

# Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires

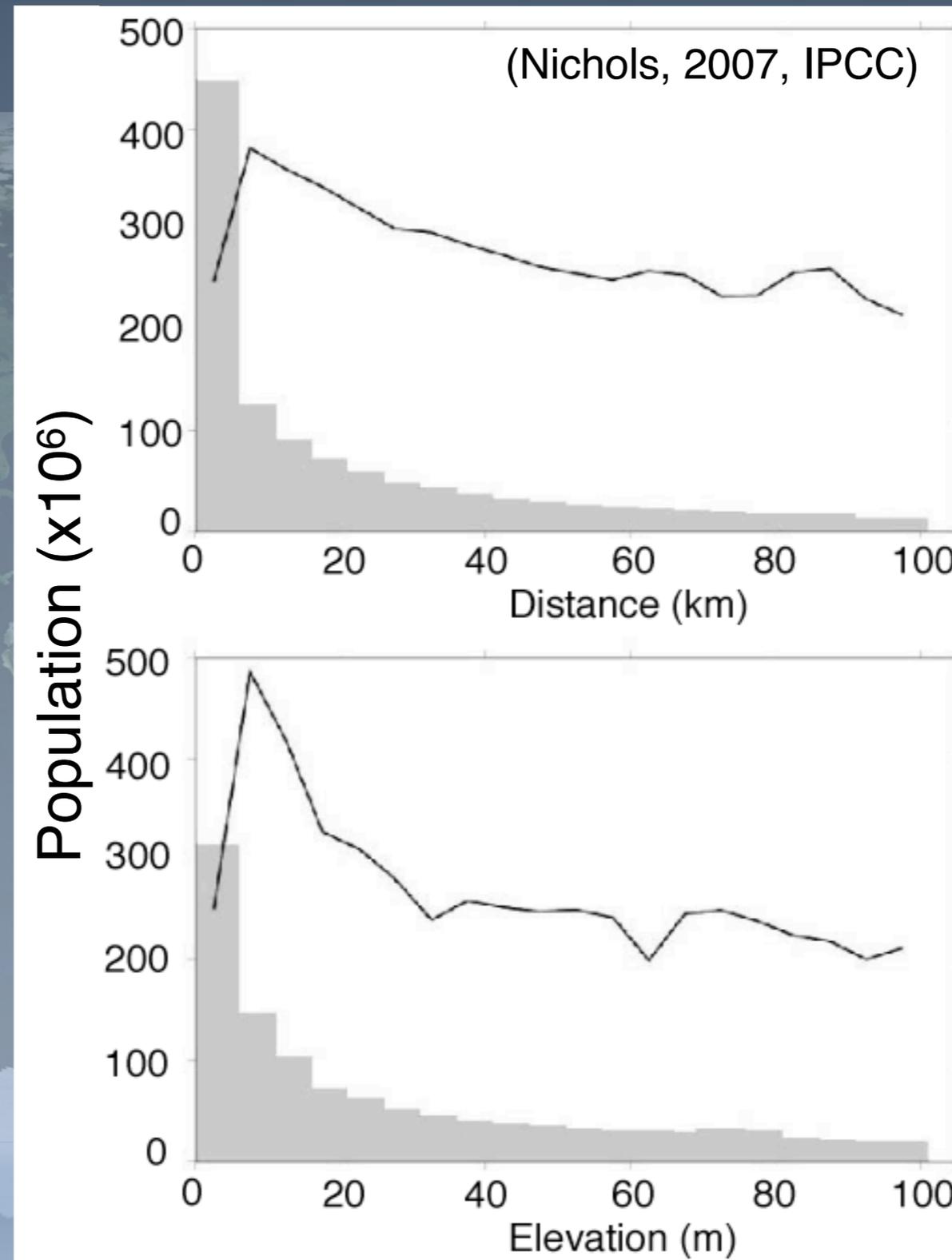
Présentation Doctorat  
Emmanuel Cordier  
20 juin 2007

**Directeur**  
**Jean Coudray**



**Co-Directeur**  
**Bertrand Millet**





**LES COTES RECIFALES = DES ENJEUX D'IMPORTANCE**  
 (Bellwood *et al.*, 2004)



- **30% des récifs mondiaux endommagés (Hughes *et al.*, 2003)**
- **Coût important pour les populations locales :**
  - En Indonésie : 820\$ à 1000 k\$ par km de linéaire côtier corallien dégradé (Moberg & Folk, 1999)
- **Dégradation des récifs coralliens => érosion littorale croissante**
  - Mer Rouge (Frihy *et al.*, 2004)
  - Seychelles (Sheppard *et al.*, 2005)



# UNE PROBLEMATIQUE LOCALE CONCRETE

Le déchaussement des filaos



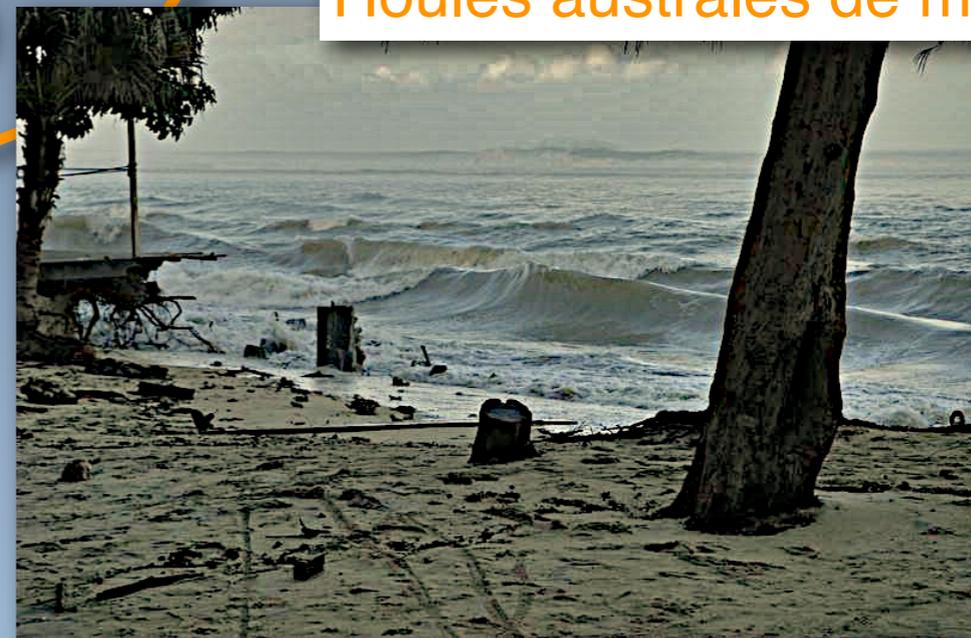
**Un  
constat  
érosif depuis  
les années  
1980**



Houles australes de mai 2007



Houles australes de août 2003



Contexte  
& Objectifs

Zone  
d'étude

Morphodynamique  
des plages

Processus  
hydrodynamiques

Dépôts  
sédimentaires

Conclusion :  
Processus  
Hydrosédimentaires





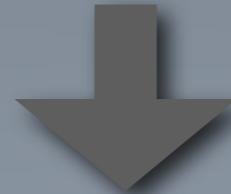
Dynamique sédimentaire en  
zone récifale à La Réunion ?



## Objectif 1



Erosion



Dynamique sédimentaire en  
zone récifale à La Réunion ?

**Etat des lieux du  
suivi des profils  
de plage**

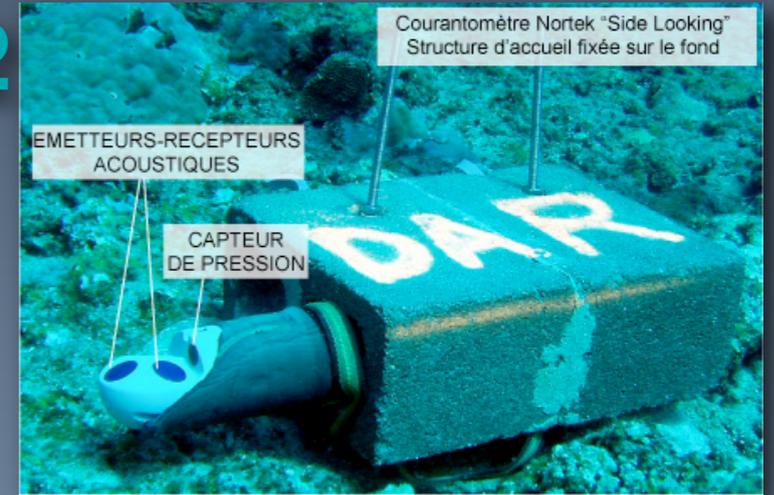


# Objectif 1



**Etat des lieux du suivi des profils de plage**

# Objectif 2



**Mesures de l'hydrodynamisme**



**Dynamique sédimentaire en zone récifale à La Réunion ?**

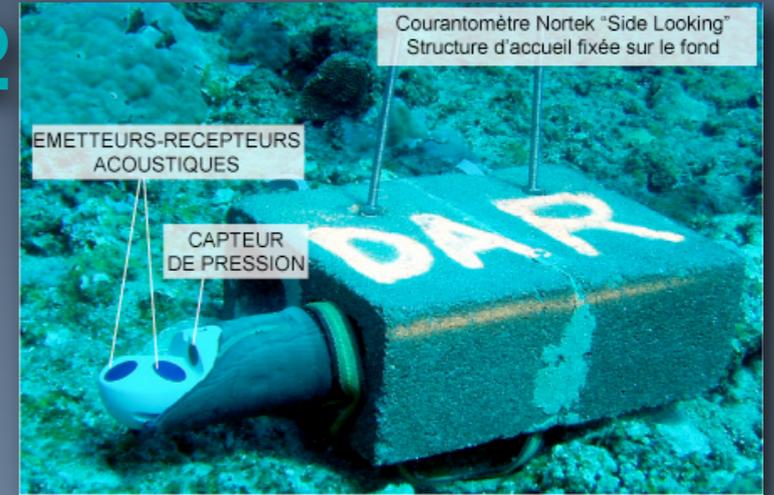


# Objectif 1



**Etat des lieux du suivi des profils de plage**

# Objectif 2



**Mesures de l'hydrodynamisme**



**Dynamique sédimentaire en zone récifale à La Réunion ?**

# Objectif 3

**Nature des dépôts sédimentaires**



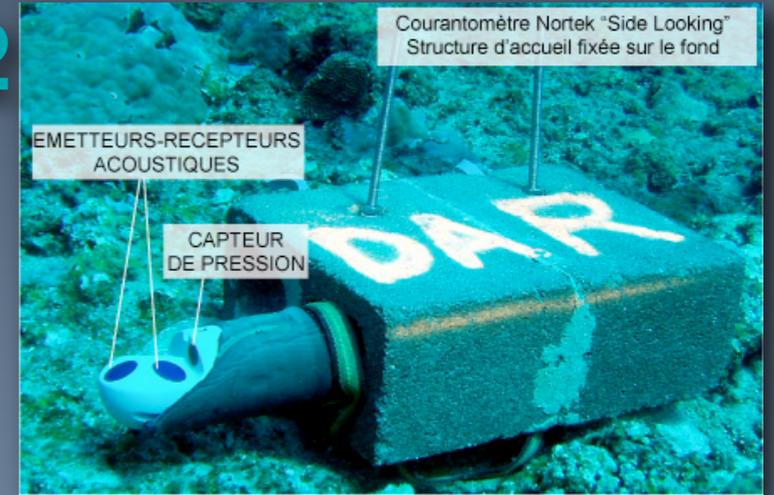


# Objectif 1



**Etat des lieux du suivi des profils de plage**

# Objectif 2



**Mesures de l'hydrodynamisme**



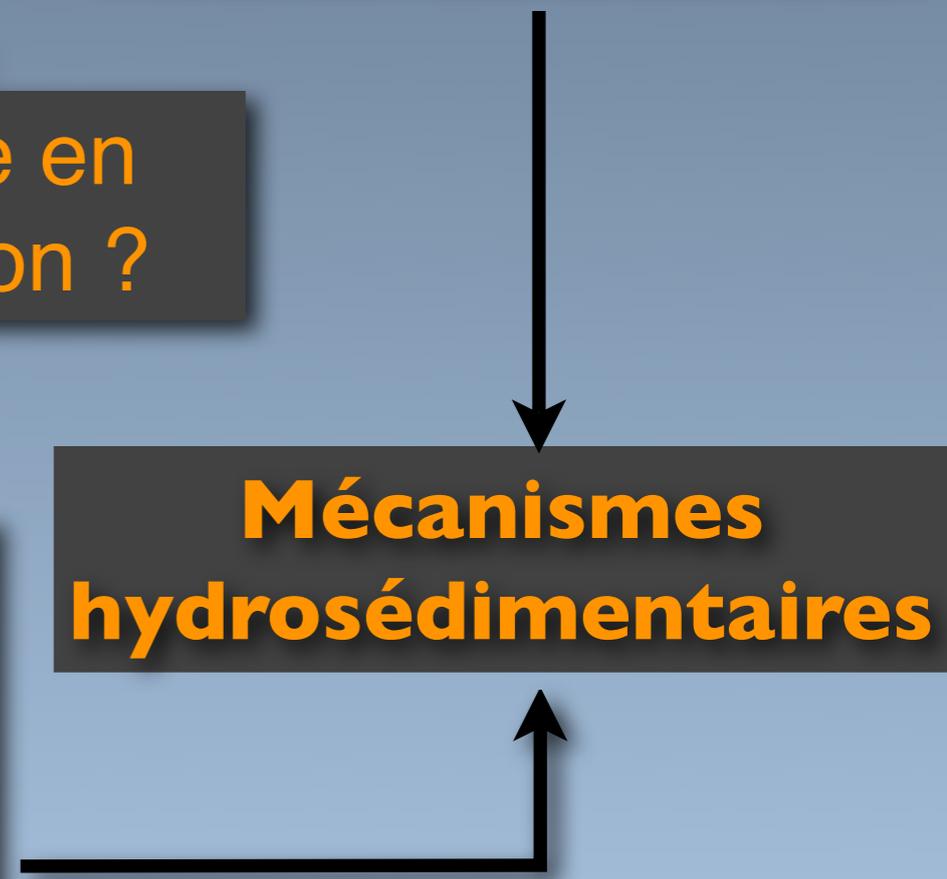
**Dynamique sédimentaire en zone récifale à La Réunion ?**

