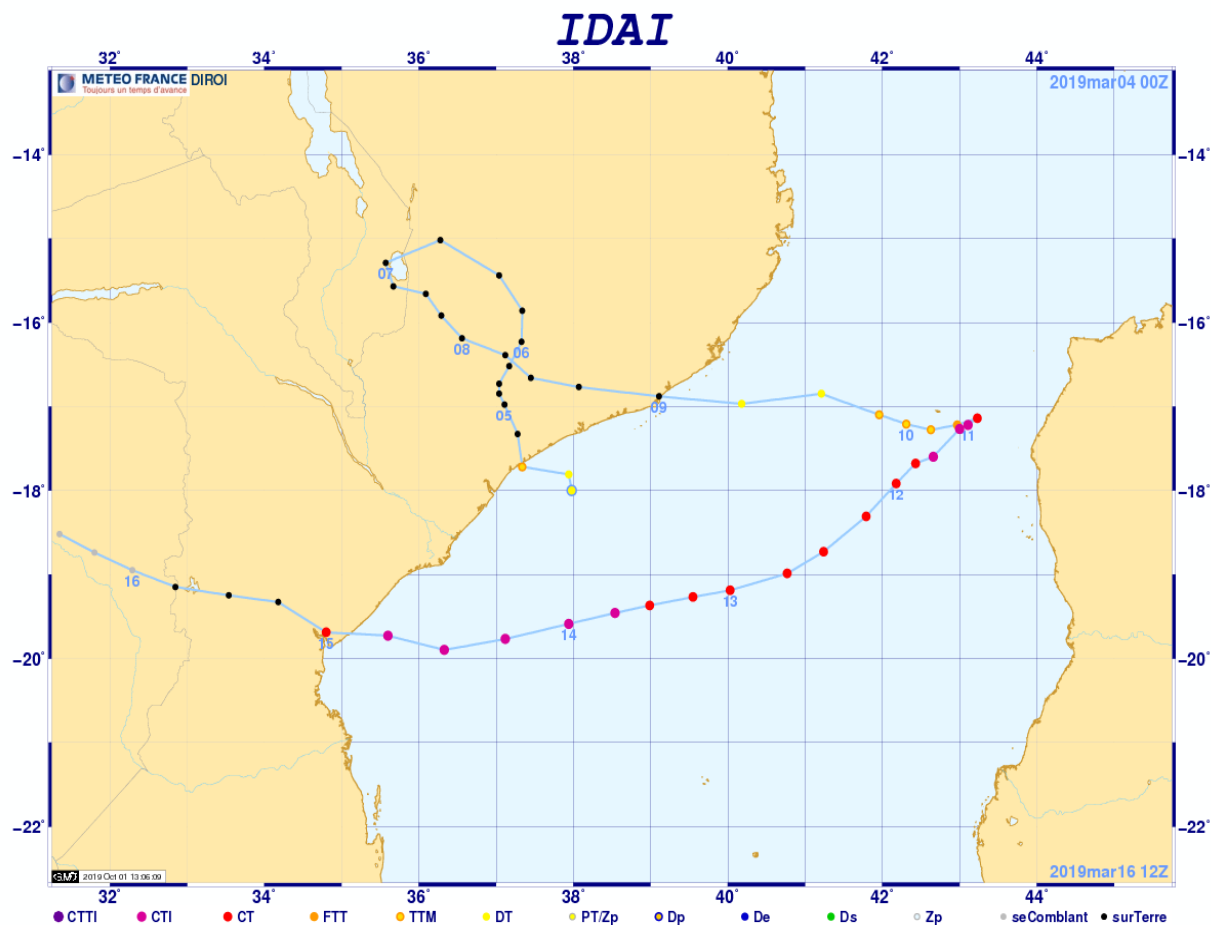
Cases in the SWIO

- Les pays dont l'altitude est basse, et bordés d'eau peu profonde sont particulièrement vulnérables aux surcotes.
Countries with low altitude and rimmed with shallow waters are especially vulnerable to storm surge
- Les surcotes, et les inondations qu'elles provoquent, causent des pertes en vies humaines et des dégâts considérables dans les collectivités côtières.
Storm surge, and the induced flooding, cause many casualties and large damages to the infrastructures.
- Cyclone tropical intense **IDAI** sur la ville côtière de Beira (Mozambique), l'an dernier. Le pire a été évité.
***IDAI** impacted Beira (Mozambique) last year, but the worst case scenario has been avoided*