# Objectif 3

**Nature des dépôts sédimentaires**



**Mécanismes hydrosédimentaires**



# L'environnement récifal à La Réunion

Récif de Saint-Gilles



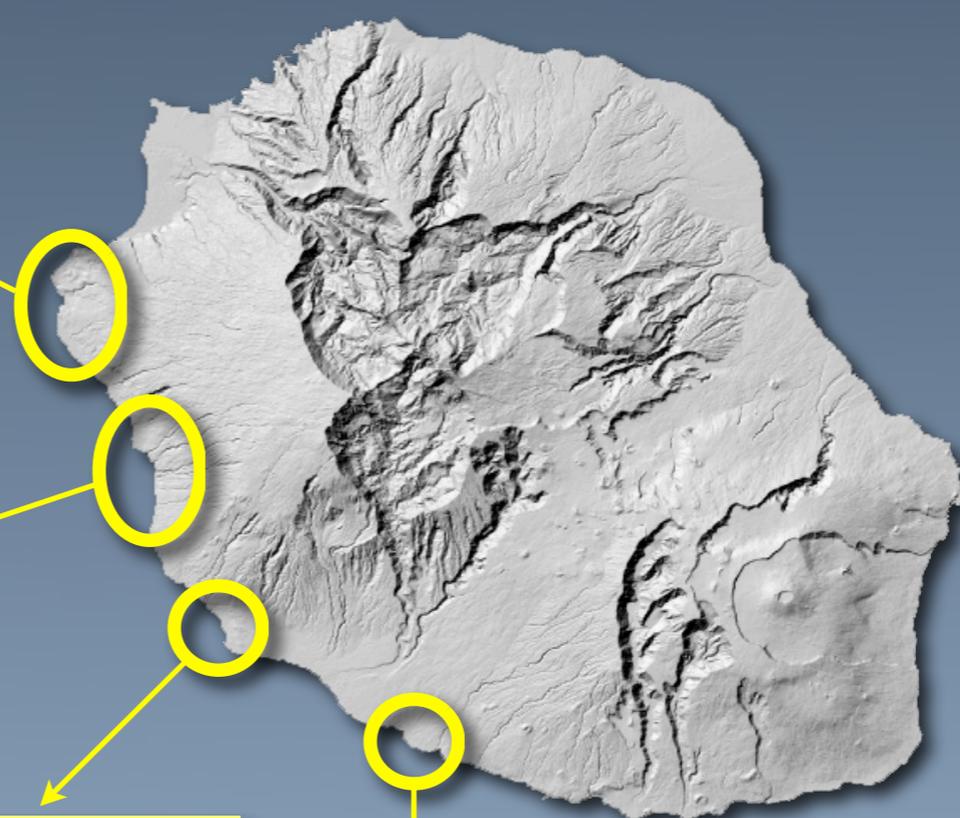
Récif de Saint-Leu



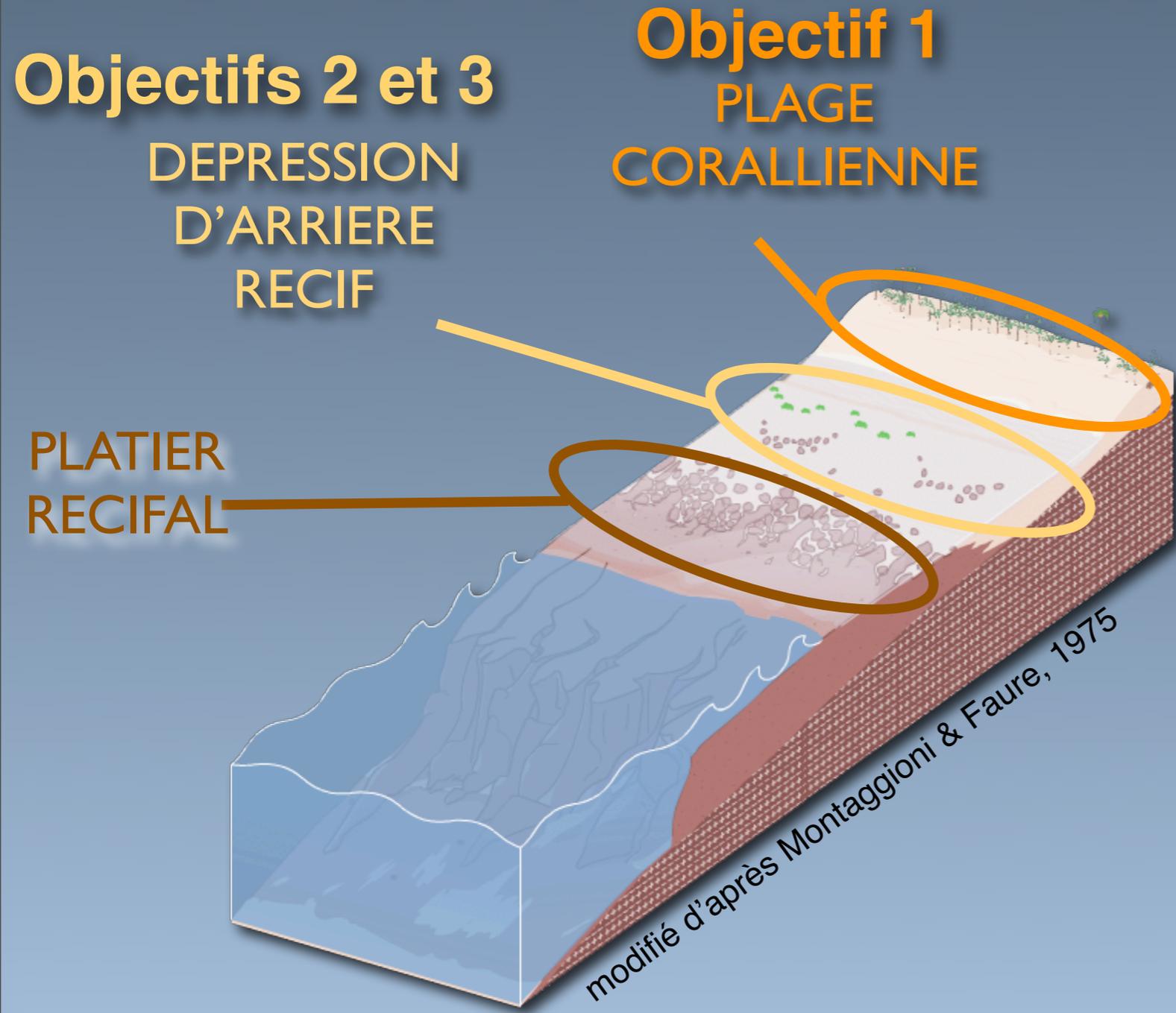
Récif de l'Etang-Salé



Récif de Saint-Pierre

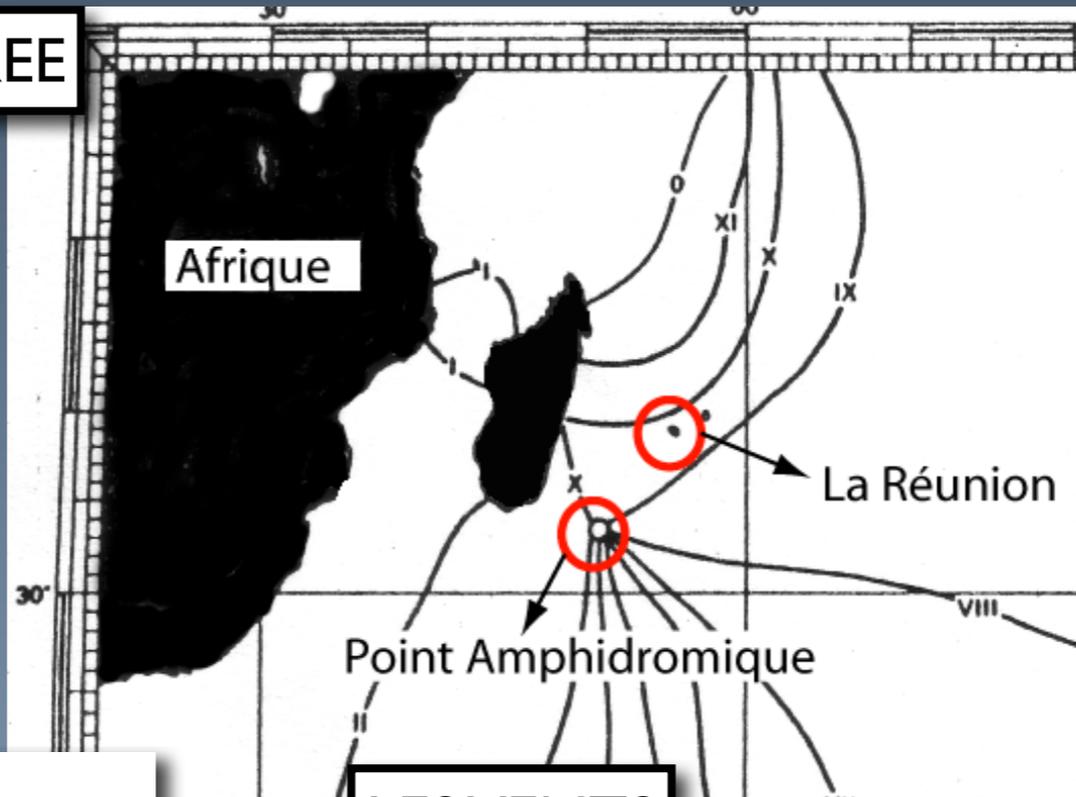


# Site Pilote : le récif de **L'HERMITAGE / LA SALINE**

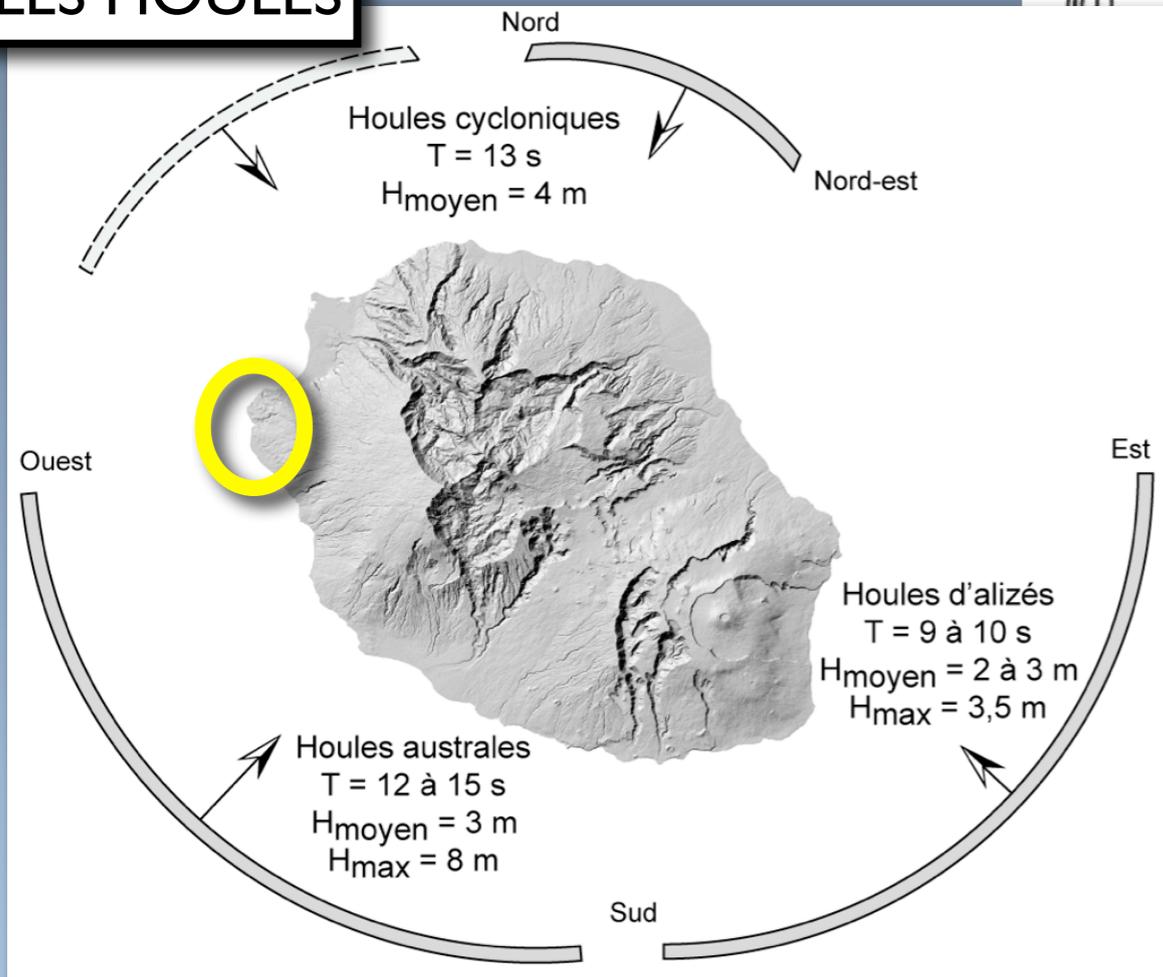


# Les forçages dynamiques généraux

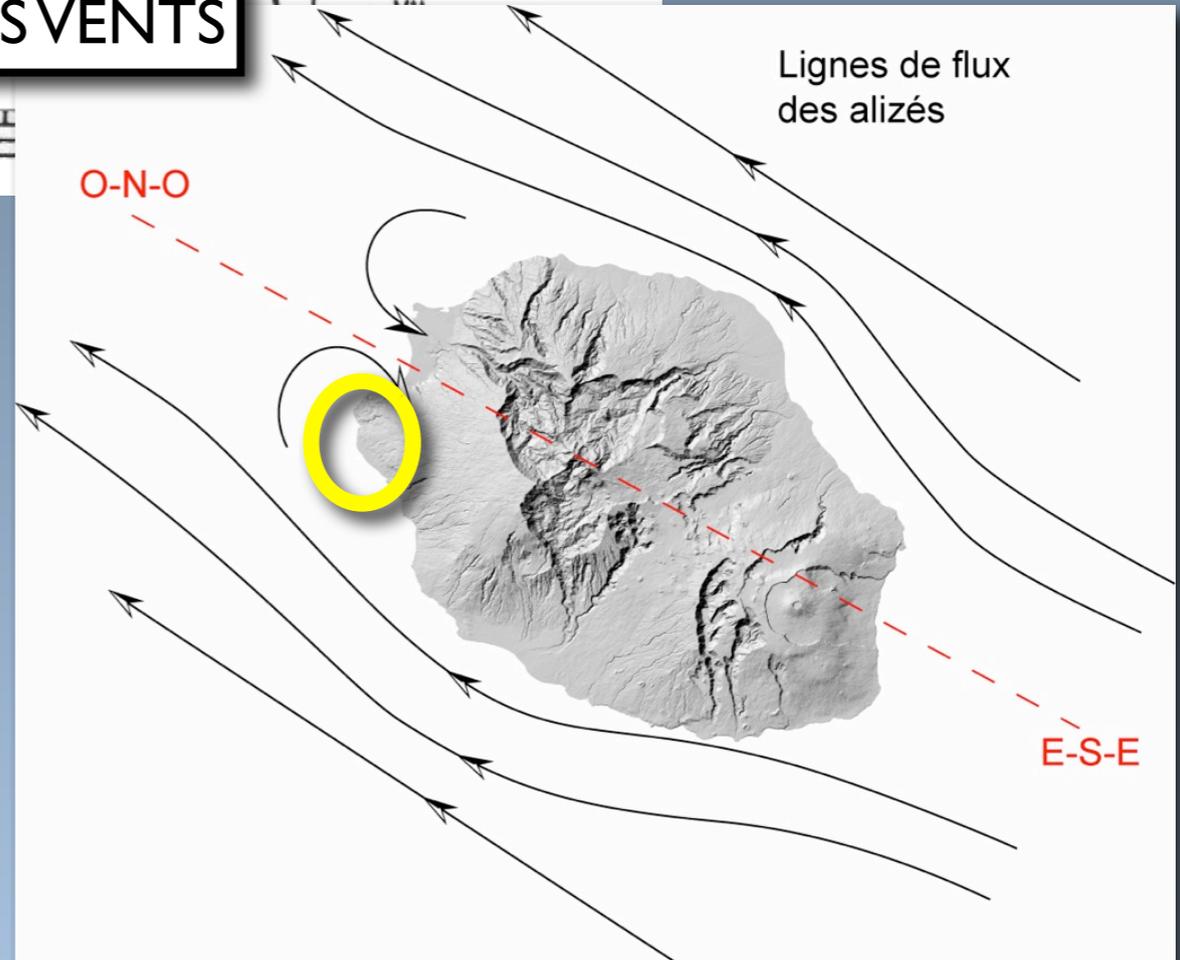
## LA MAREE



## LES HOULES



## LES VENTS



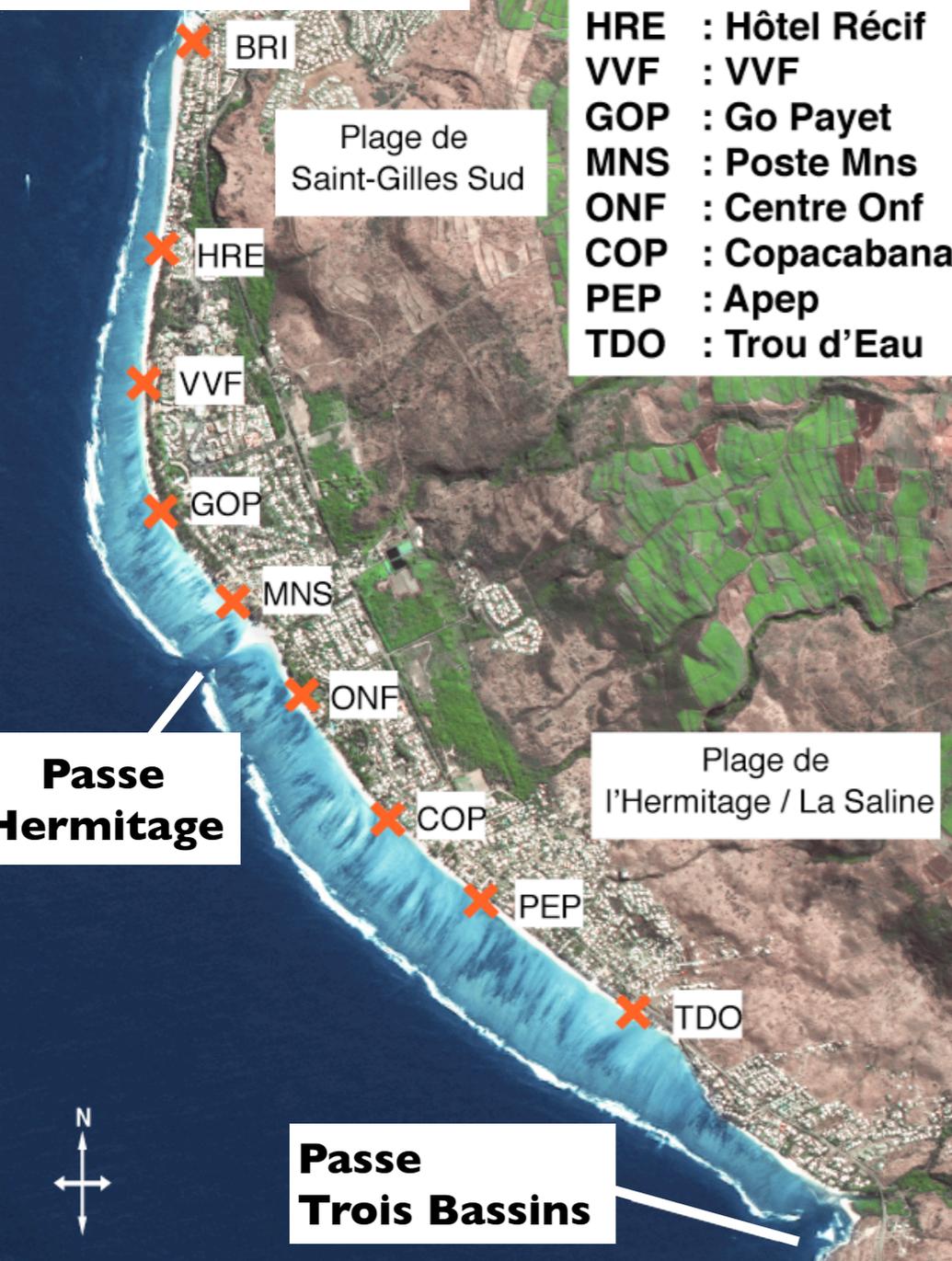
# Objectif I



**Bilan actuel des  
plages coralliennes ?**

# MESURES MORPHODYNAMIQUES

## Port de Saint-Gilles



## Suivi des profils de plages

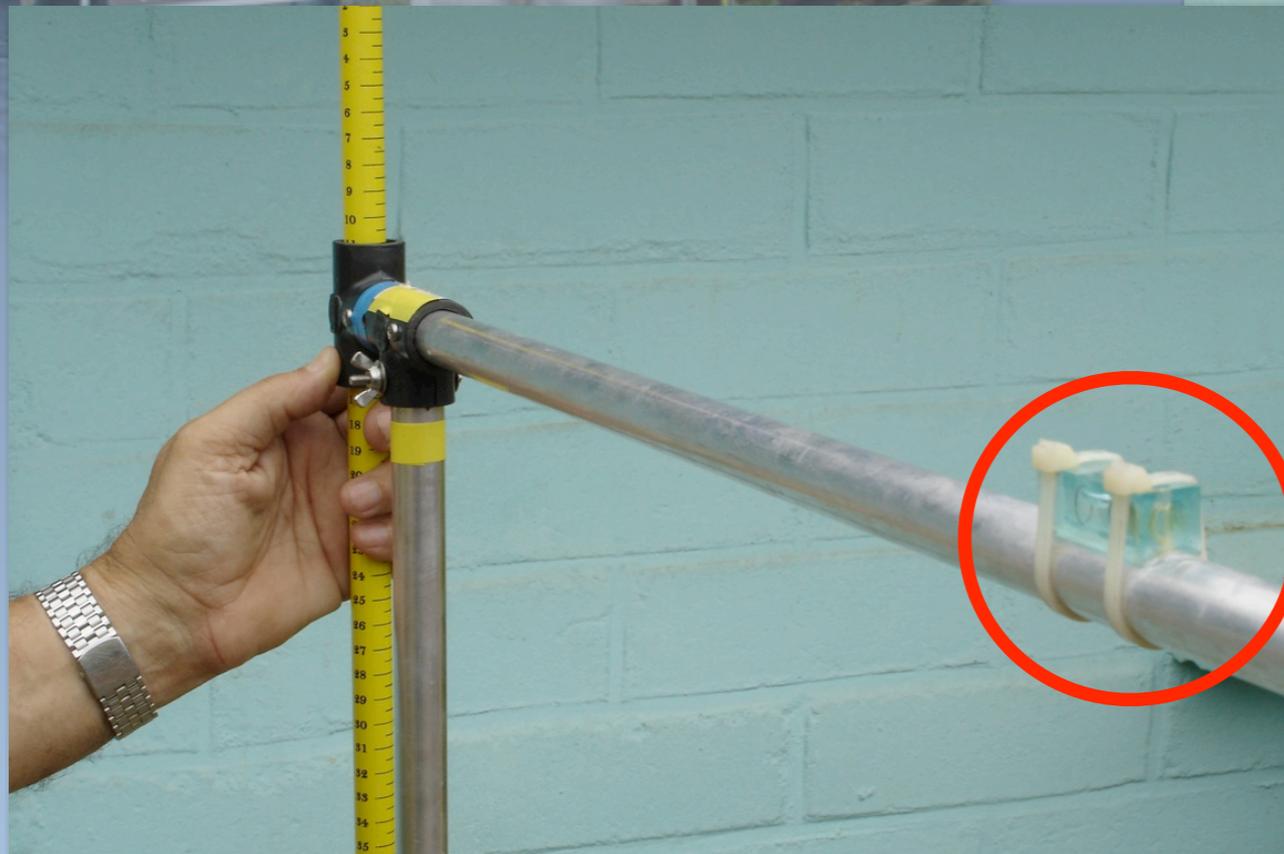
- ✓ 9 secteurs de plage
- ✓ Espacés environ tous les km

**Etat des lieux 1999 — 2006**

## Méthode de relevé

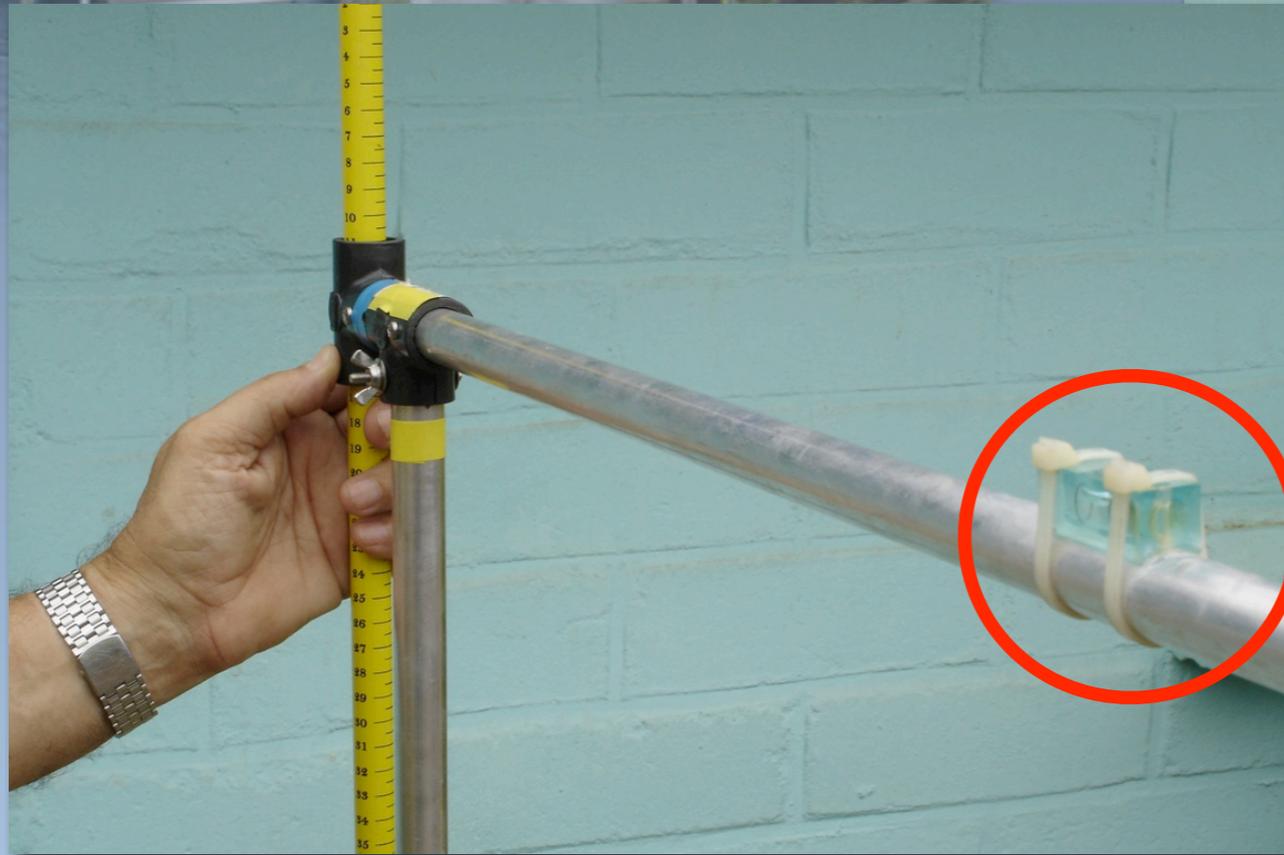


Lecture de la  
dénivellation



Niveau à bulle  
Stabiliser l'horizontale

# Méthode de relevé



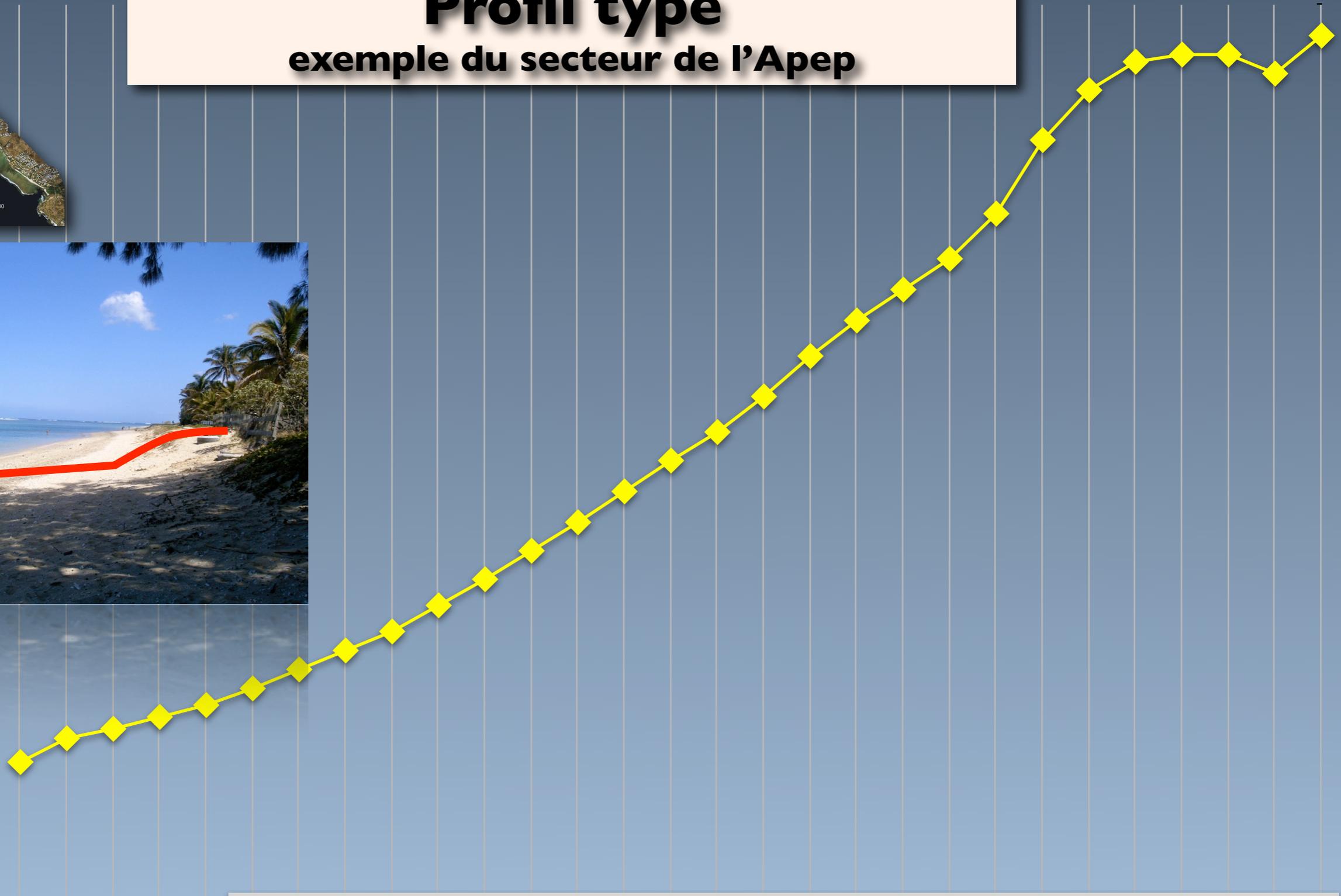
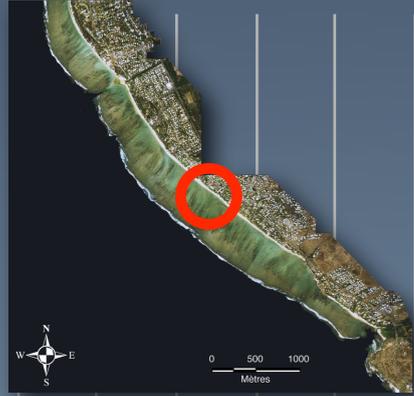
# Profil type

## exemple du secteur de l'Apep



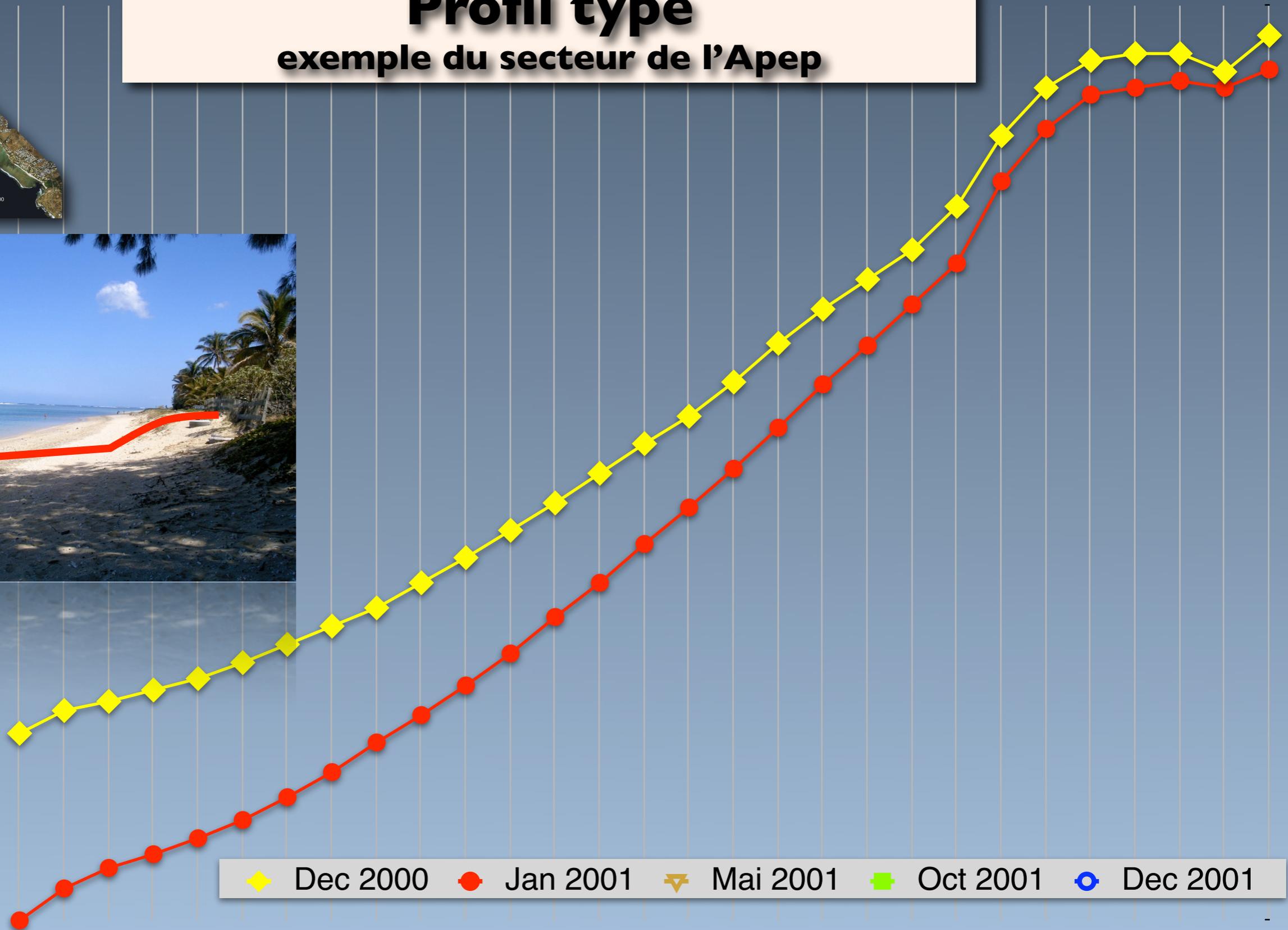
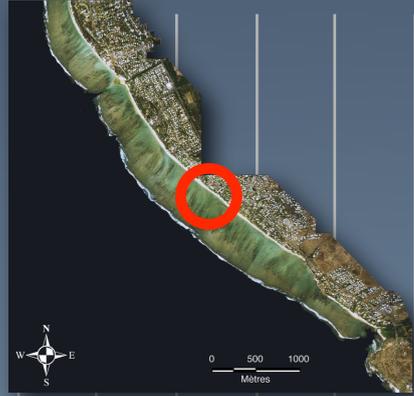
◆ Dec 2000   ● Jan 2001   ▼ Mai 2001   ■ Oct 2001   ○ Dec 2001

# Profil type exemple du secteur de l'Apep



◆ Dec 2000   ● Jan 2001   ▼ Mai 2001   ■ Oct 2001   ○ Dec 2001

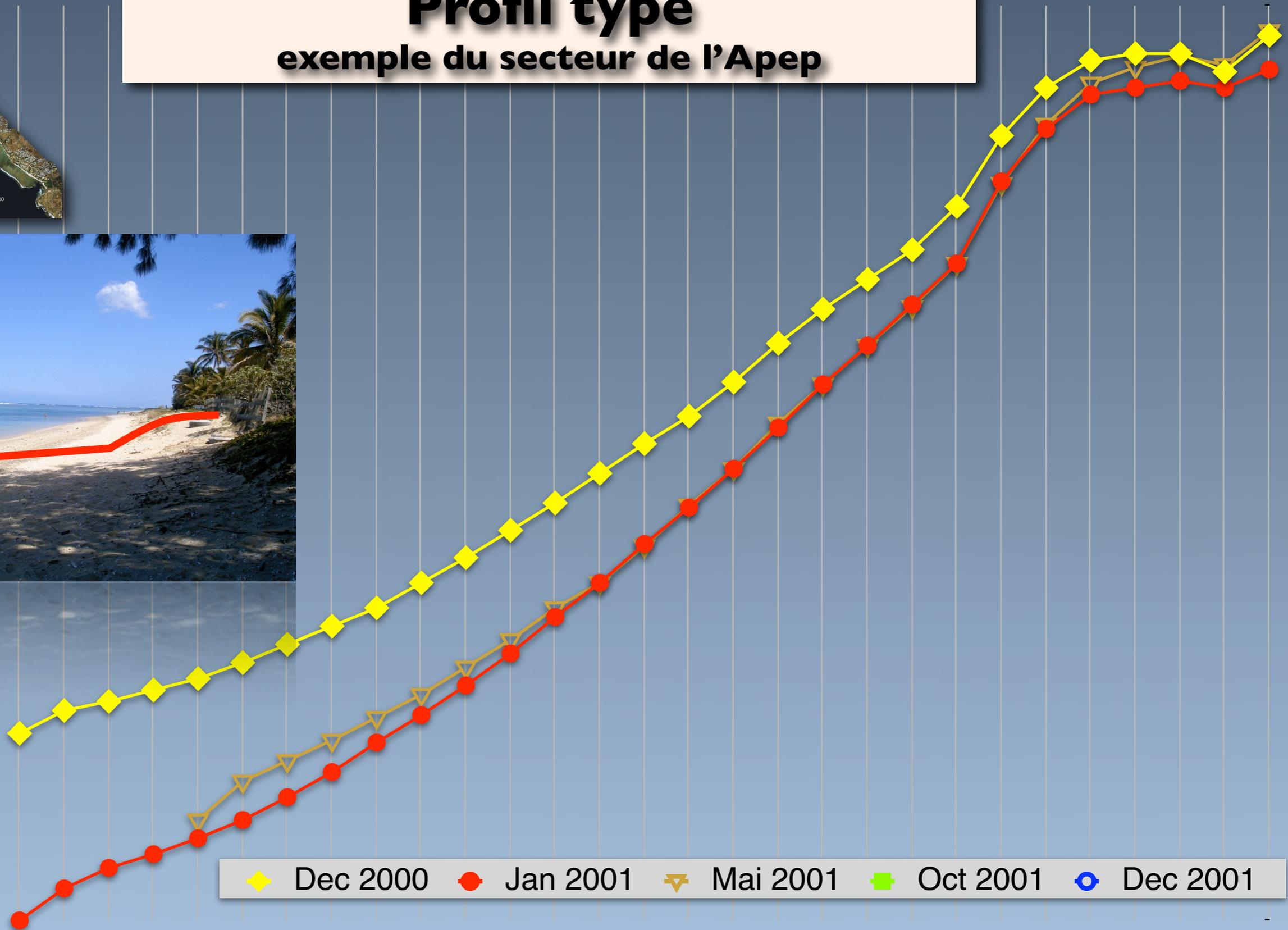
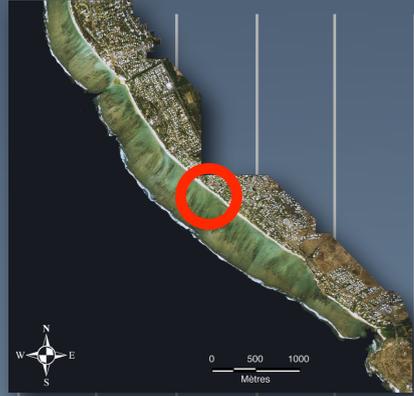
# Profil type exemple du secteur de l'Apep



◆ Dec 2000 ● Jan 2001 ▼ Mai 2001 ■ Oct 2001 ○ Dec 2001

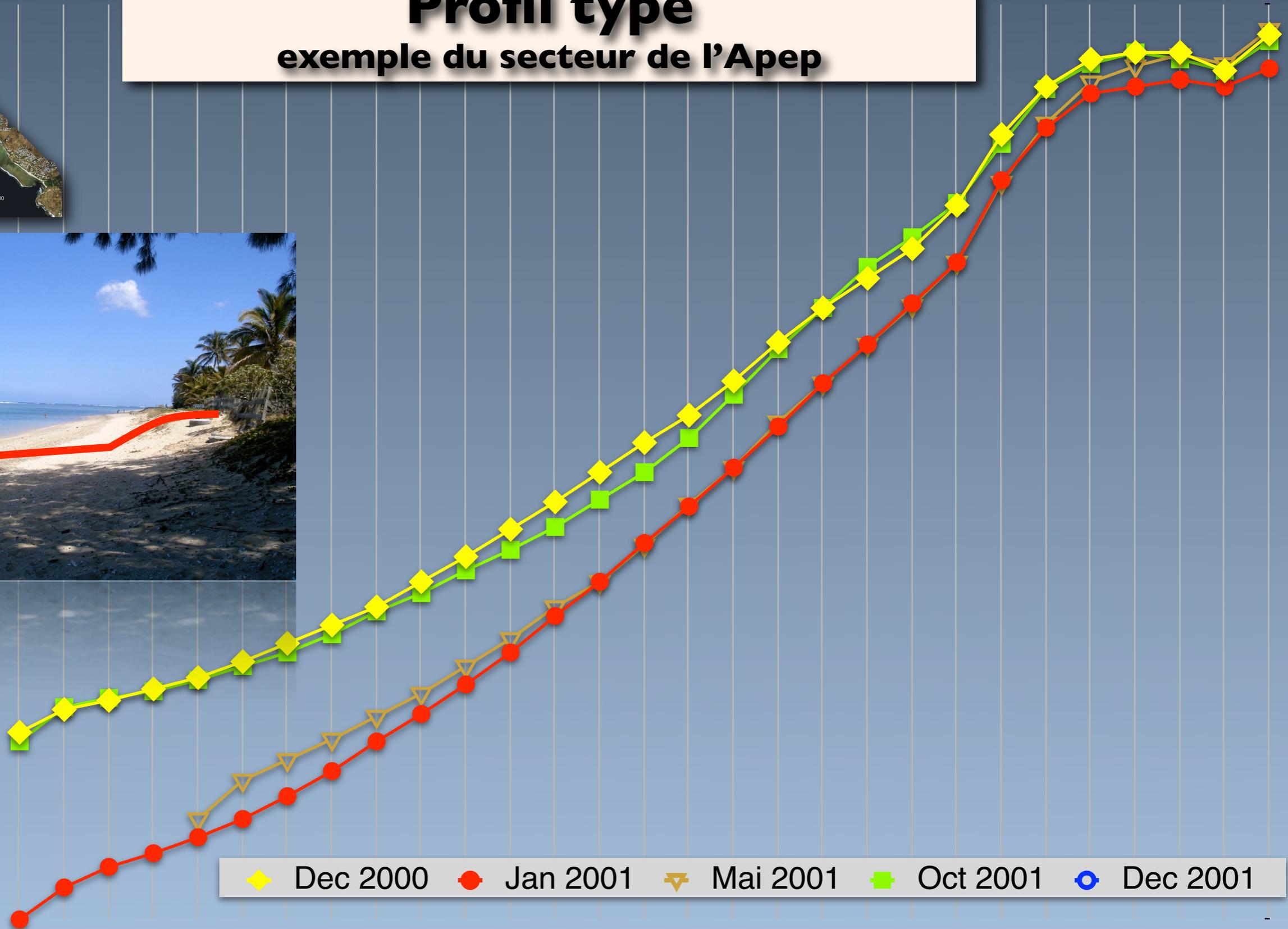
# Profil type

## exemple du secteur de l'Apep

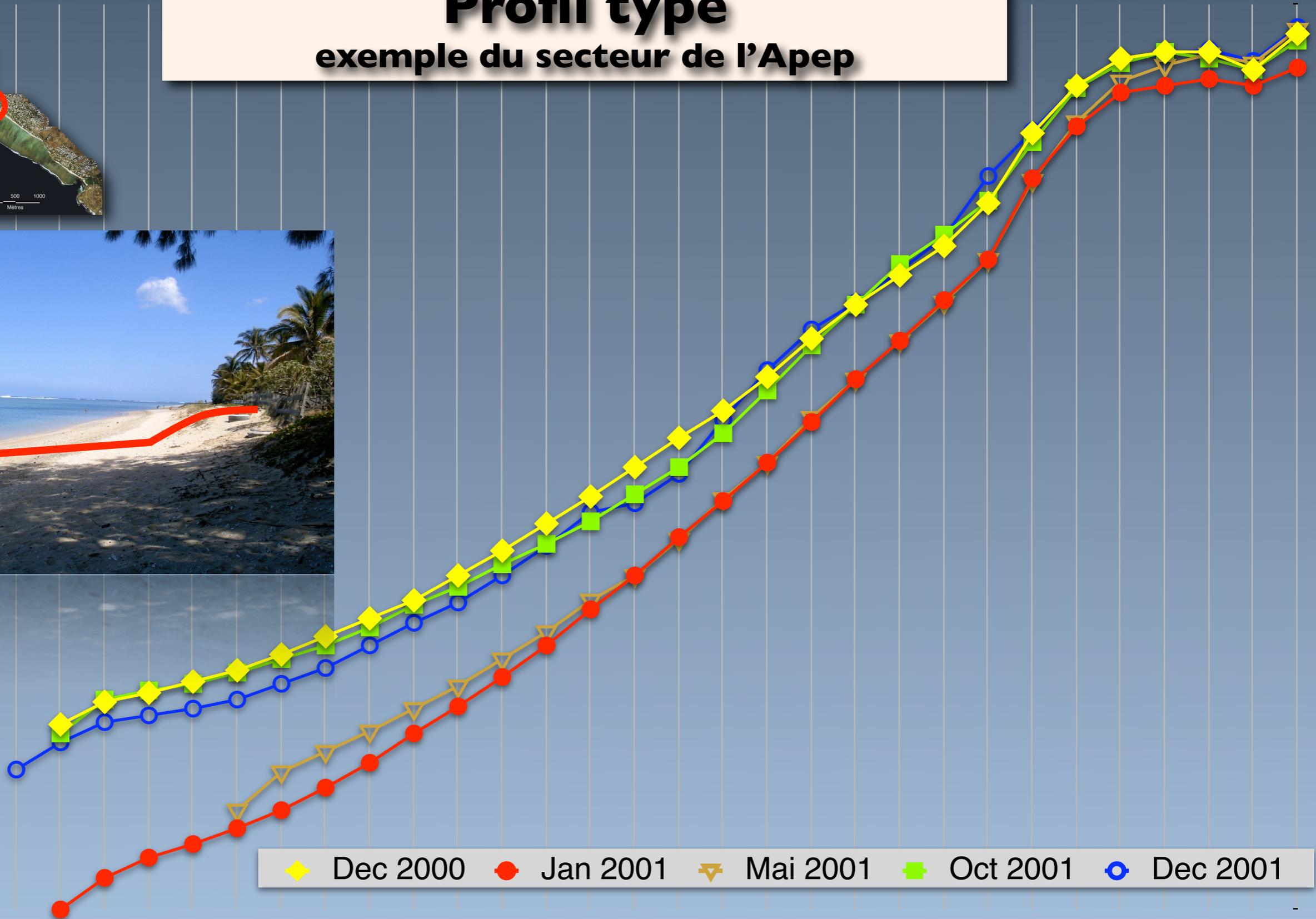
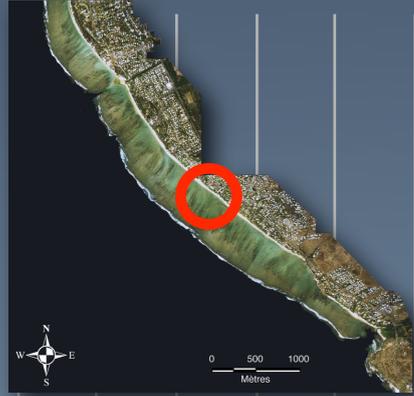


# Profil type

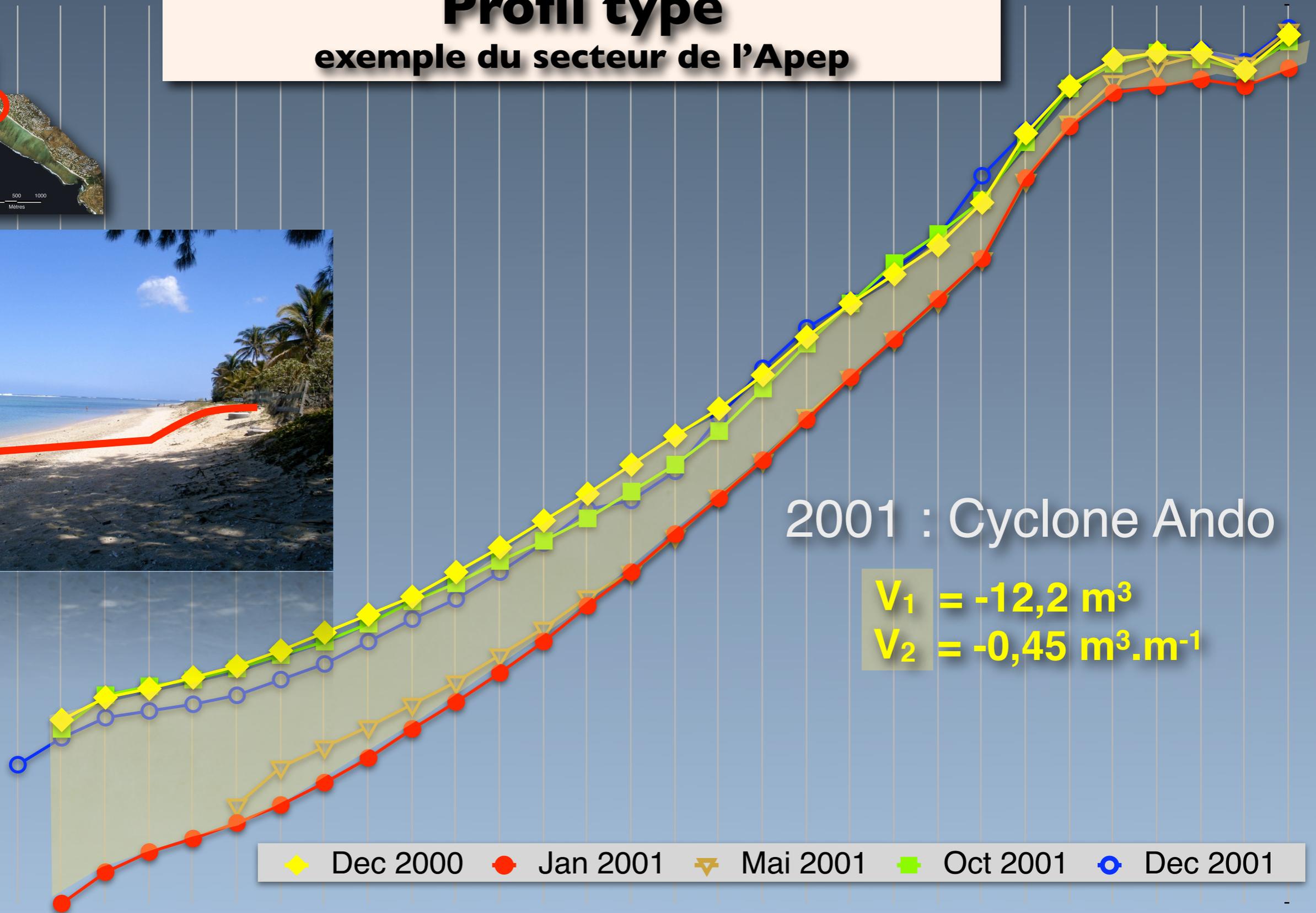
## exemple du secteur de l'Apep



# Profil type exemple du secteur de l'Apep

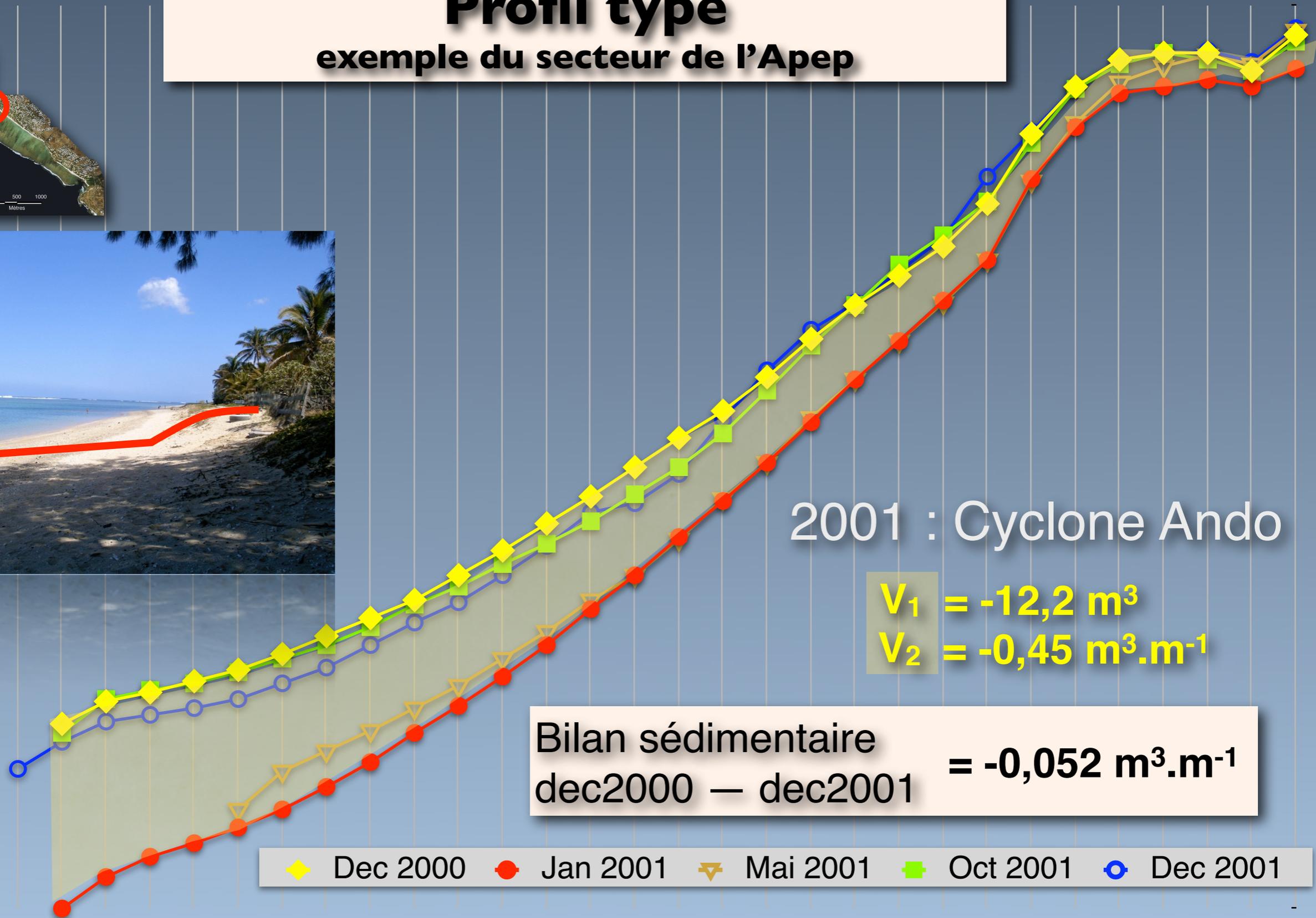


# Profil type exemple du secteur de l'Apep



◆ Dec 2000   ● Jan 2001   ▽ Mai 2001   ■ Oct 2001   ○ Dec 2001

# Profil type exemple du secteur de l'Apep



2001 : Cyclone Ando

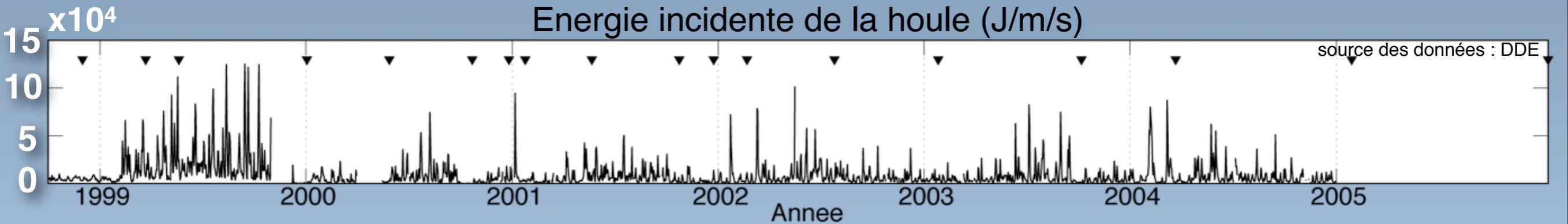
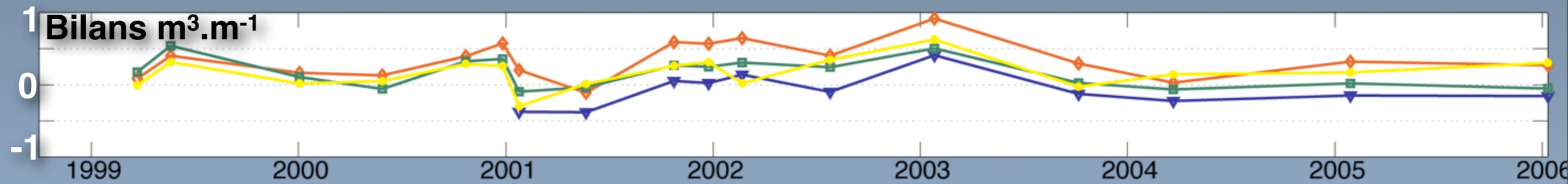
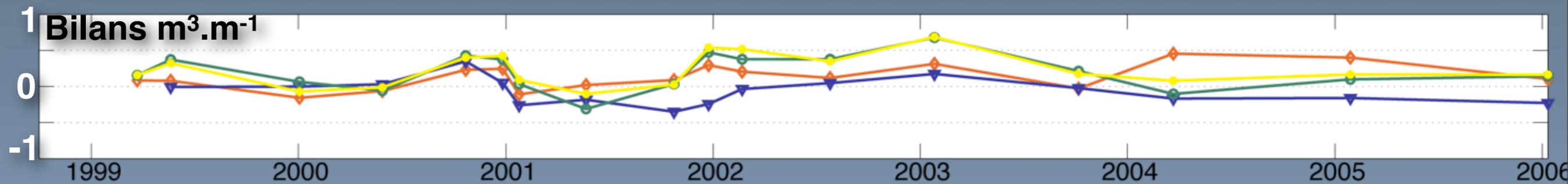
$$V_1 = -12,2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = -0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$$

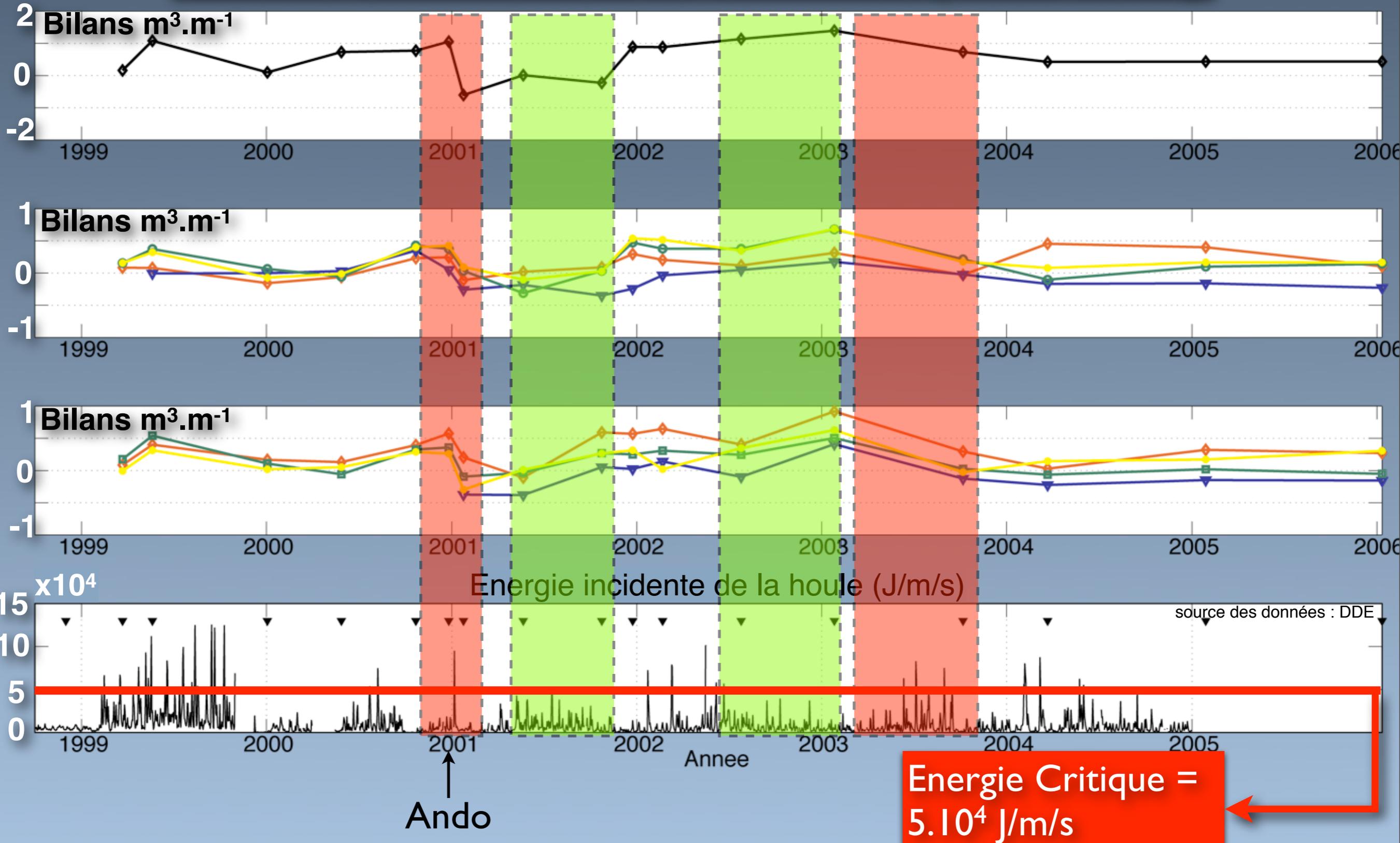
Bilan sédimentaire  
 dec2000 — dec2001 = **-0,052 m<sup>3</sup>.m<sup>-1</sup>**