IDAI : surcote

IDAI : storm surge



⇒ 90-kt intensity estimated at landfall

⇒ 955 hPa

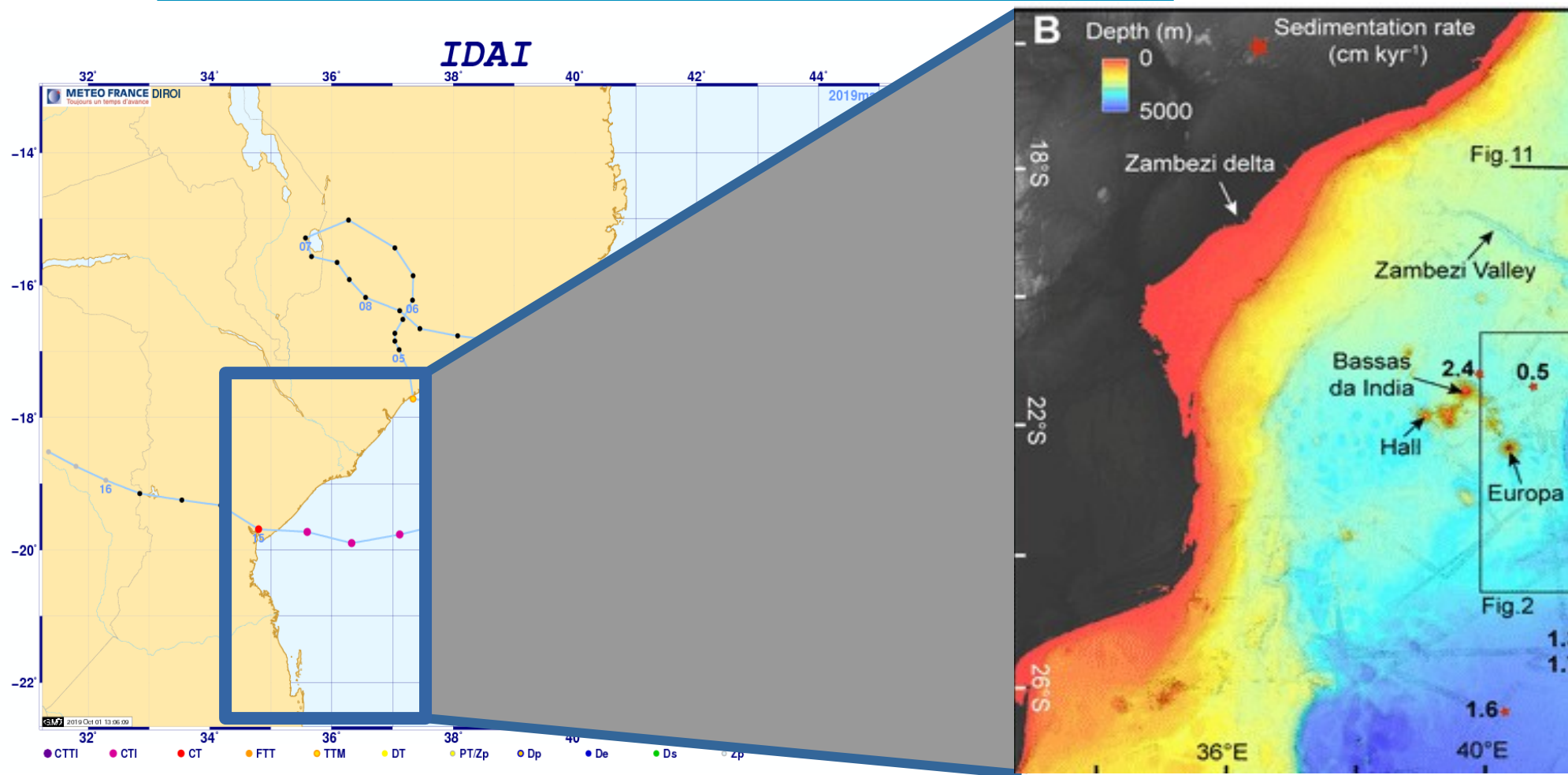
⇒ 35-km MWR / 150-km R34

⇒ 13 km/h



IDAI : surcote

IDAI : storm surge



- ⇒ 90-kt intensity estimated at landfall
- ⇒ 955 hPa
- ⇒ 35-km MWR / 150-km R34
- ⇒ 13 km/h

IDAI : surcote, facteurs atténuants

IDAI : storm surge, mitigating factors



⇒ Pas de persistance des vents d'afflux sur Beira

No persisting influx winds on Beira

⇒ Timing marée descendante

During ebb tide

La

IDAI : storm surge, mitigating factors

Vidéo HAIYAN



Météo-France

adrien.colomb@meteo.fr

www.meteofrance.re | @meteofrance