- ◆ Dec 2000
- Jan 2001
- ▼ Mai 2001
- Oct 2001
- Dec 2001

# Bilans Sédimentaires Cumulés (1999-2006)



# Bilans Sédimentaires Cumulés (1999-2006)



# CONCLUSIONS MORPHODYNAMIQUES

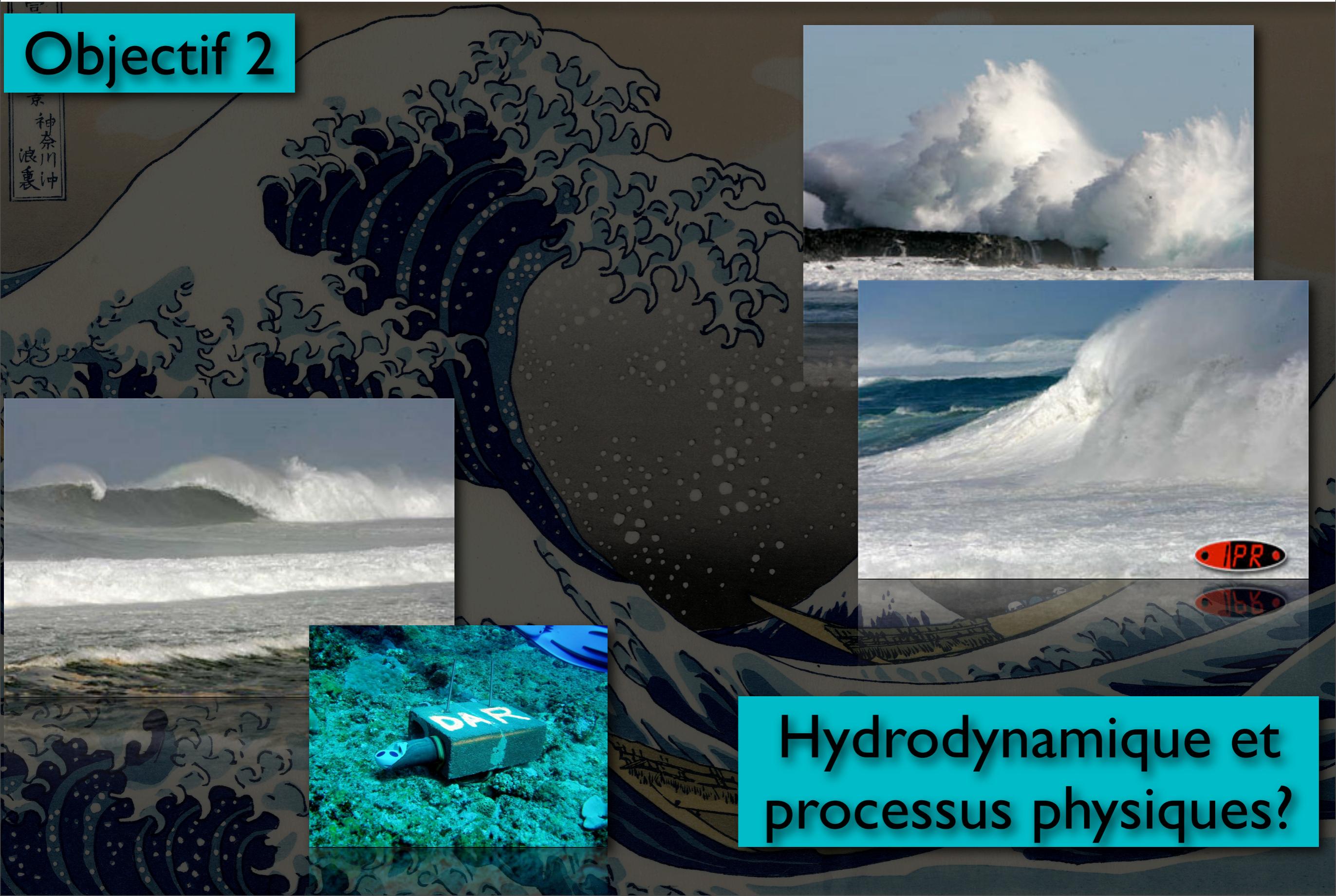


**Des plages en  
limite d'équilibre  
sédimentaire**

**Un seuil critique  
d'énergie de la houle  
du large  $E_c 5.10^4$   
 $J.m^{-1}.s^{-1}$**



# Objectif 2

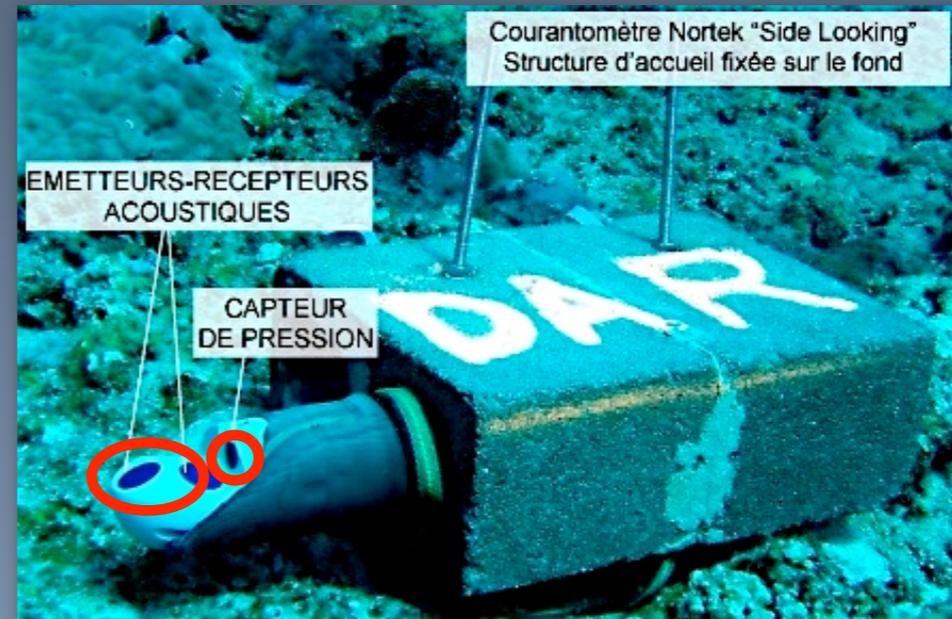
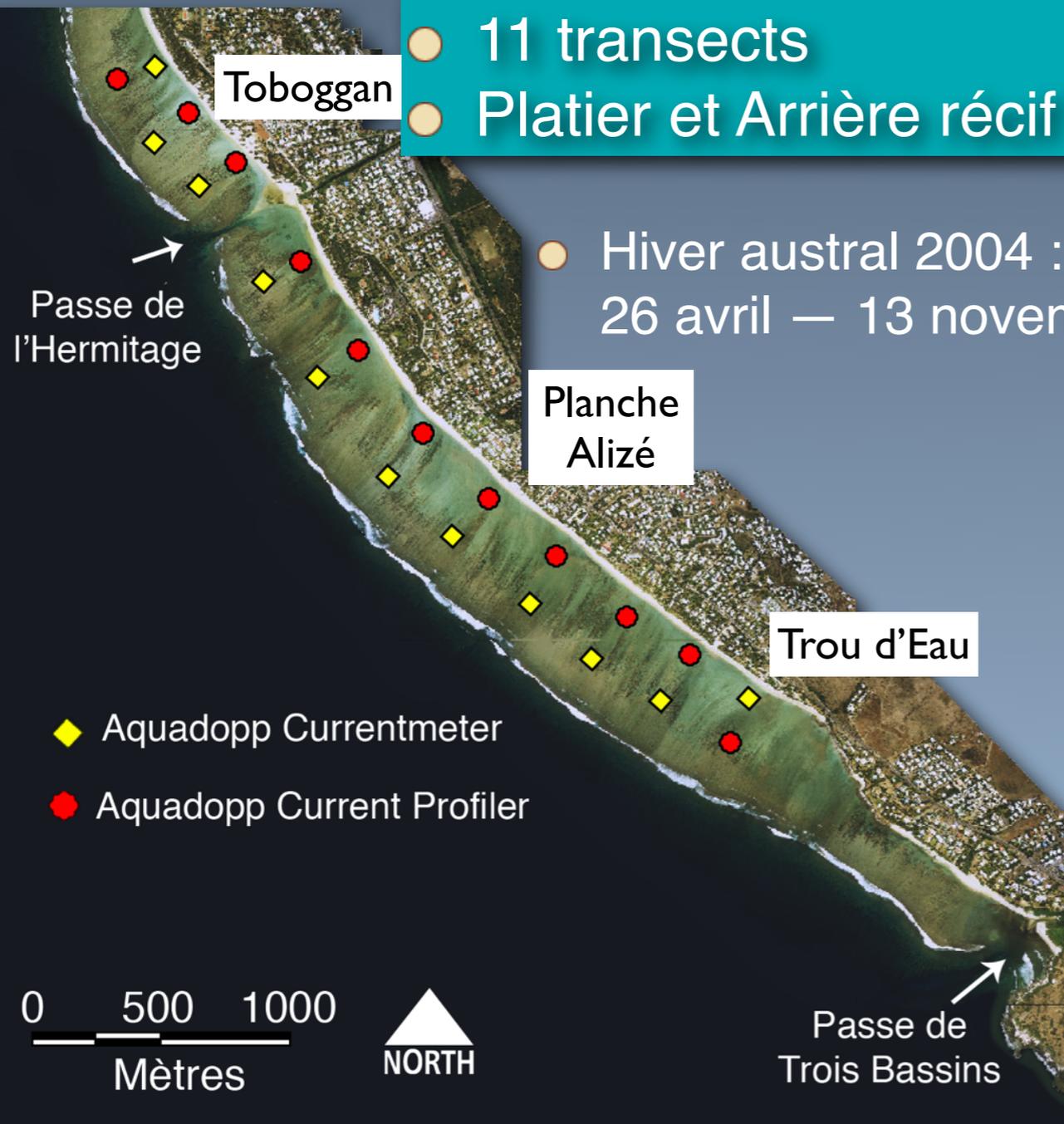


Hydrodynamique et  
processus physiques?

# MESURES HYDRODYNAMIQUES

- 11 transects
- Platier et Arrière récif

- Hiver austral 2004 :  
26 avril — 13 novembre



=> 36 campagnes de  
mesures

=> plus de 850 heures  
d'enregistrements  
hydrodynamiques

1

Transfert d'énergie entre océan et récif



L'élévation du plan d'eau

Périodes Nature des Ondes

0 – 3 s	Ondes de courtes périodes
3 – 8 s	Vagues, générées par le vent
8 – 20 s	Houles océaniques

2

Circulation des masses d'eau dans le récif



Vitesse et directions du courant



Variations spatiales et temporelles de la circulation

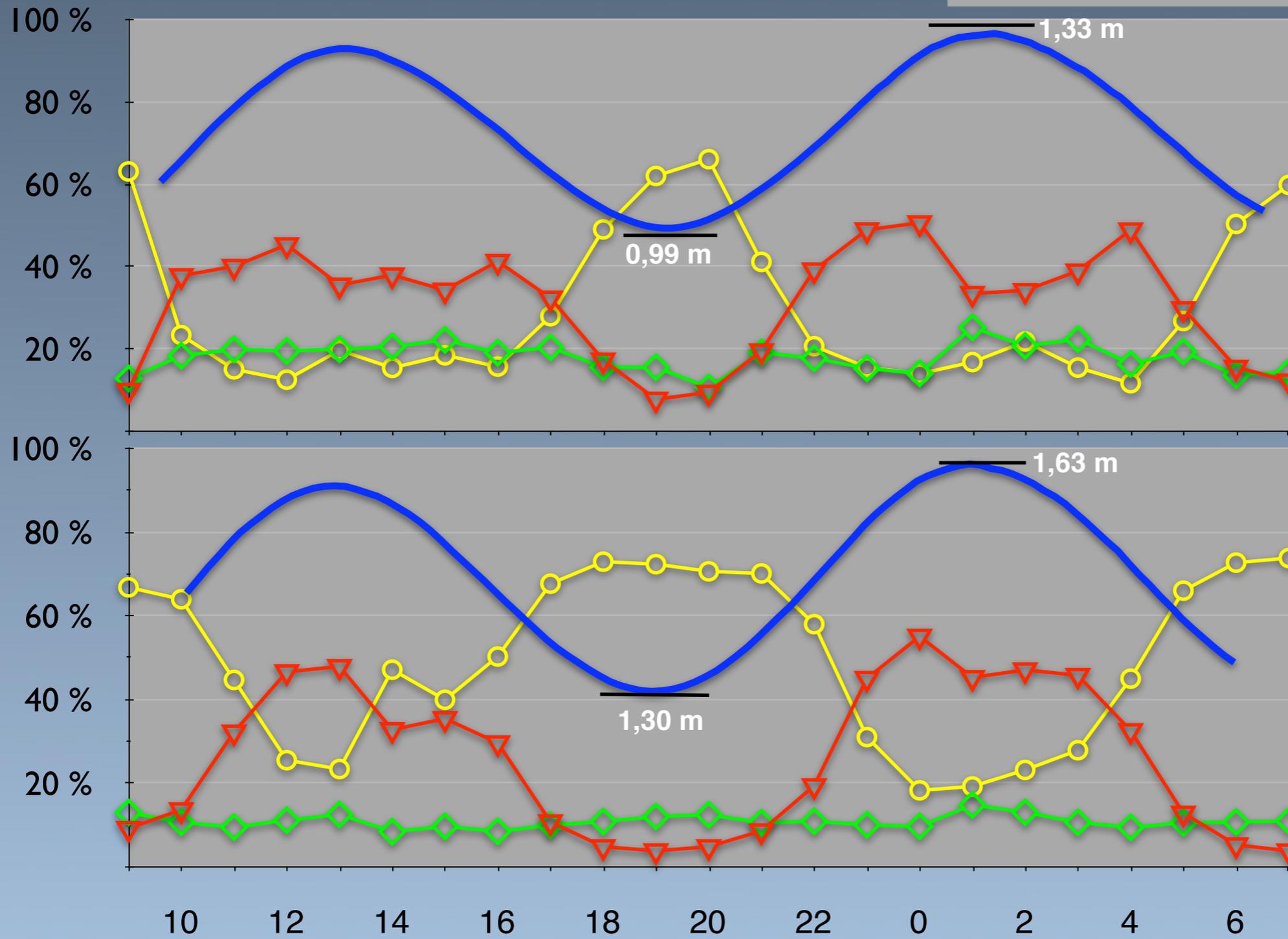
Régime Calme =  $H_s < 1 \text{ m}$  ; Vent  $\leq 5 \text{ m/s}$

Régime Agité =  $H_s \geq 1 \text{ m}$  ; Vent  $> 5 \text{ m/s}$

# Transfert d'énergie en régime calme

- ▼ houle 8-20 s
- ◇ vagues de vent 3-8 s
- ondes de courtes périodes 0-3 s
- Marée

% énergie des 3 domaines d'ondes



PLATIER

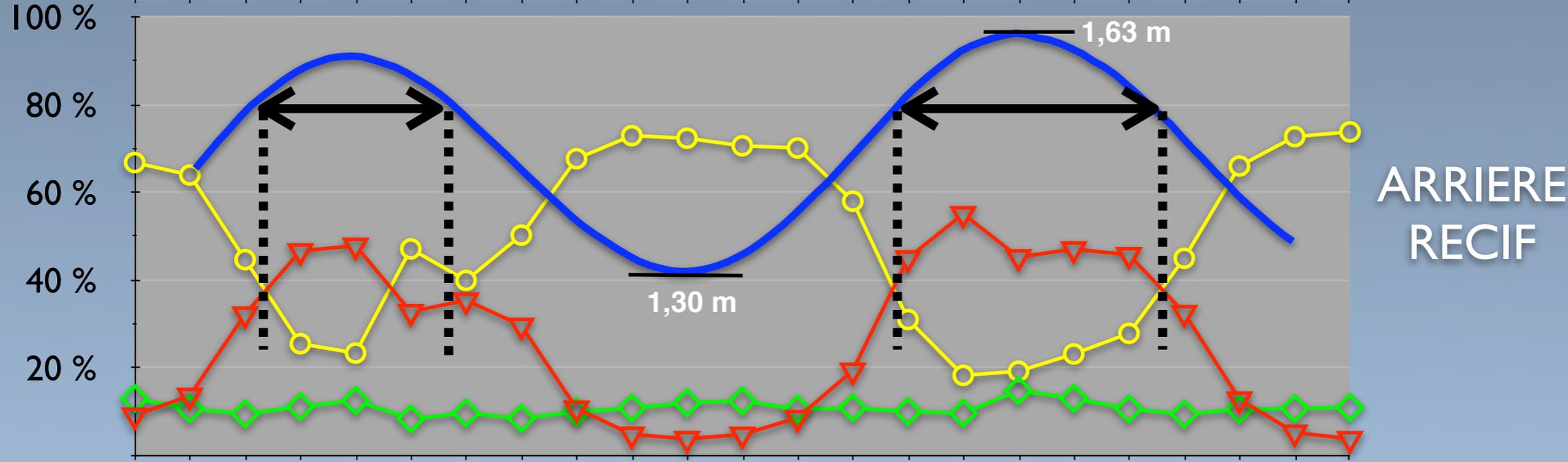
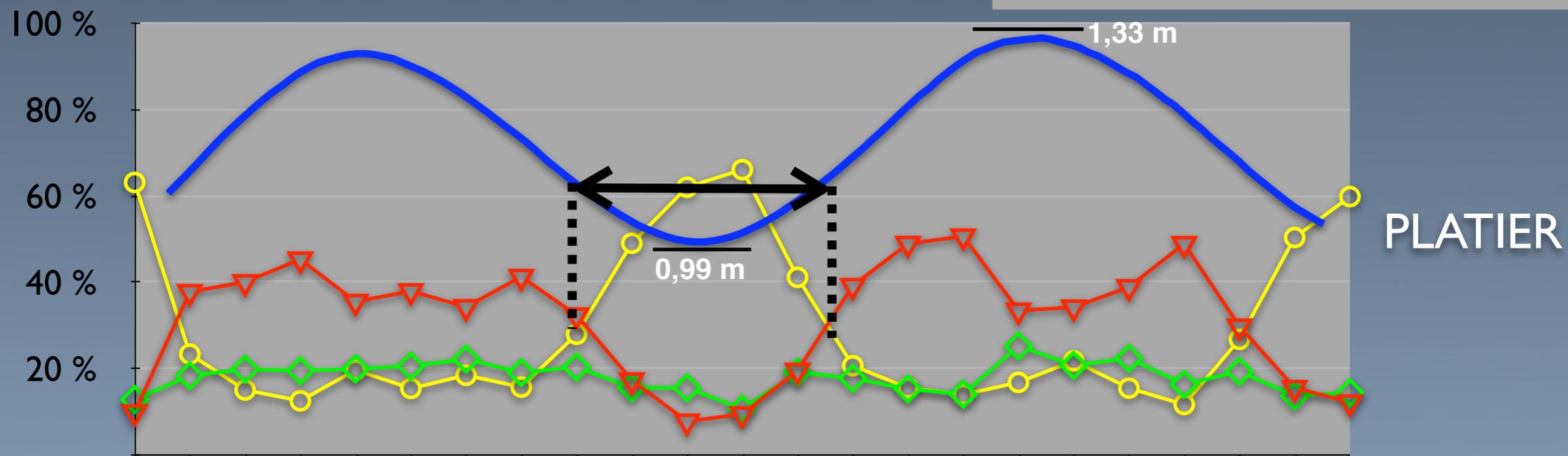
ARRIERE RECIF

Temps (h)

# Transfert d'énergie en régime calme

- houle 8-20 s
- vagues de vent 3-8 s
- ondes de courtes périodes 0-3 s
- Marée

% énergie des 3 domaines d'ondes

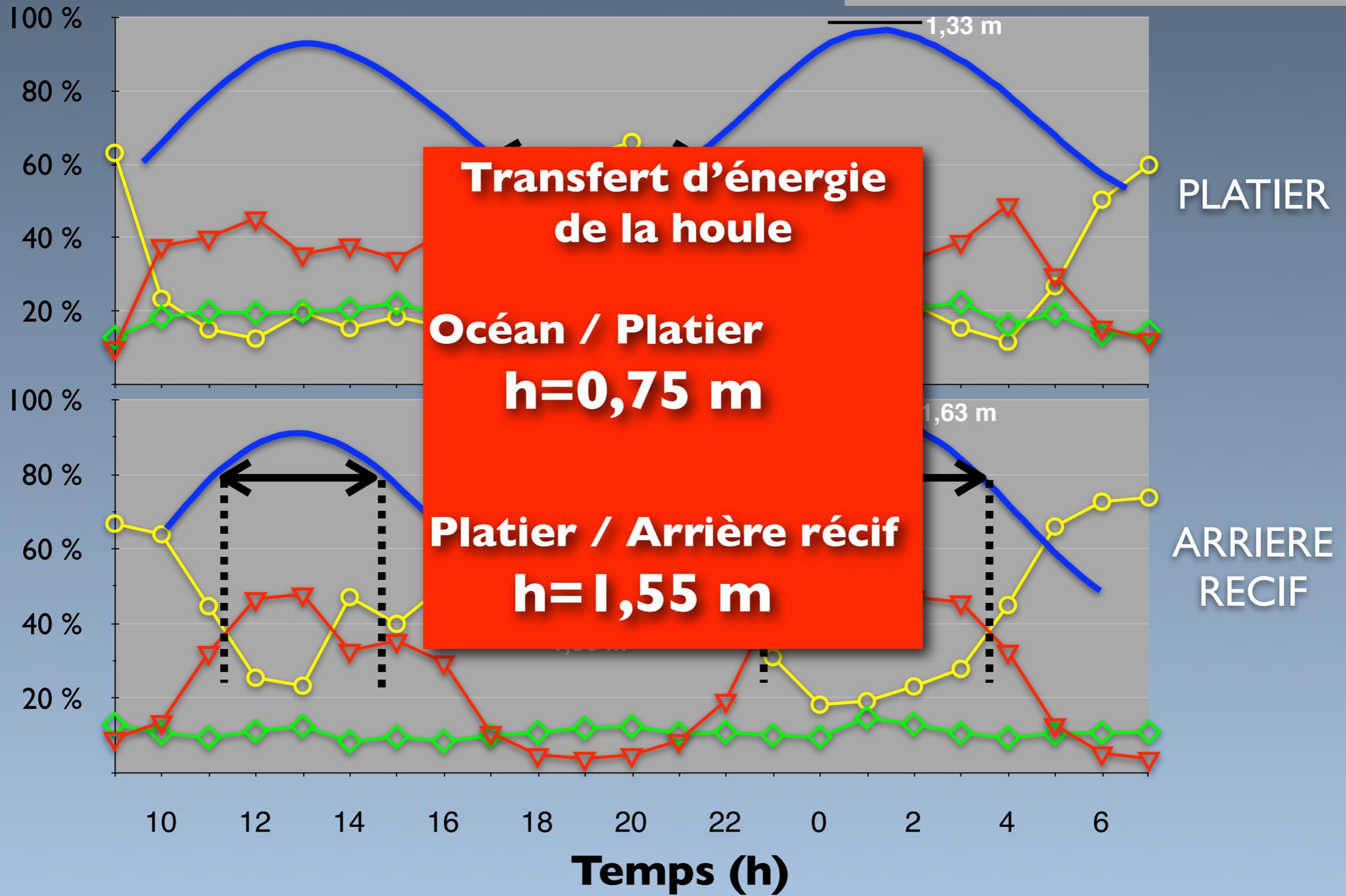


Temps (h)

# Transfert d'énergie en régime calme

- ▼ houle 8-20 s
- ◇ vagues de vent 3-8 s
- ondes de courtes périodes 0-3 s
- Marée

% énergie des 3 domaines d'ondes



# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



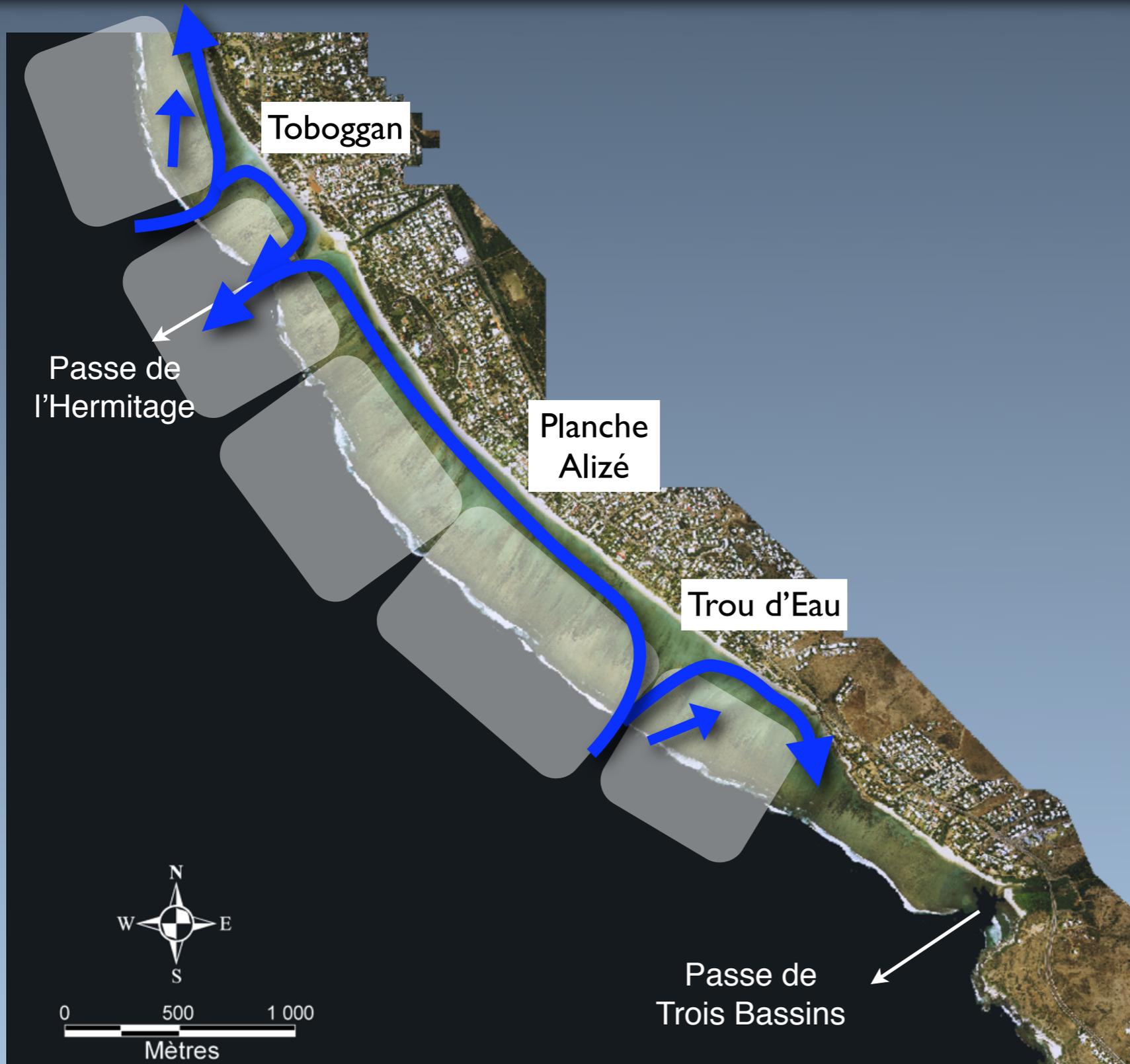
# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



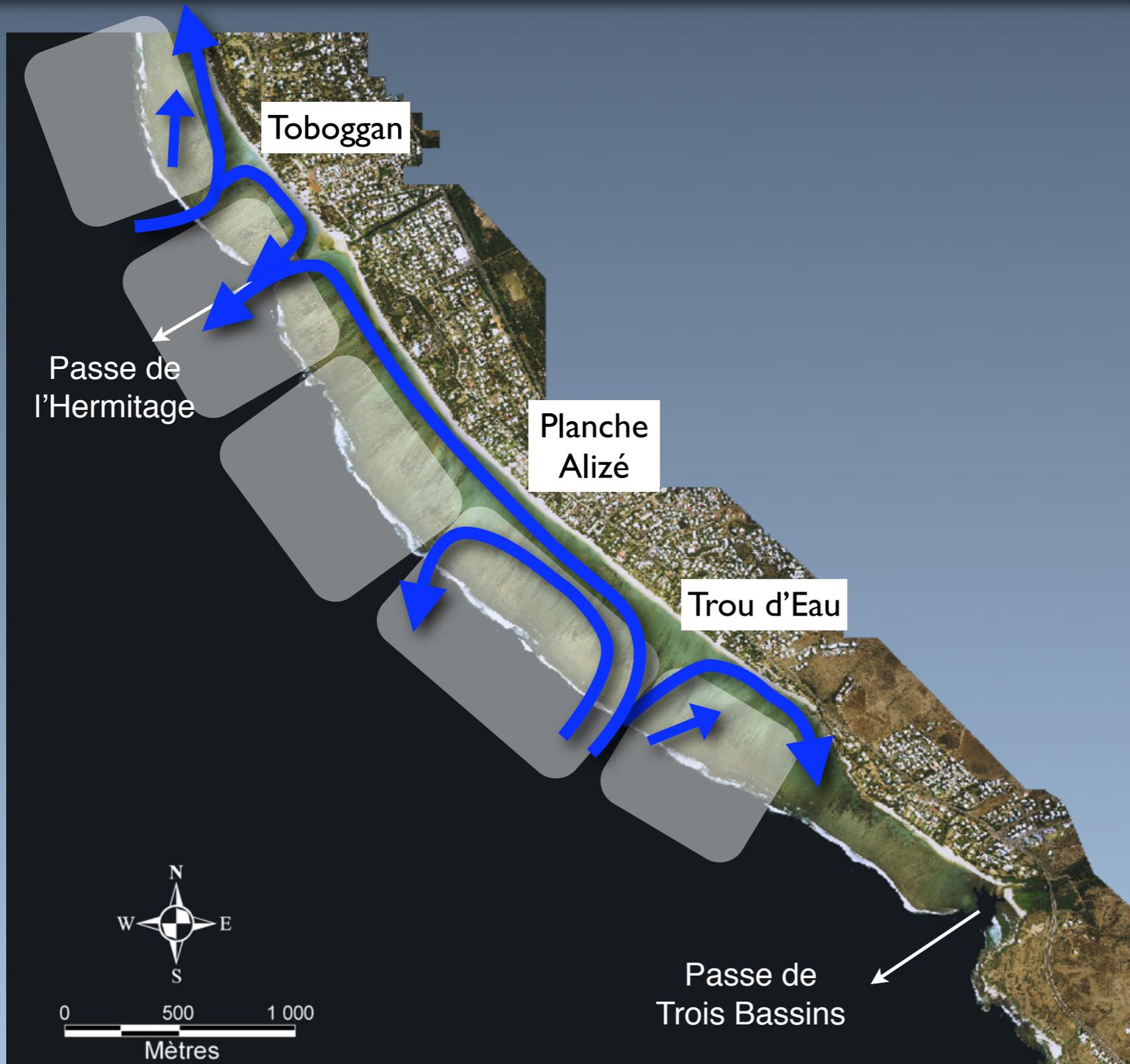
# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



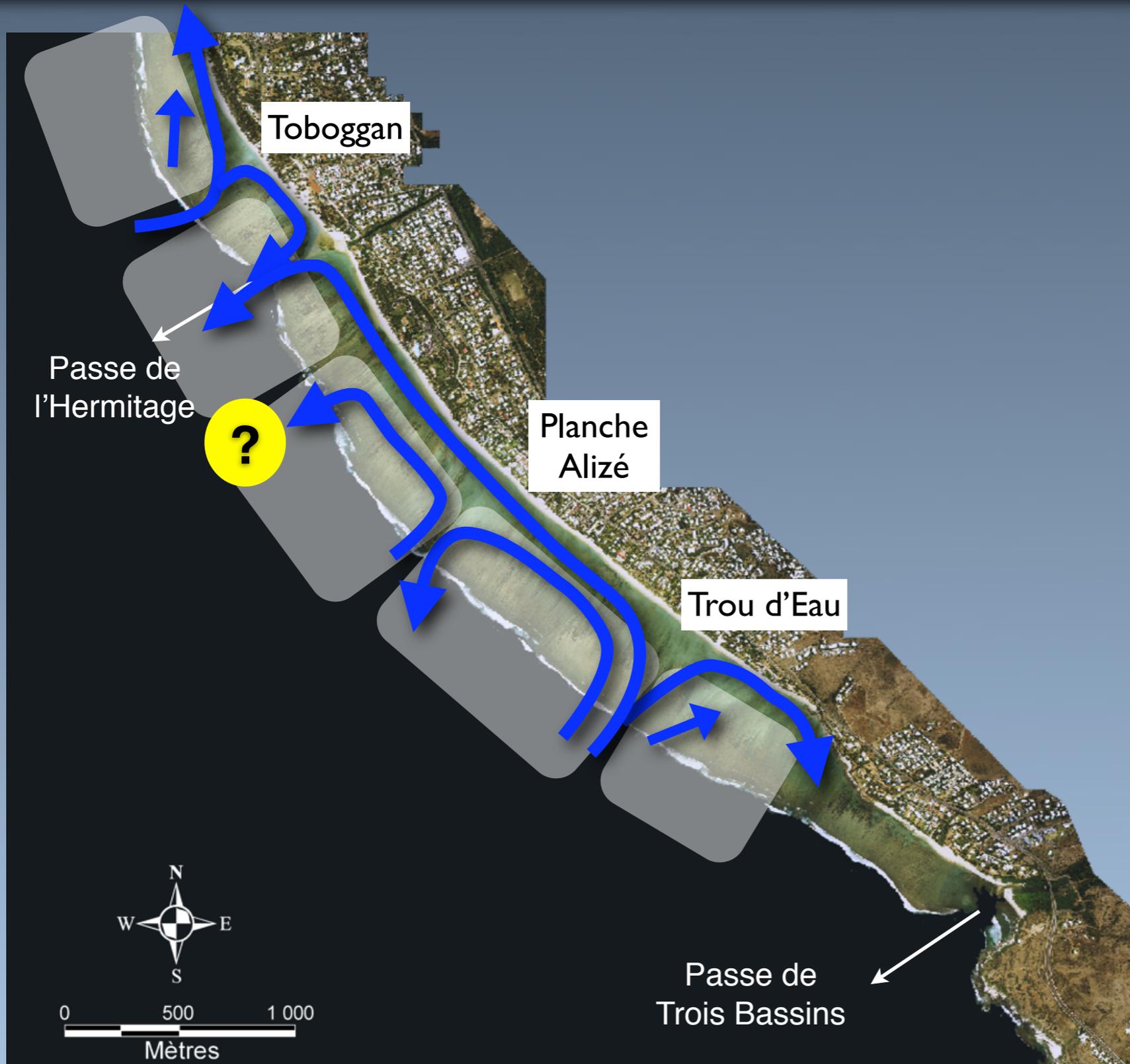
# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



# Circulation des masses d'eau - Régime Calme

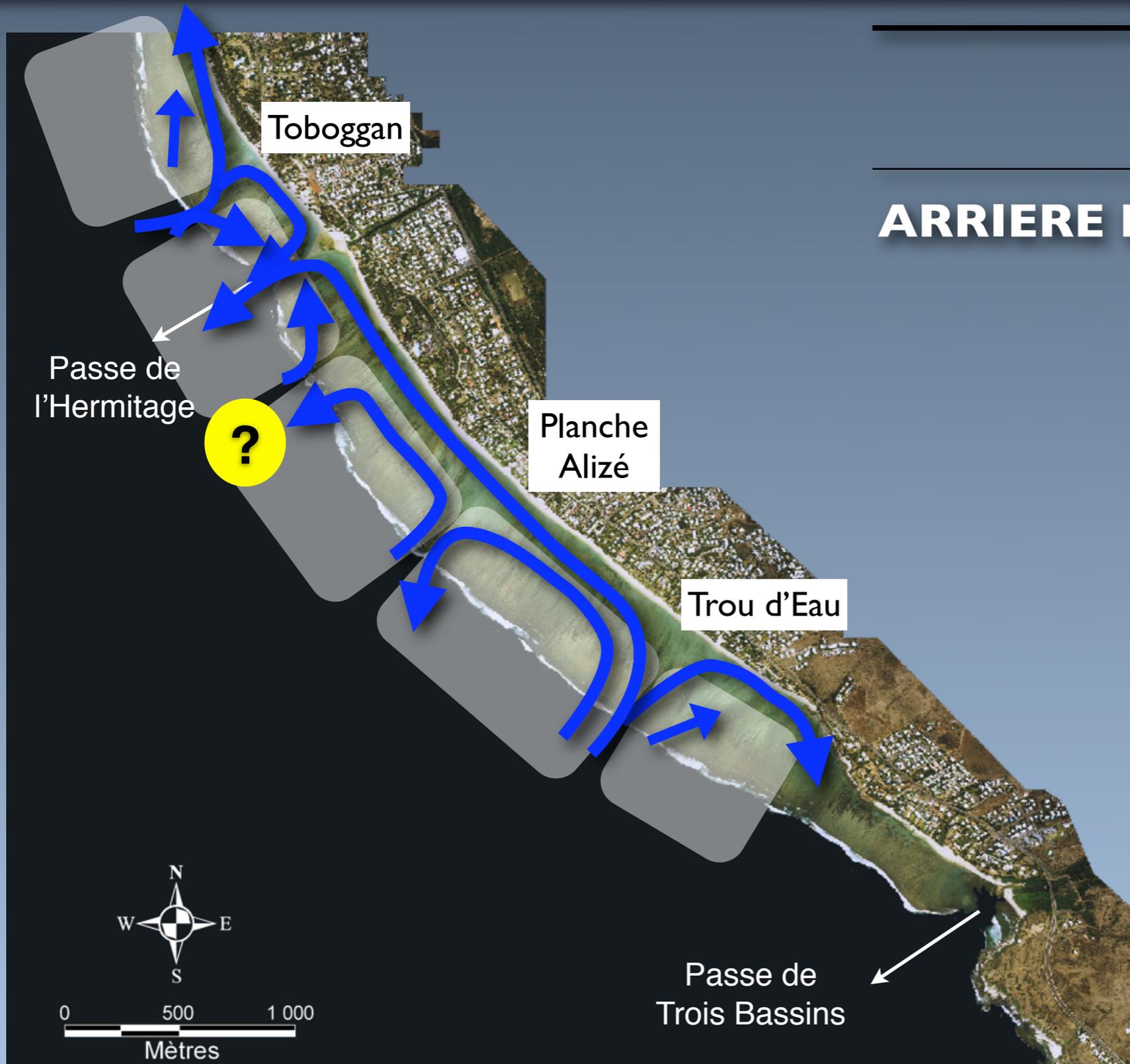


# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



vitesse  
moyennes

# Circulation des masses d'eau - Régime Calme

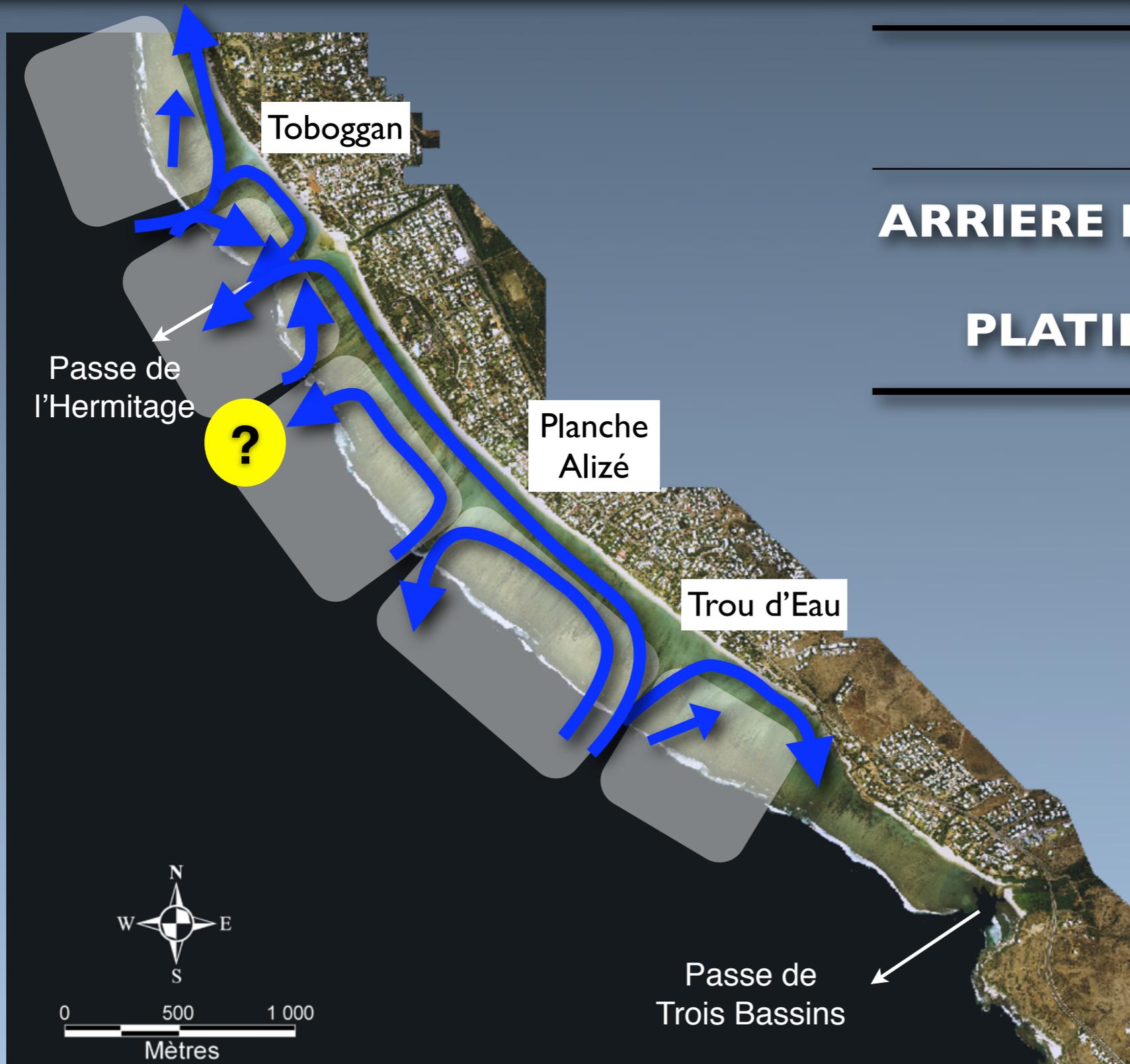


vitesse  
moyennes

**ARRIERE RECIF**

**13 à 20 cm/s**

# Circulation des masses d'eau - Régime Calme



vitesse  
moyennes

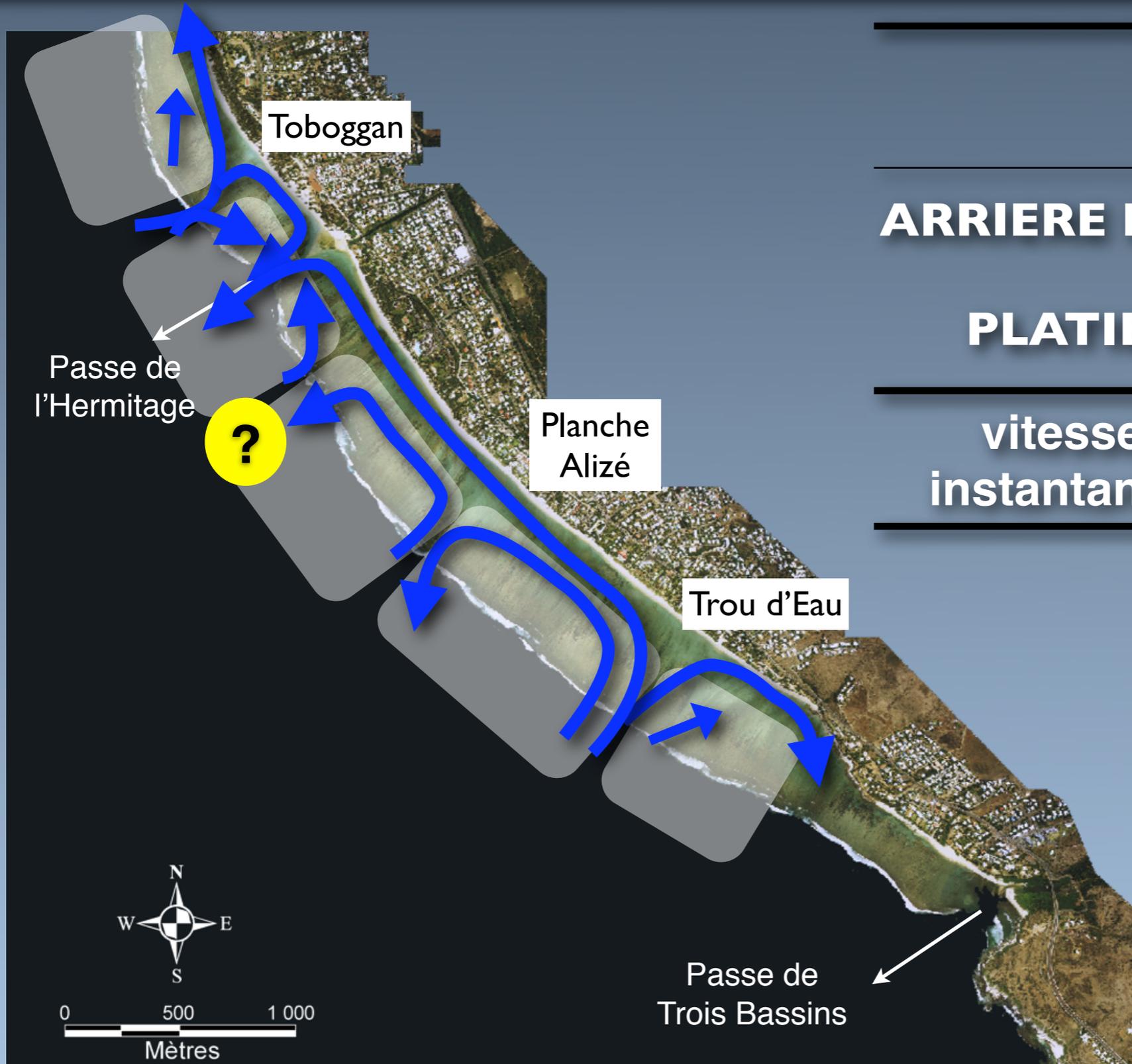
**ARRIERE RECIF**

**13 à 20 cm/s**

**PLATIER**

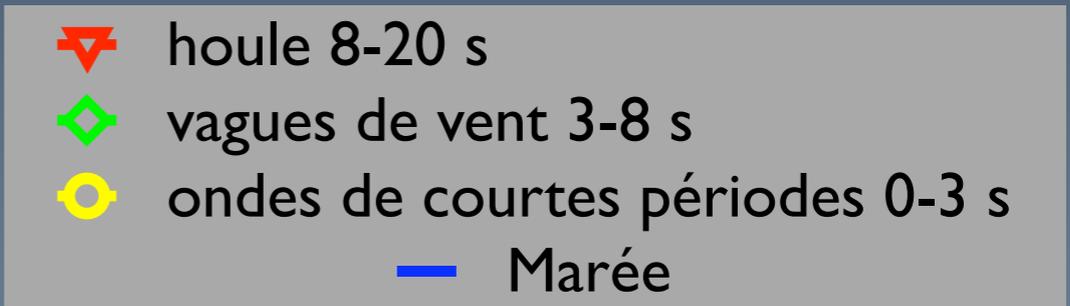
**8 à 13 cm/s**

# Circulation des masses d'eau - Régime Calme

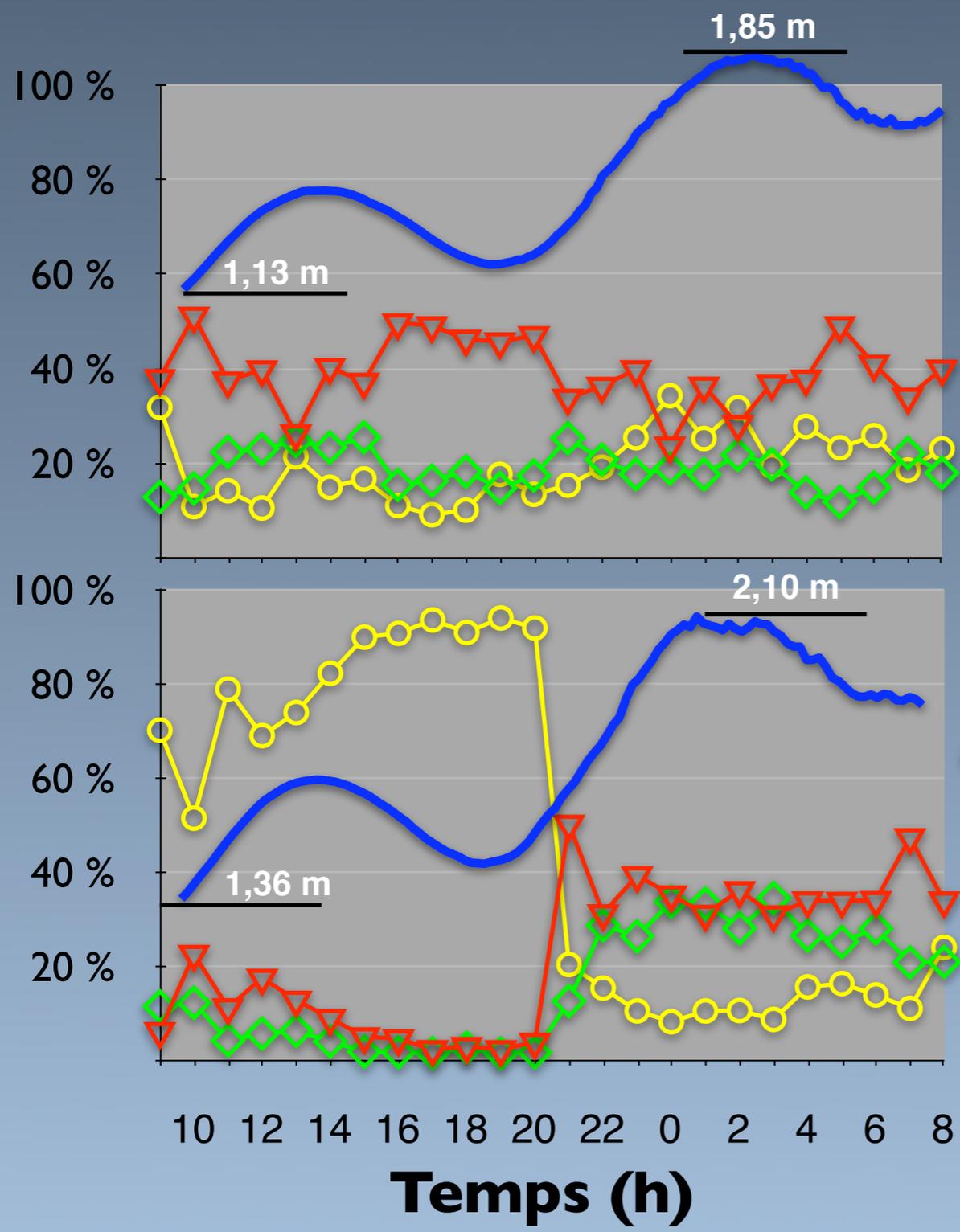


	vitesse moyennes
<b>ARRIERE RECIF</b>	<b>13 à 20 cm/s</b>
<b>PLATIER</b>	<b>8 à 13 cm/s</b>
<b>vitesse instantanées</b>	<b>50 — 70 cm/s</b>

# Transfert d'énergie en régime agité



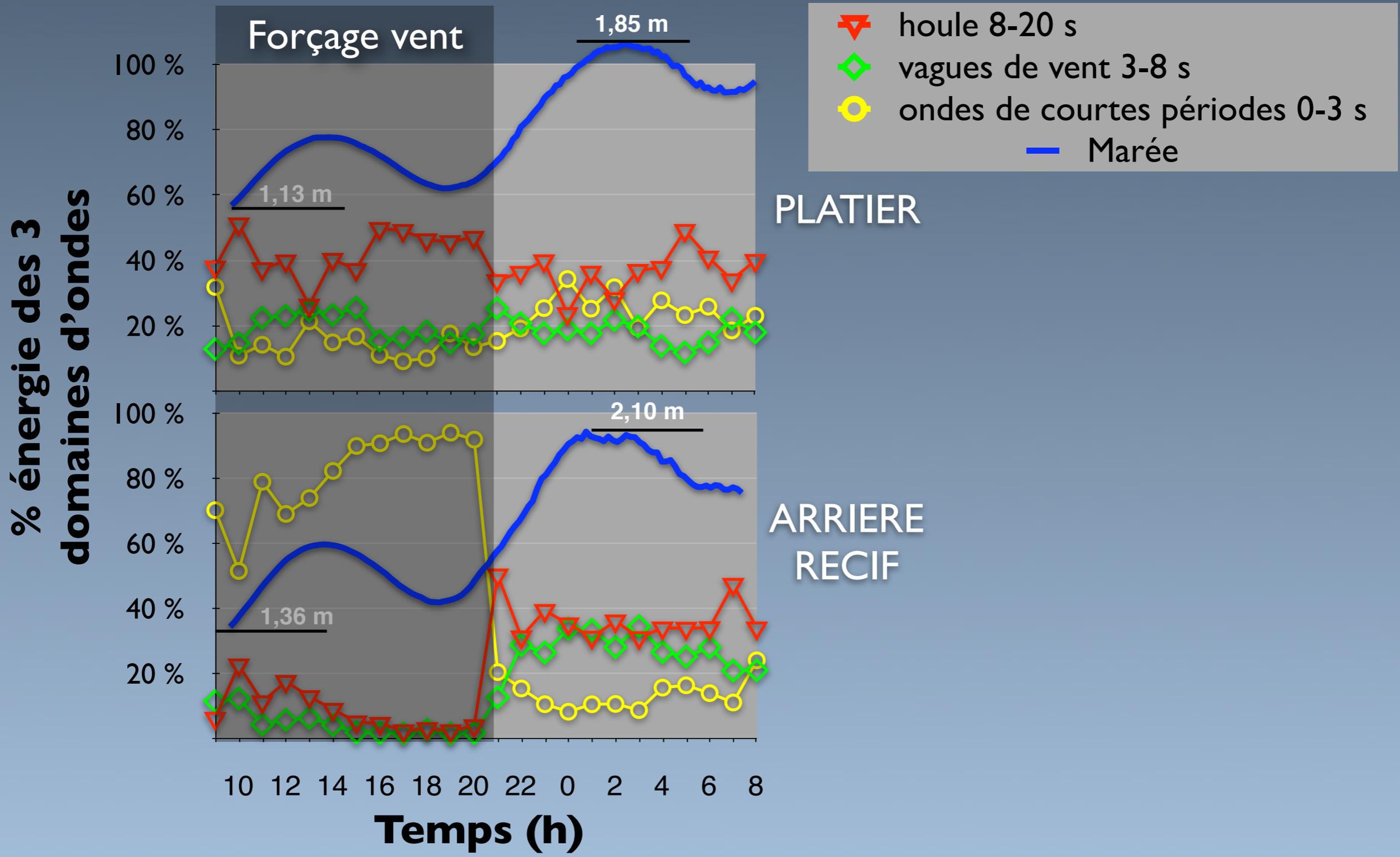
% énergie des 3 domaines d'ondes



PLATIER

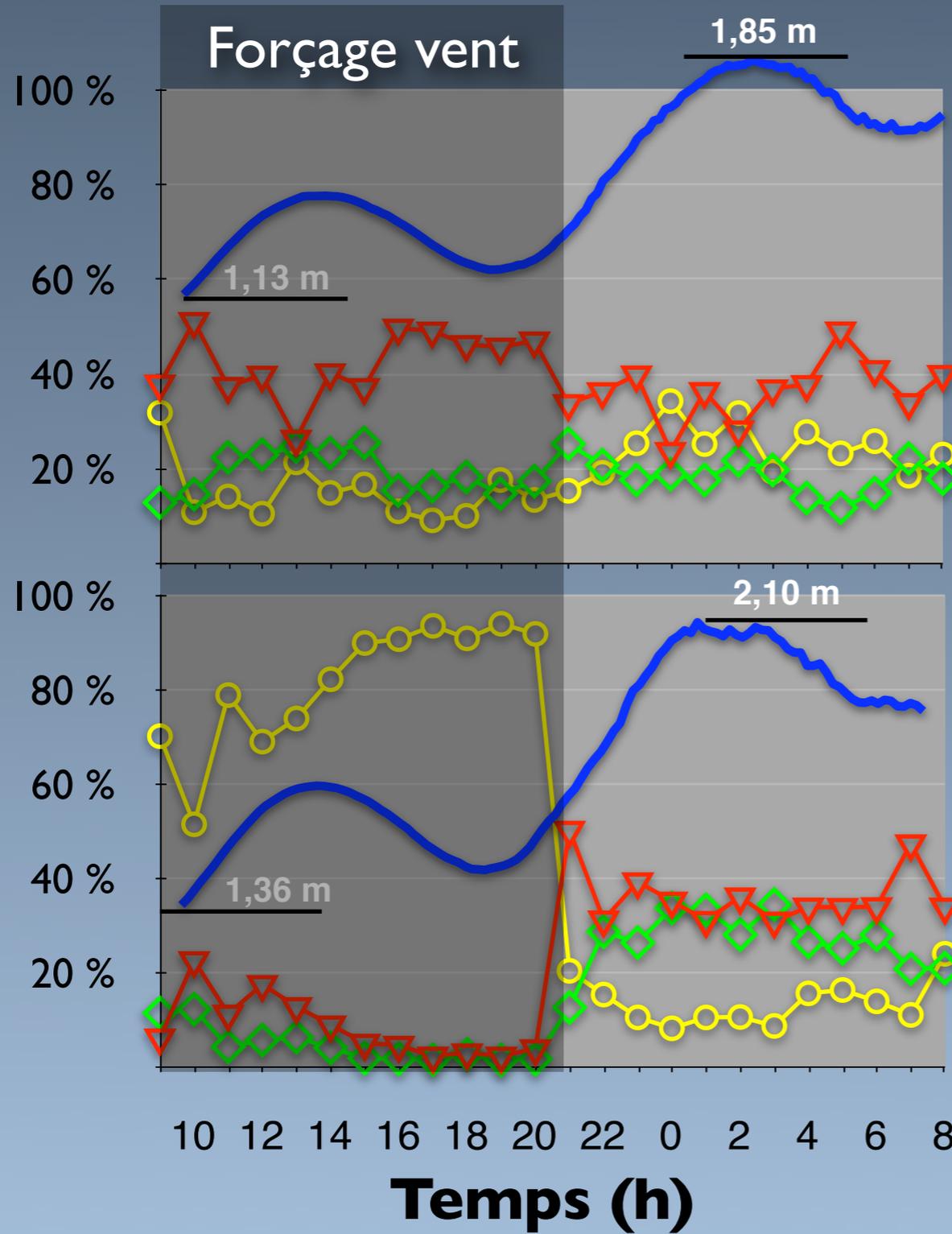
ARRIERE RECIF

# Transfert d'énergie en régime agité



# Transfert d'énergie en régime agité

% énergie des 3 domaines d'ondes



- ▼ houle 8-20 s
- ◇ vagues de vent 3-8 s
- ondes de courtes périodes 0-3 s
- Marée

PLATIER

ARRIERE RECIF

**Forçage par le vent**



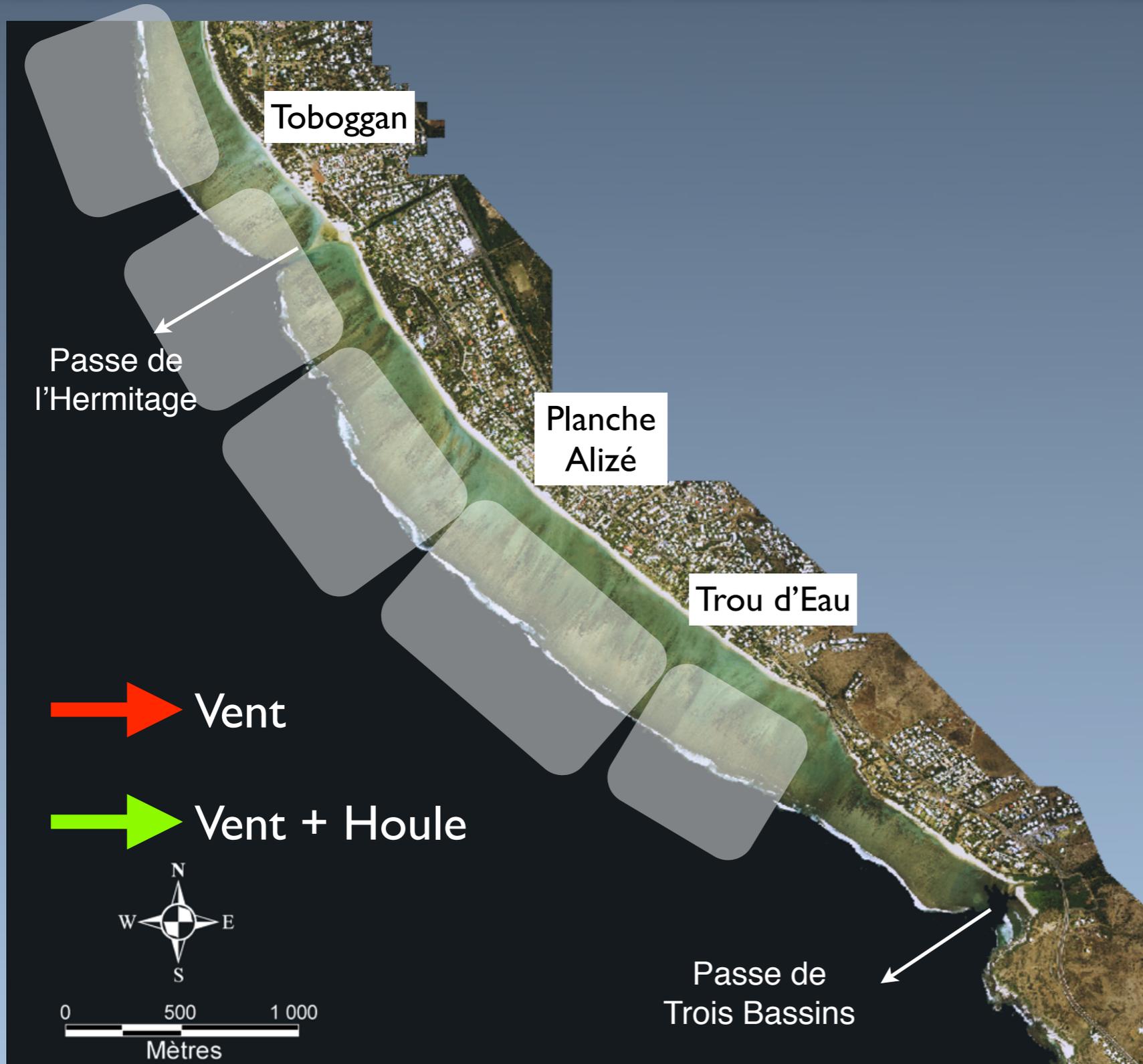
**Phénomènes de courtes périodes en arrière récif**

**Forçage par houle+vent**

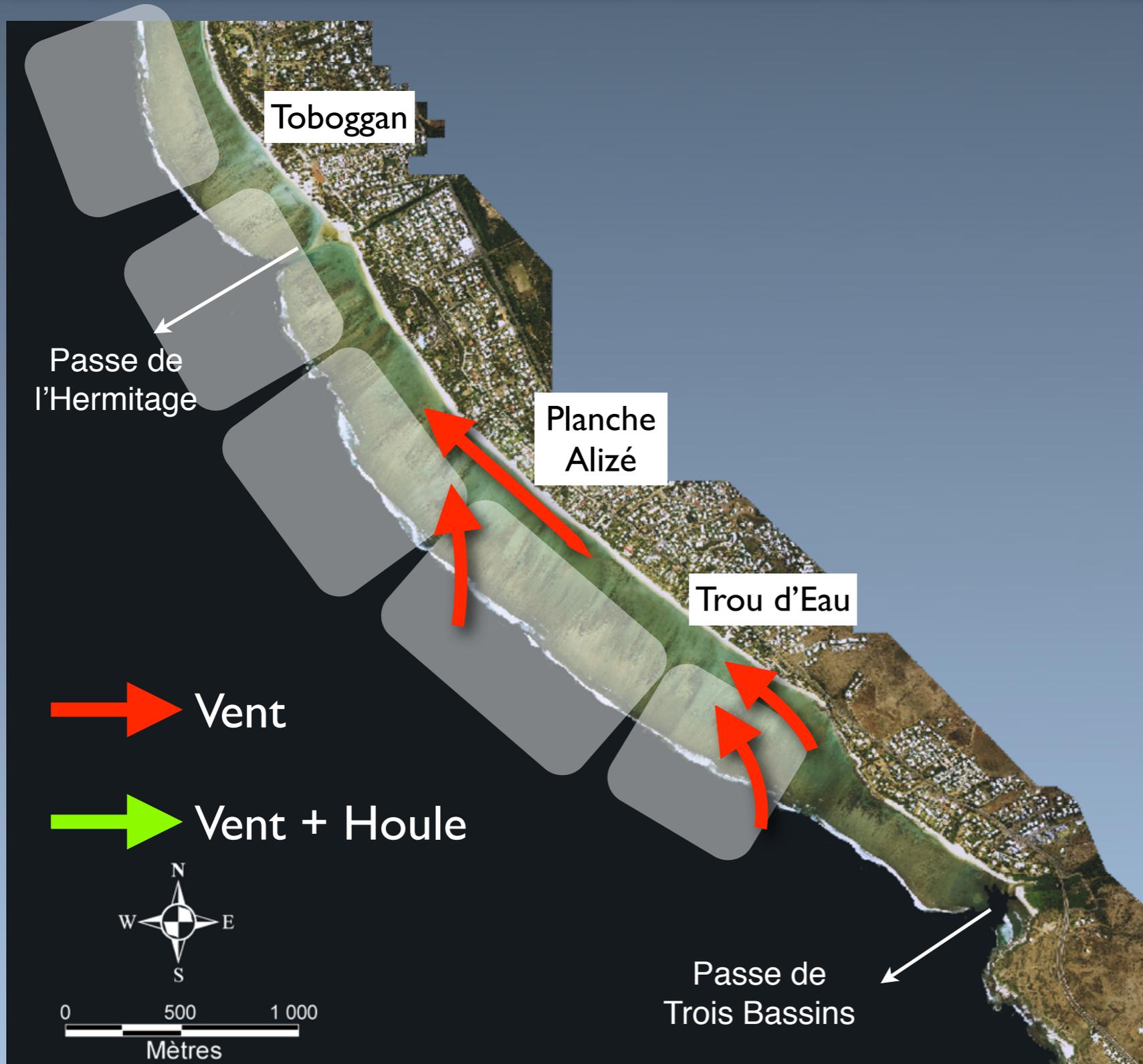


**Houles**

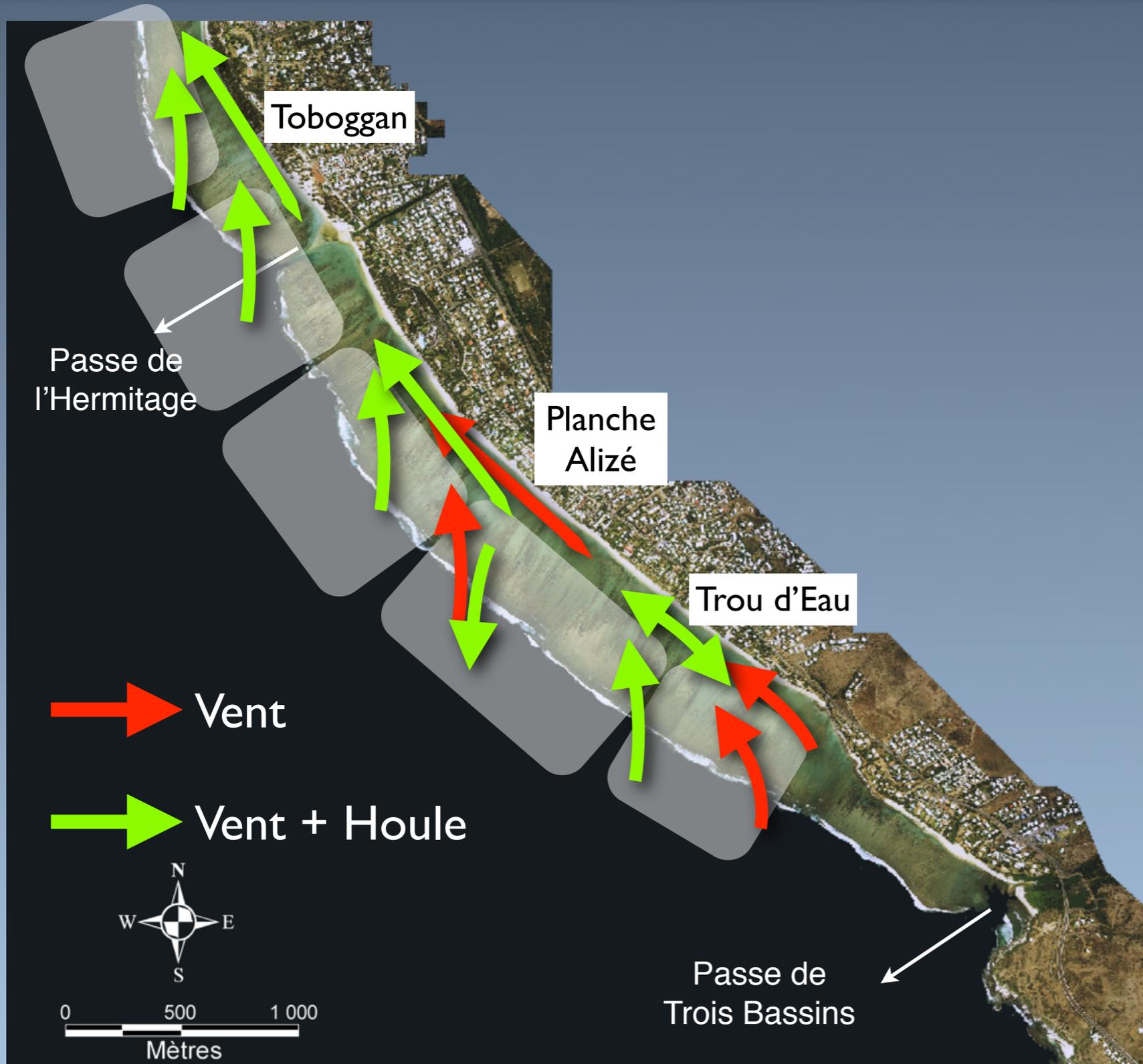
# Circulation des masses d'eau - Régime agité



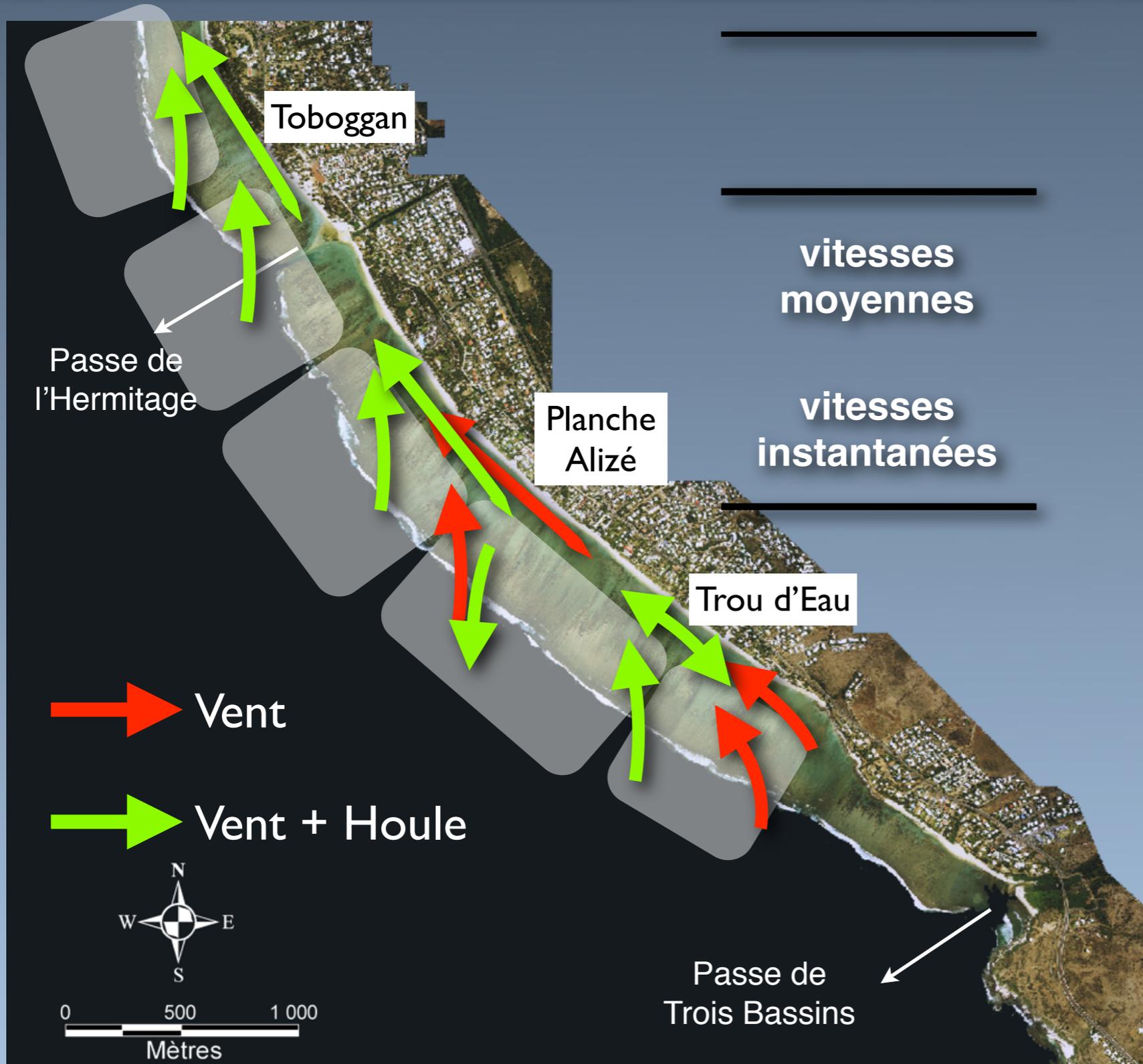
# Circulation des masses d'eau - Régime agité



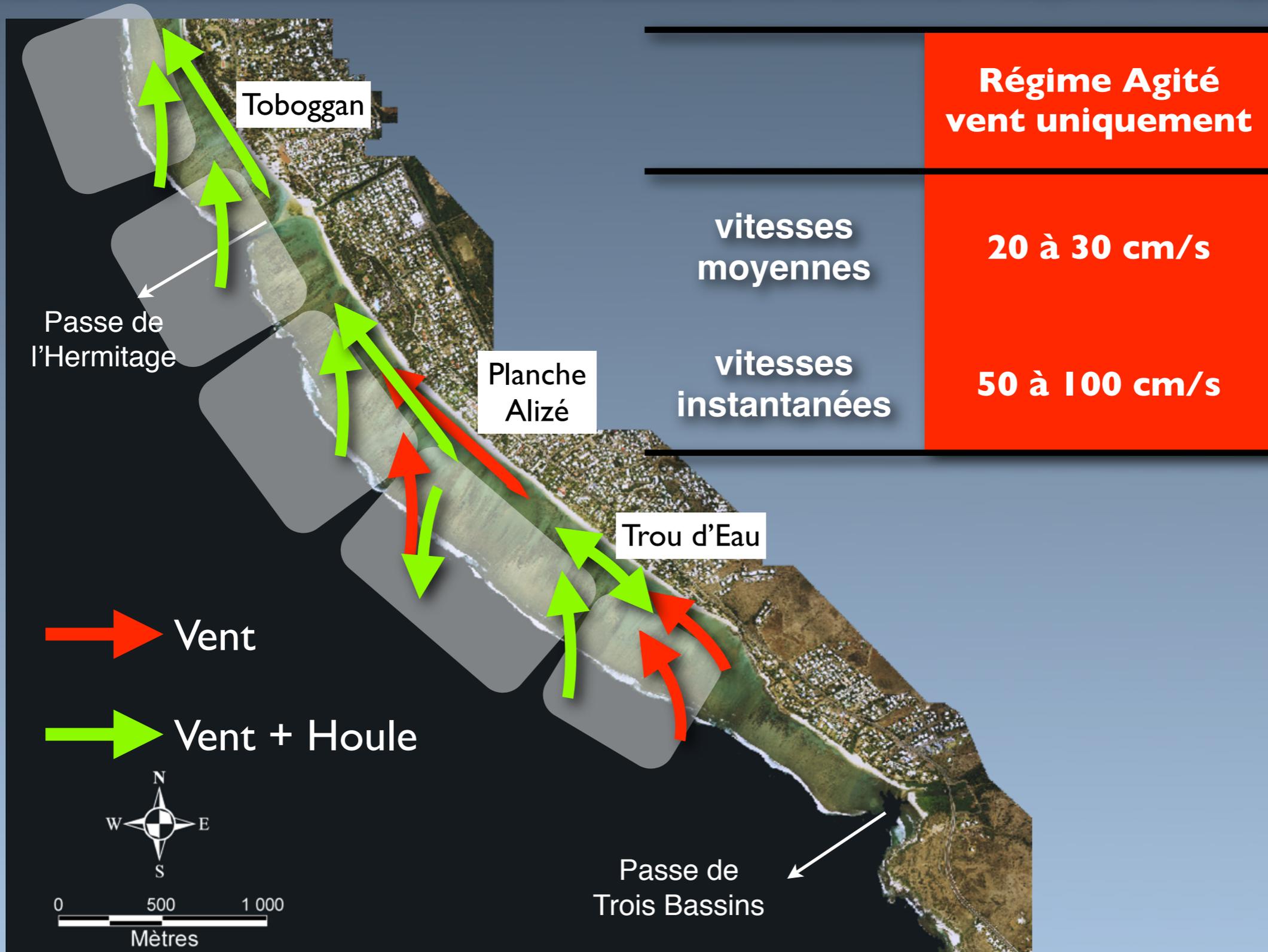
# Circulation des masses d'eau - Régime agité



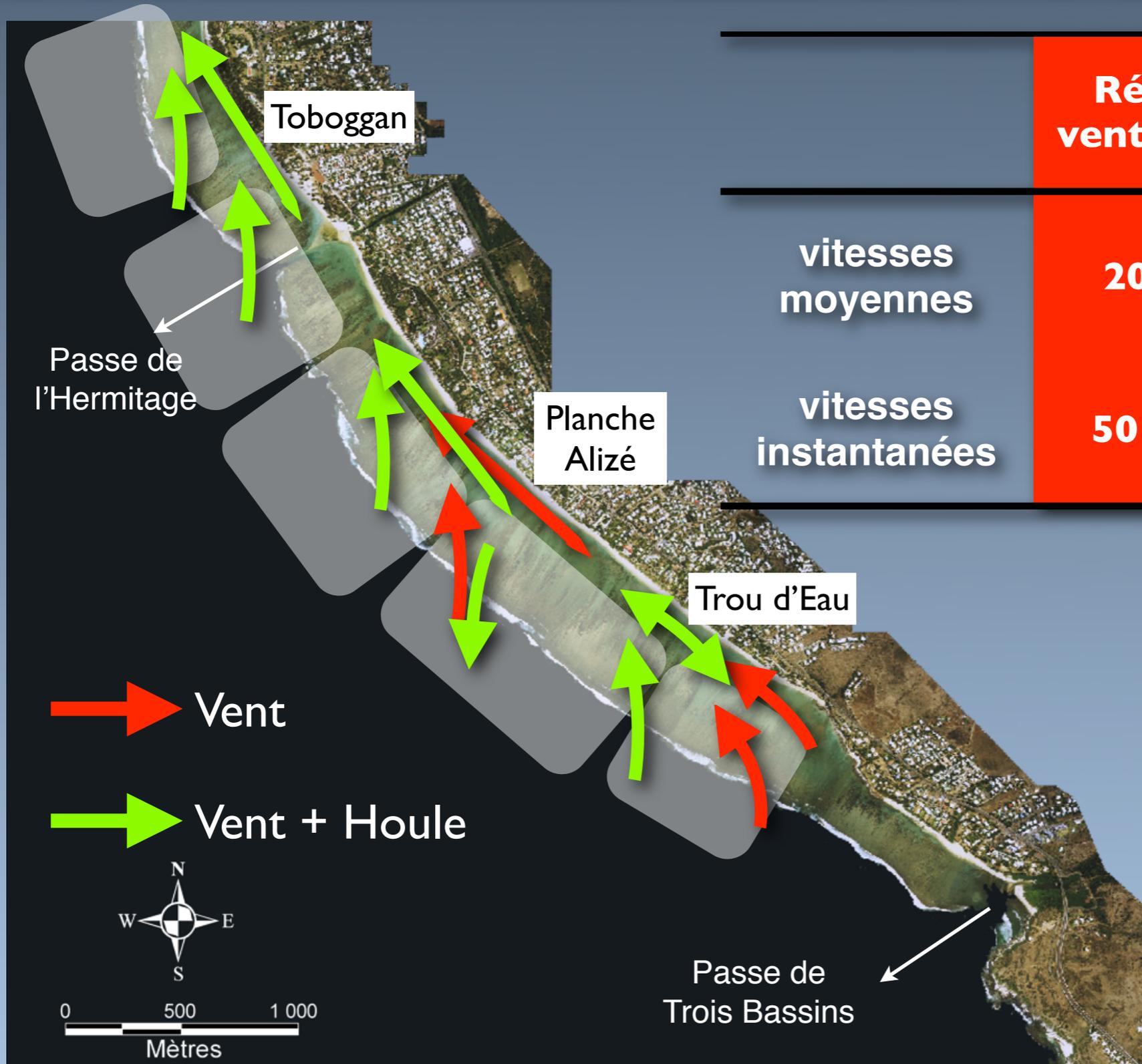
# Circulation des masses d'eau - Régime agité



# Circulation des masses d'eau - Régime agité



# Circulation des masses d'eau - Régime agité



**Régime Agité  
vent uniquement**

**Régime Agité  
vent + houle**

vitesse  
moyennes

**20 à 30 cm/s**

**20 à 30 cm/s  
> 30 cm/s**

vitesse  
instantanées

**50 à 100 cm/s**

**Jusqu'à 140 cm/s**

# CONCLUSIONS HYDRODYNAMIQUES

**Une profondeur critique pour laquelle le déferlement des vagues ne génère plus d'harmonique de haute fréquence**

**Une circulation récifale conditionnée par les forçages environnementaux et la géomorphologie du platier**

**➔ Remaniement sédimentaire principalement en régime agité  
Un potentiel en régime calme : courants instantanés**

## Objectif 3

Nature du stock  
sédimentaire ?

# Echantillonnage sédimentaire

- ➔ 20 Transects,  $Dx = 200$  m
- ➔ Echantillonnage = 20 m

➔ **184 Echantillons**

Houle  
 $E > 1.10^4 \text{ J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$

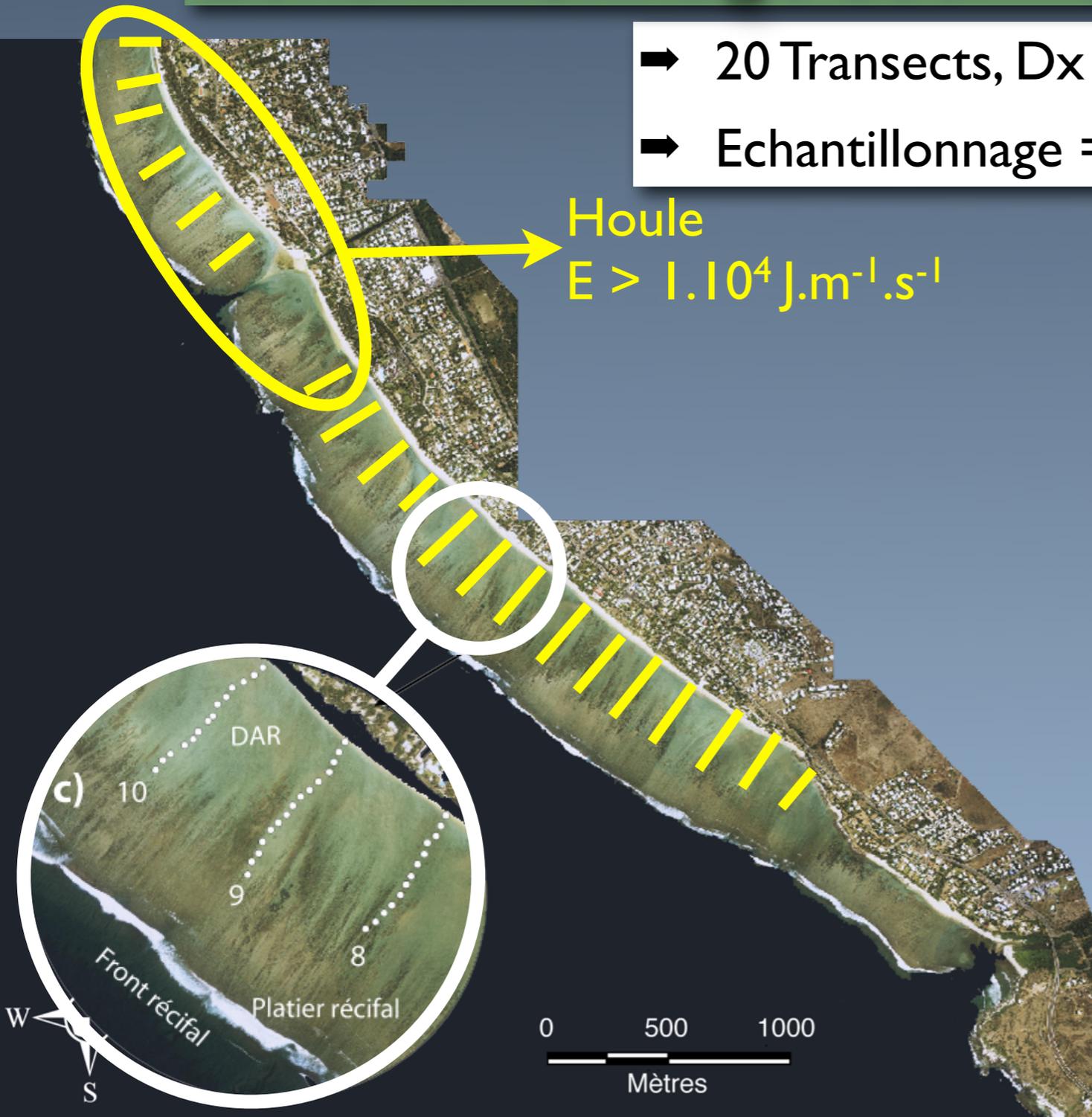
## Classe des sables

**3 paramètres  
granulométriques**

- **taille moyenne**
- **indice de tri**
- **indice de symétrie**



- ➔ **Cartographie**
- ➔ **Tendances de transport**

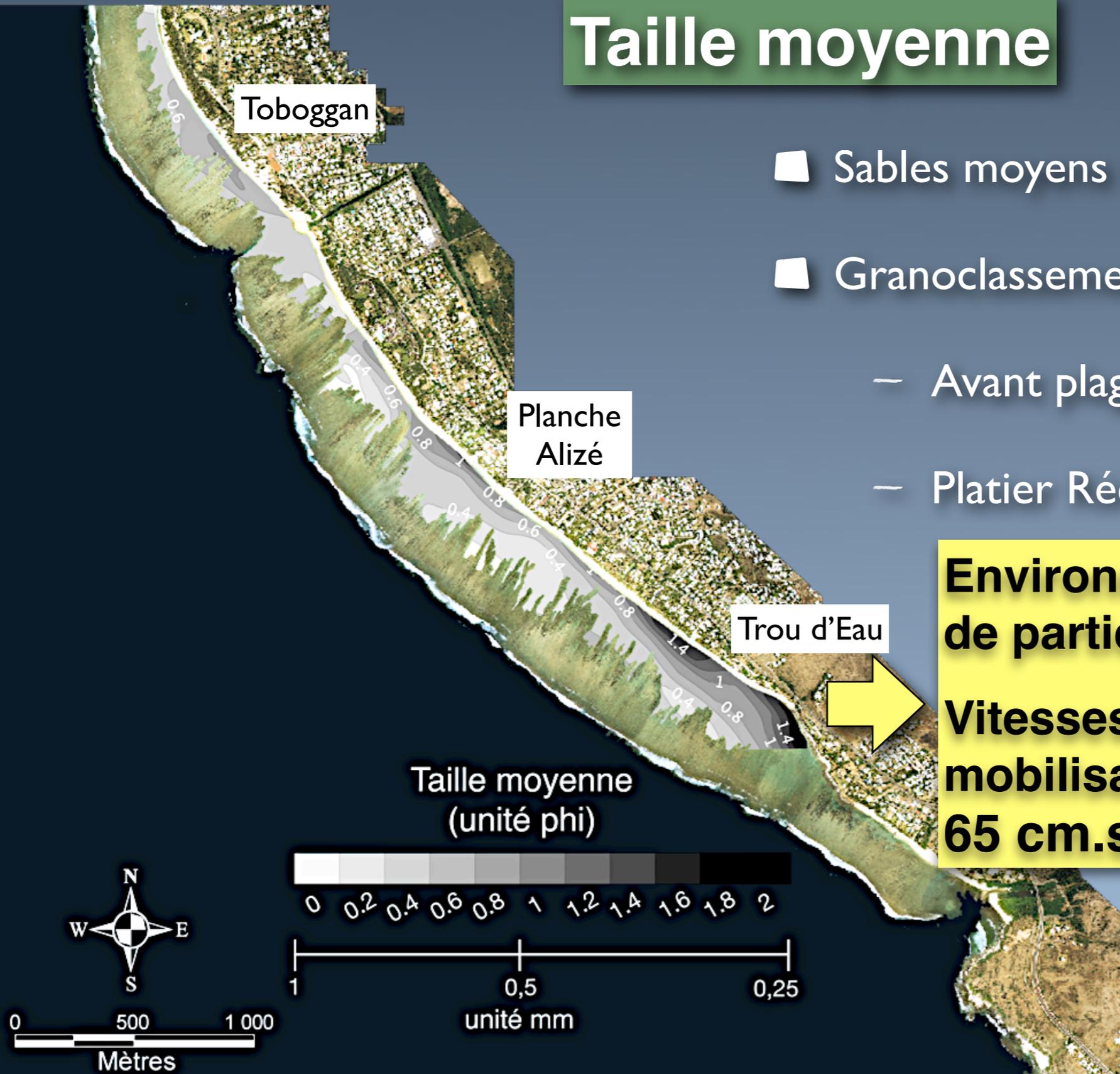


# Taille moyenne

- Sables moyens (12%) à grossiers (80%)
- Granoclasement Cross-shore :
  - Avant plage : Particules fines
  - Platier Récifal : particules grossières

**Environnement dépourvu  
de particules fines**

**Vitesses critiques de  
mobilisation des sédiments :  
 $65 \text{ cm.s}^{-1} < U_{cr} < 100 \text{ cm.s}^{-1}$**

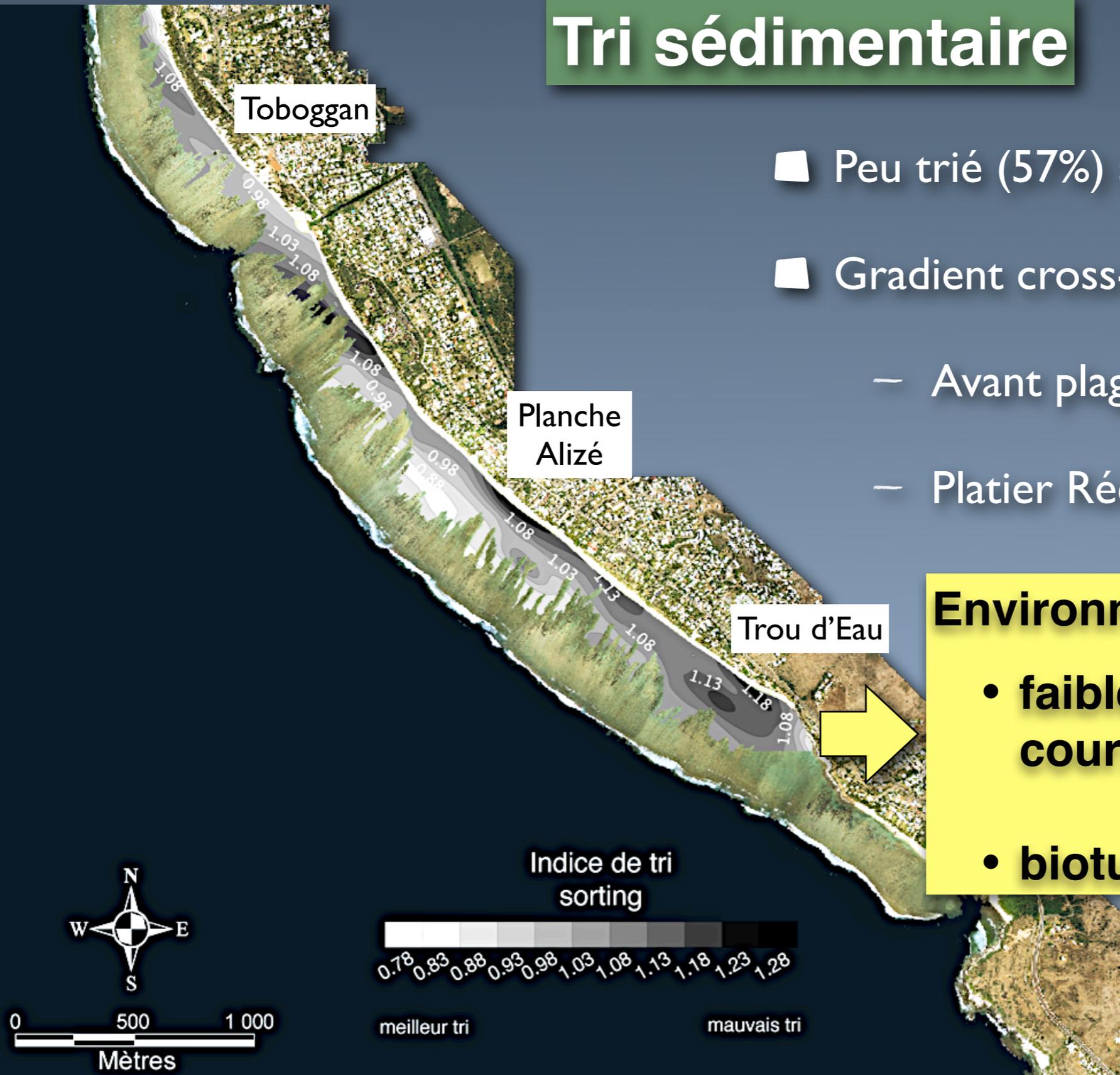


# Tri sédimentaire

- Peu trié (57%) à assez peu trié (40%)
- Gradient cross-shore de l'indice de tri :
  - Avant plage : plus mauvais tri
  - Platier Récifal : meilleur tri

## Environnement mal trié :

- faible compétence du courant
- bioturbation ?

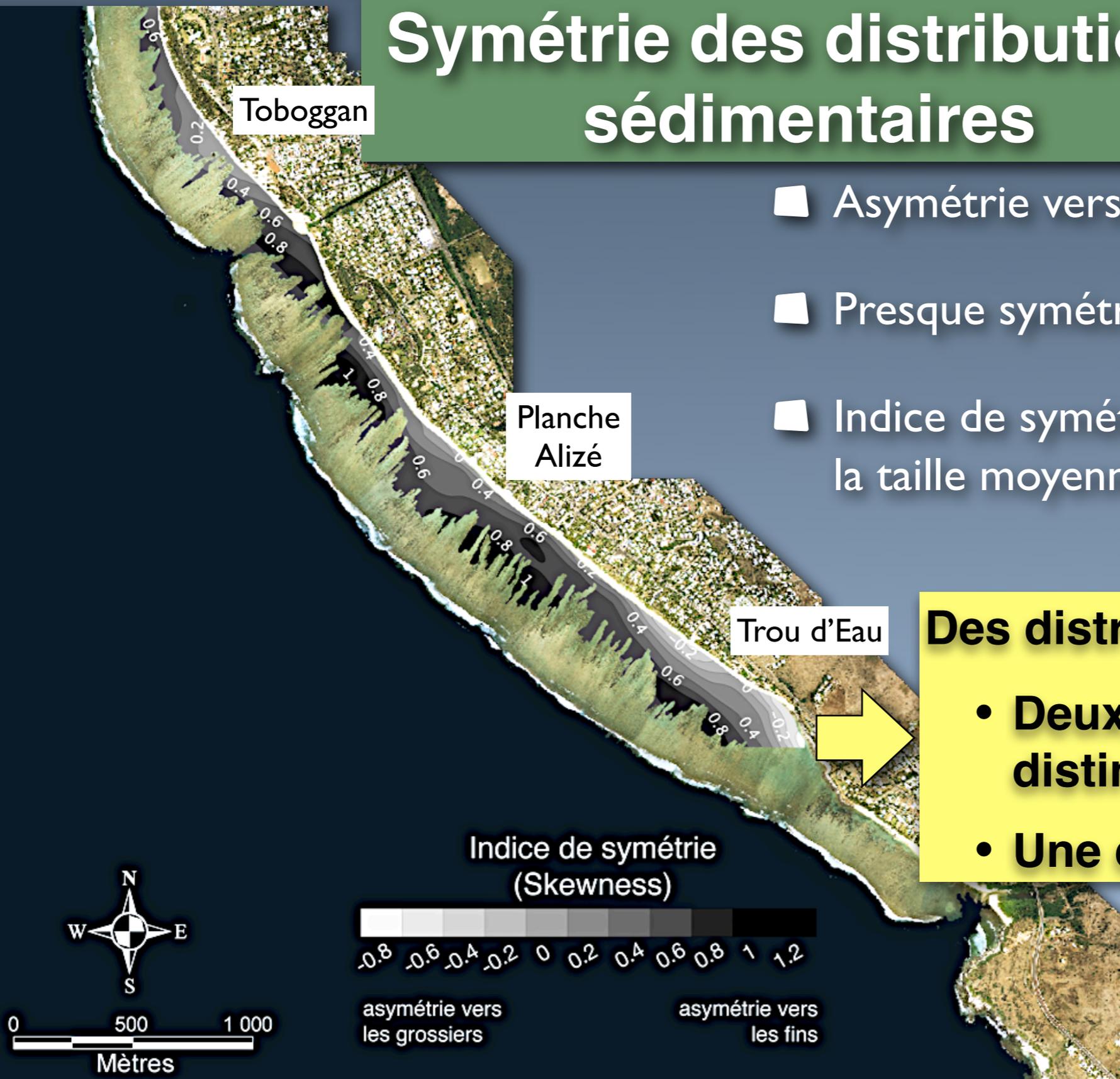


# Symétrie des distributions sédimentaires

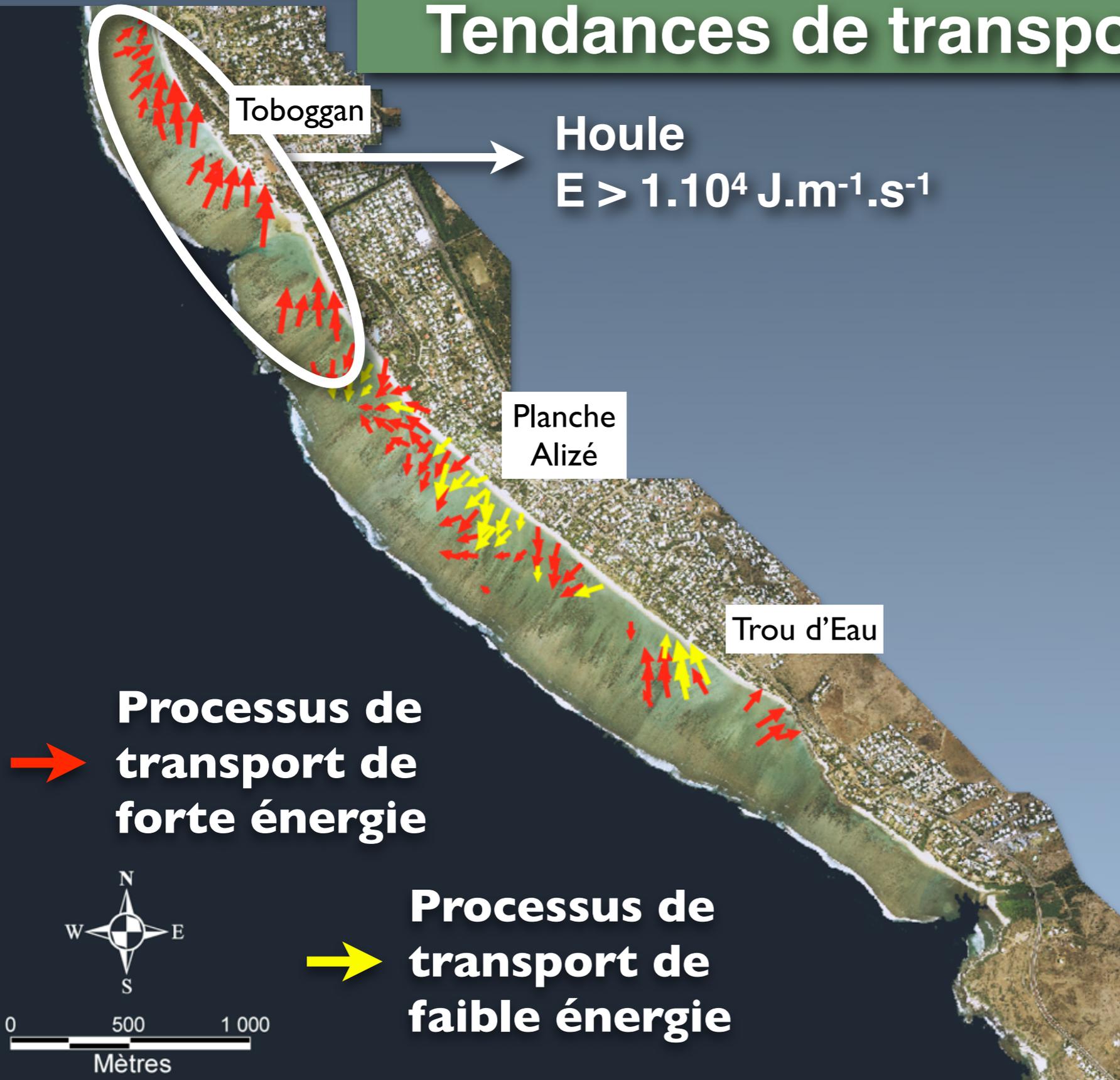
- Asymétrie vers les sables fins (60%)
- Presque symétrique (30%)
- Indice de symétrie négativement corrélé à la taille moyenne du sédiment

## Des distributions bimodales :

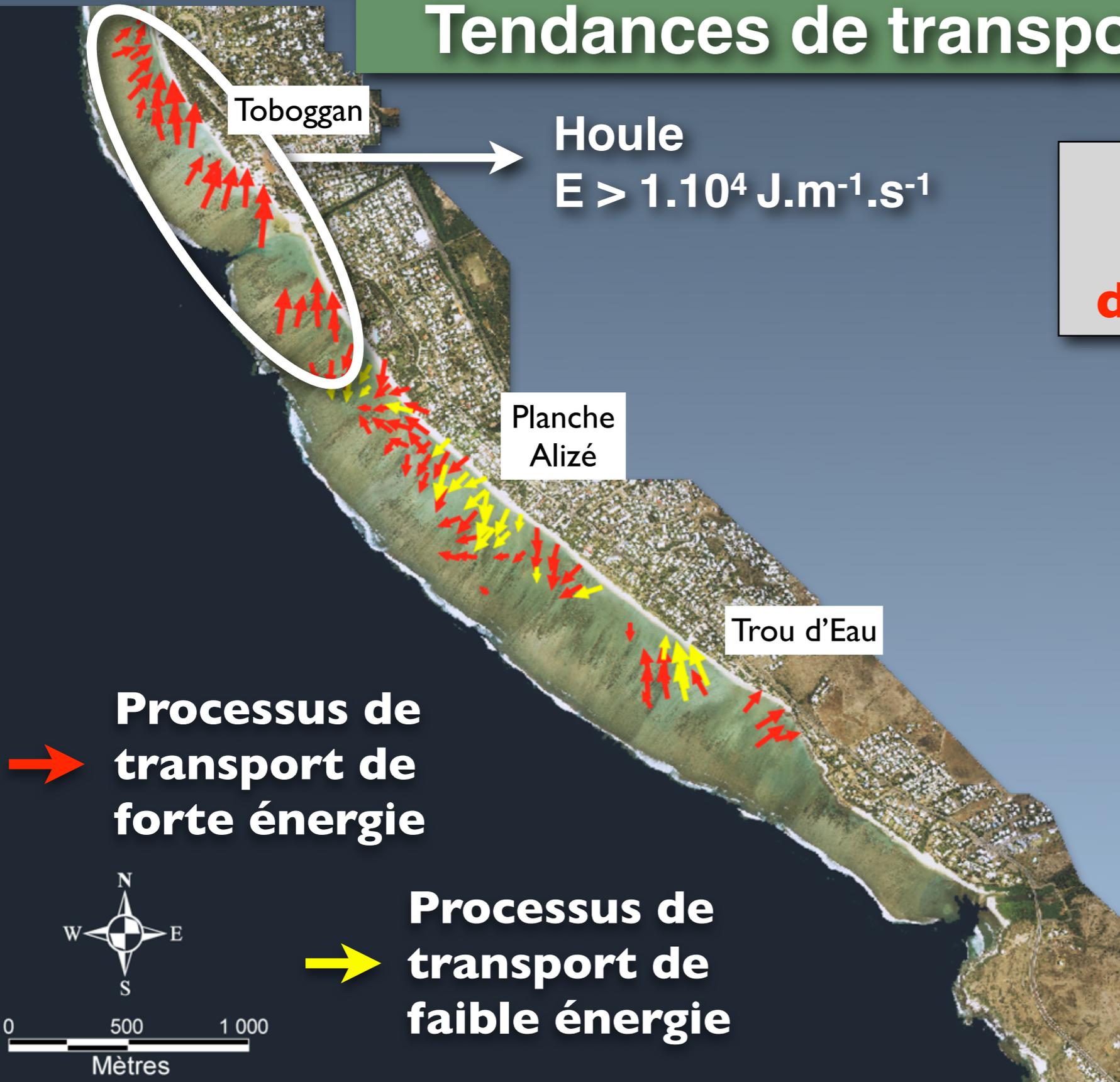
- Deux populations de sables distinctes par la taille
- Une dynamique différente



# Tendances de transport

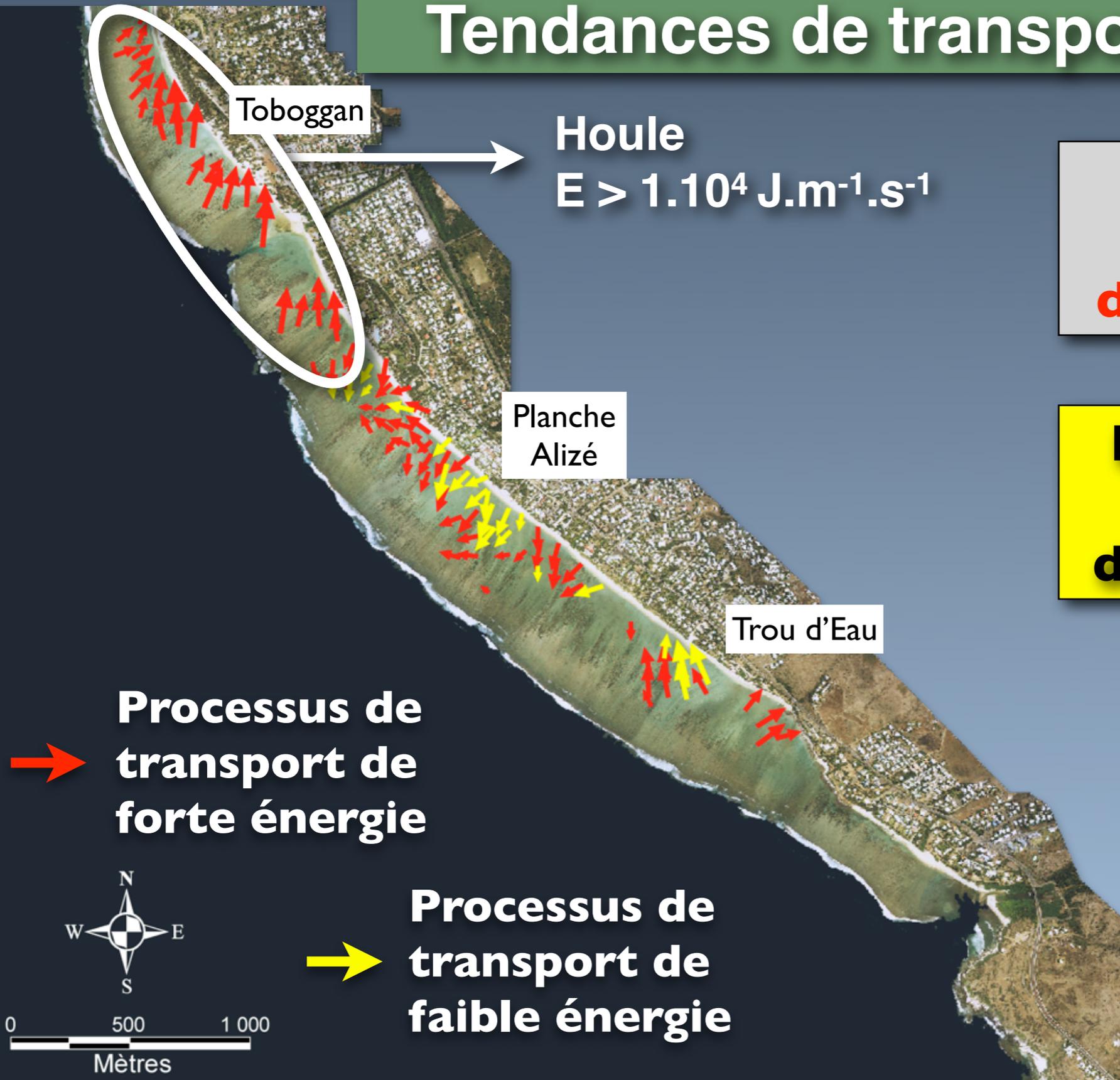


# Tendances de transport



**En régime agité**  
=  
**direction onshore**

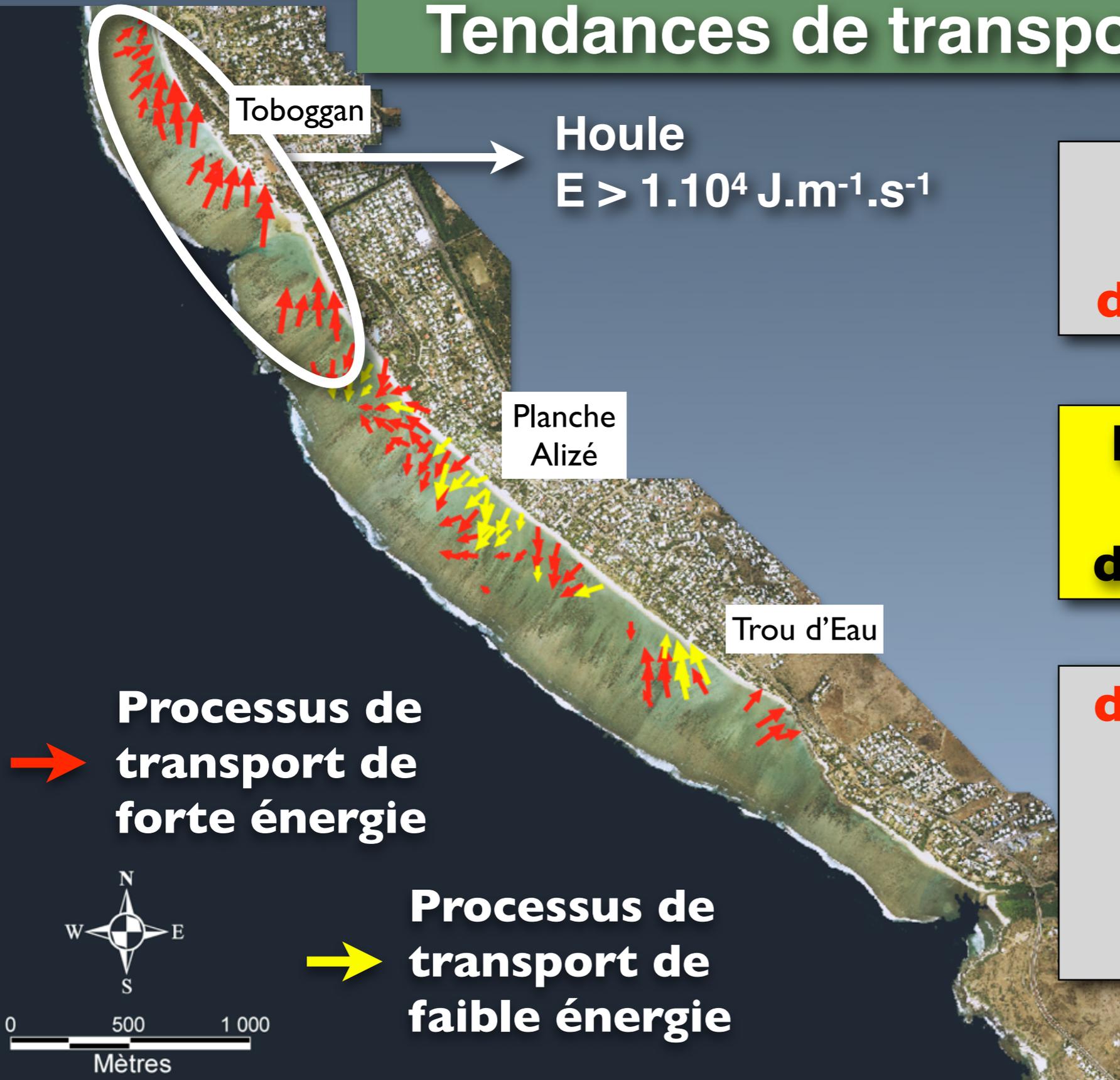
# Tendances de transport



**En régime agité**  
=  
**direction onshore**

**En régime calme**  
=  
**direction offshore**

# Tendances de transport



**En régime agité**  
=  
**direction onshore**

**En régime calme**  
=  
**direction offshore**

**direction offshore**  
**régime agité**  
=  
**biais de la méthode**

# Conclusions sur les dépôts sédimentaires

**Un environnement sédimentaire décrit par deux populations de sables**

- **une dominance de sables grossiers**
- **présence sporadique de sables fins**

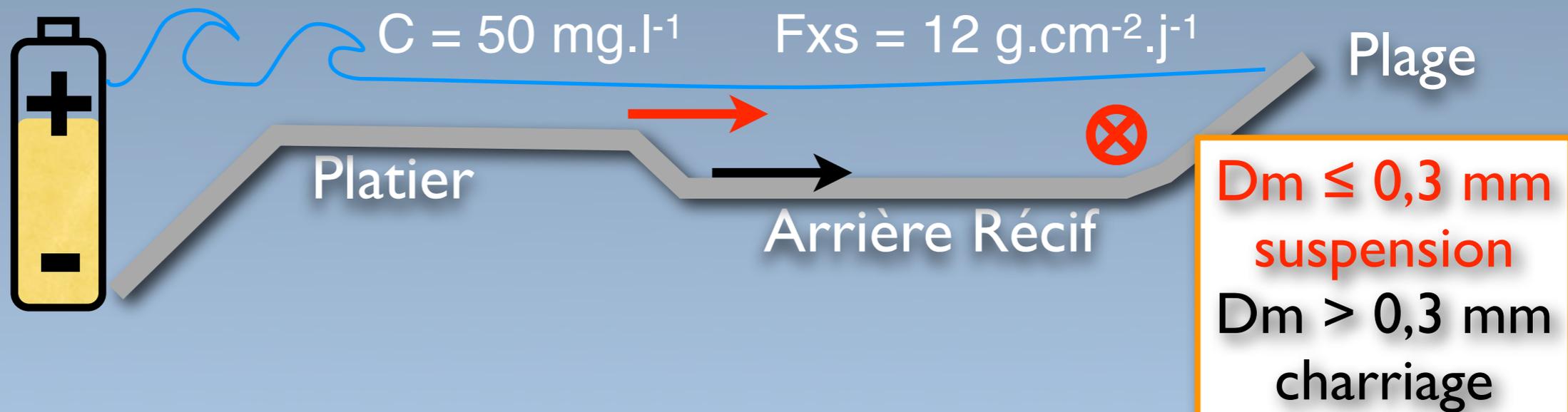
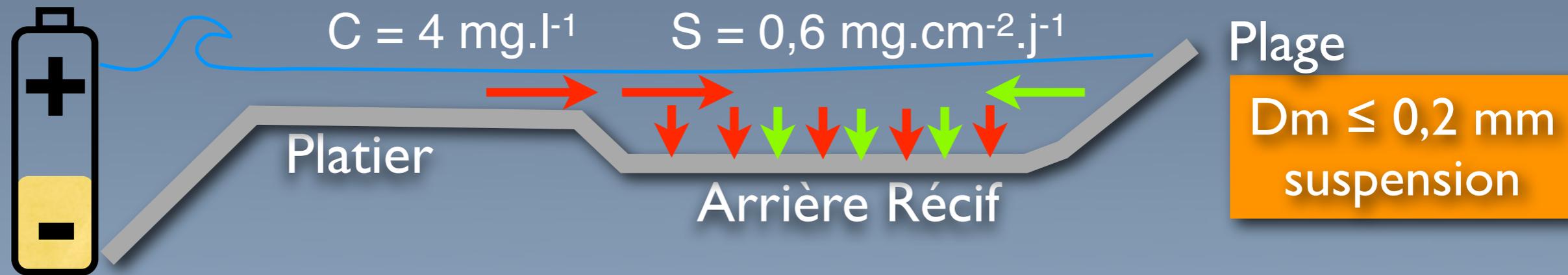
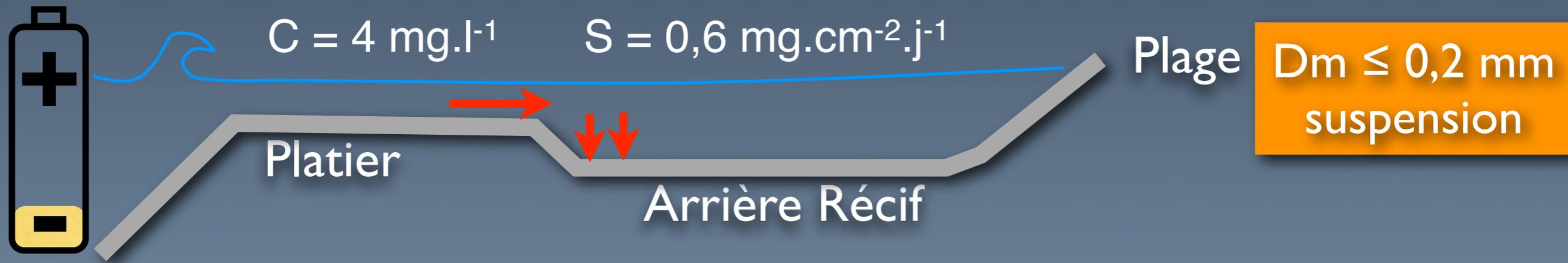
**Distinction entre des directions du transport sédimentaire en régime calme et en régime agité**

**Tendances de transport sédimentaire en concordance avec les schémas de circulation des masses d'eau**

**Conclusions  
générales**



**Schéma conceptuel  
des processus  
hydrosédimentaires**



## **I Morphodynamique**

- **Des plages coralliennes en situation d'érosion**
- **Un seuil de la houle du large ;  $E = 5.10^4 \text{ J.m}^{-1}.\text{s}^{-1} \Rightarrow$  érosion**

## **2 Hydrodynamique**

- **Des transferts d'énergie de la houle du large vers le récif pour  $h=0,75 \text{ m}$  (platier)  $h=1,55 \text{ m}$  (arrière récif)**
- **Une courantologie récifale conditionnée par les forçages environnementaux et la géomorphologie**  
 **$V=10 \text{ cm/s}$  (régime calme) —  $V=25 \text{ cm/s}$  (régime agité)**

## **3 Dynamique sédimentaire**

- **Des processus hydrosédimentaires  $\Rightarrow$  comblement des zones d'arrière récif par des particules grossières**
- **Un potentiel à l'engraissement des plages en régime agité modéré, en hiver austral**

# PERSPECTIVES

## **Pour cette étude**

- **Compléter les mesures hydrodynamiques : Front Récifal - Platier - Arrière Récif**
- **Compléter le suivi par la saison estivale**
- **Guetter l'événement exceptionnel**
- **Mesures *in situ* de concentration en MES**

## **Dans le contexte d'une gestion intégrée des zones côtières**

- **Développer un réseau d'observation des paramètres hydrodynamiques en milieu côtier**
- **Cibler d'autres zones côtières : littoraux bioclastiques et volcanoclastiques**
- **Coupler l'hydrodynamisme, la dynamique sédimentaire et les processus biogéochimiques en milieu corallien**

# **MERCI**

**Le Laboratoire GéoSciences Réunion**

**La Région Réunion**

**Les membres du jury**

**L'association Les Jardiniers du Lagon**

**Toutes les personnes qui ont été  
présentes pendant ces années**

**... MERCI POUR VOTRE ATTENTION ...**

**bonus**

# déroulement d'une campagne type

## 2 types de séries de données obtenues

### Série temporelle de 24 heures



$dt = 10$  minutes

- 🌀 Vitesse du courant
- 🌀 Direction du courant
- 🌀 Hauteur d'eau
- 🌀 Température

→ Intégrés sur la verticale pour l'Aquadopp

→ Profils verticaux pour l'Aquapro (tranches d'eau de 10 cm)

$Ht = 60$  minutes

Enregistrements à très haute fréquence (mode burst) :

- 🌀 Hauteur d'eau
- 🌀 Composantes U et V du courant

→ Fréquence de 1 Hz pour l'Aquadopp

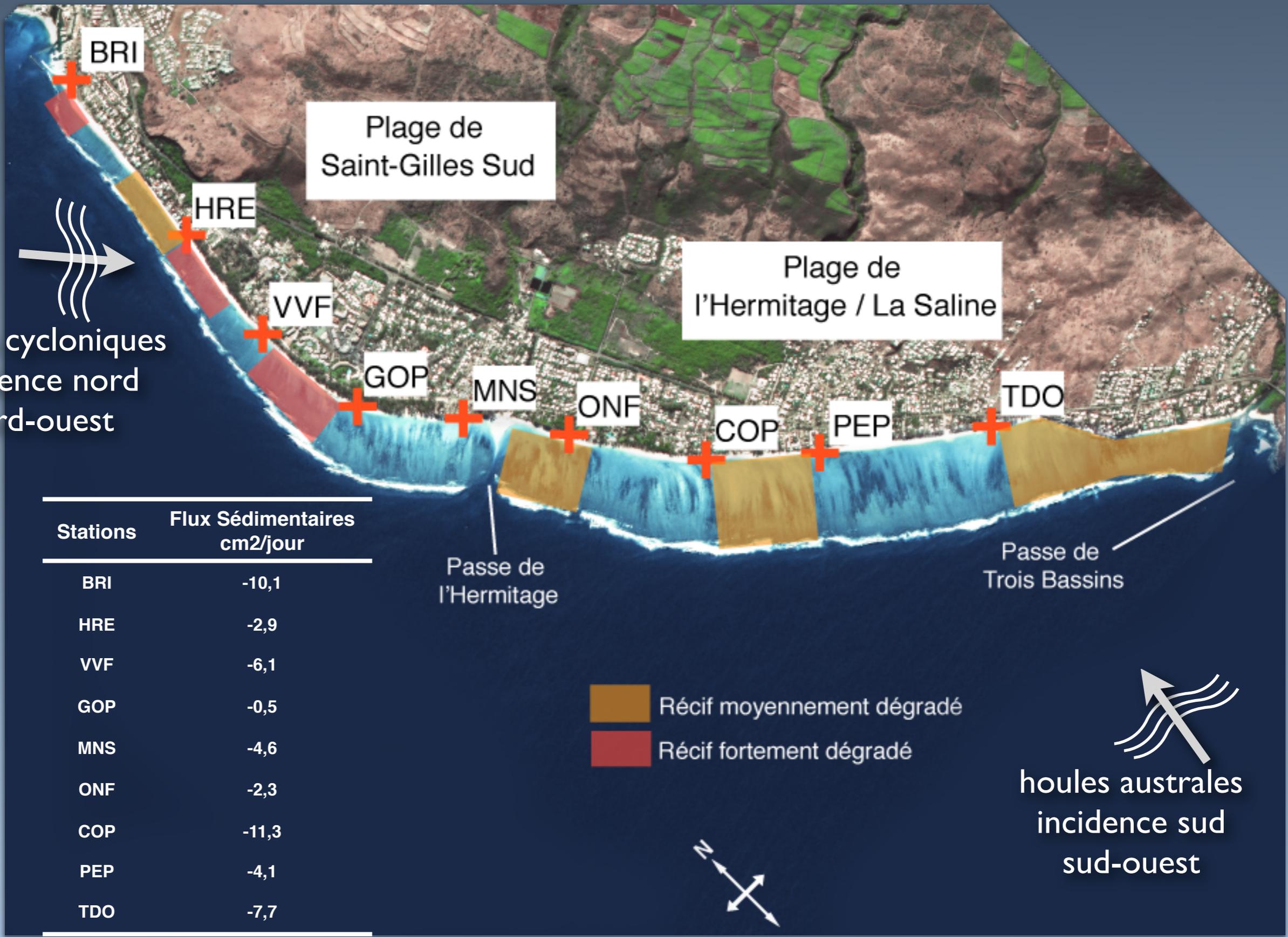


Séries de 512 points

→ Fréquence de 2 Hz pour l'Aquapro



Séries de 2048 points



houles cycloniques  
incidence nord  
nord-ouest

Stations	Flux Sédimentaires cm2/jour
BRI	-10,1
HRE	-2,9
VVF	-6,1
GOP	-0,5
MNS	-4,6
ONF	-2,3
COP	-11,3
PEP	-4,1
TDO	-7,7

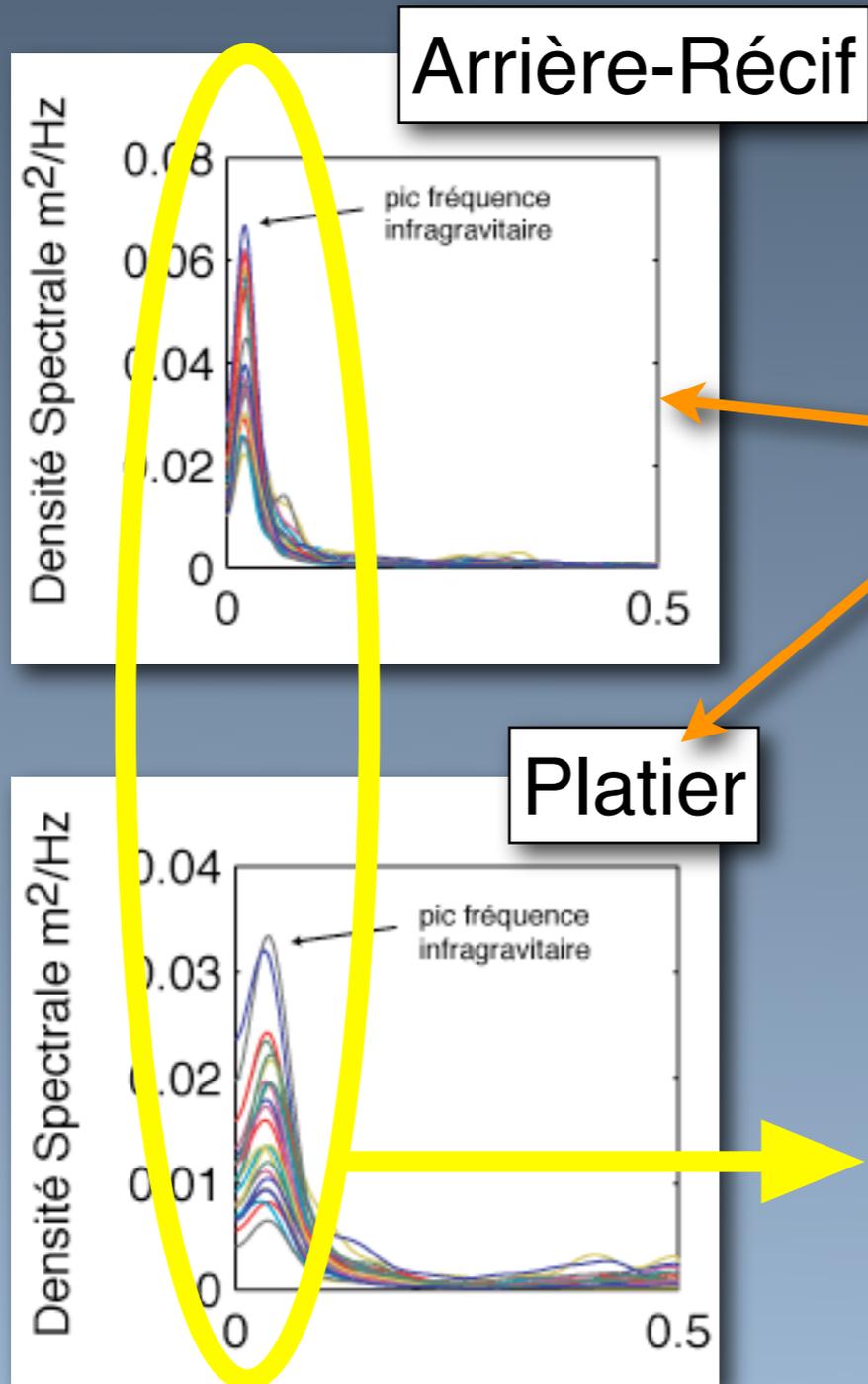
Récif moyennement dégradé  
 Récif fortement dégradé

houles australes  
incidence sud  
sud-ouest



# Ondes infragravitaires

## Résultats



**PREPONDERANCE DES ONDES INFRAGRAVITAIRES**

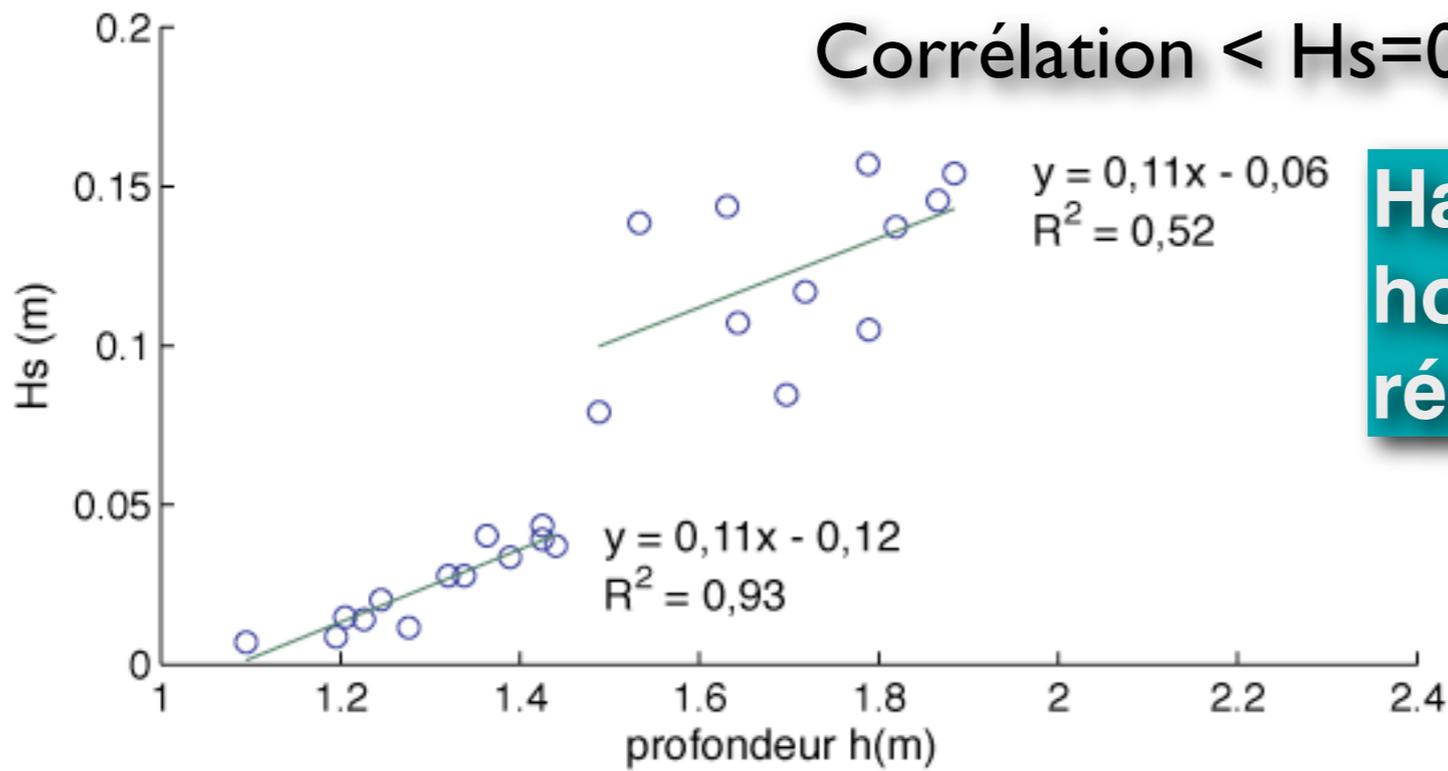
$T = 35 \text{ s à } 1 \text{ mn}$

**Ondes de Seiche  $T =$  Période de résonance du bassin d'arrière récif**

$$T = (2L)/(n \cdot \sqrt{gh})$$

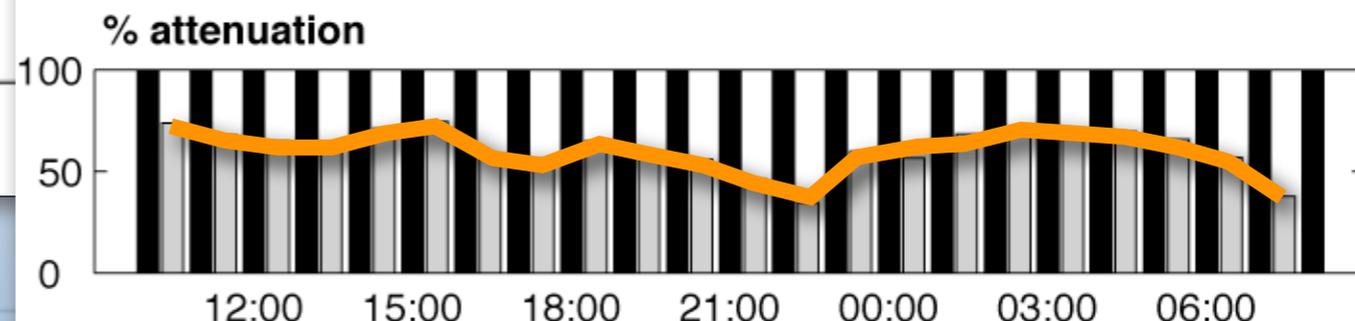
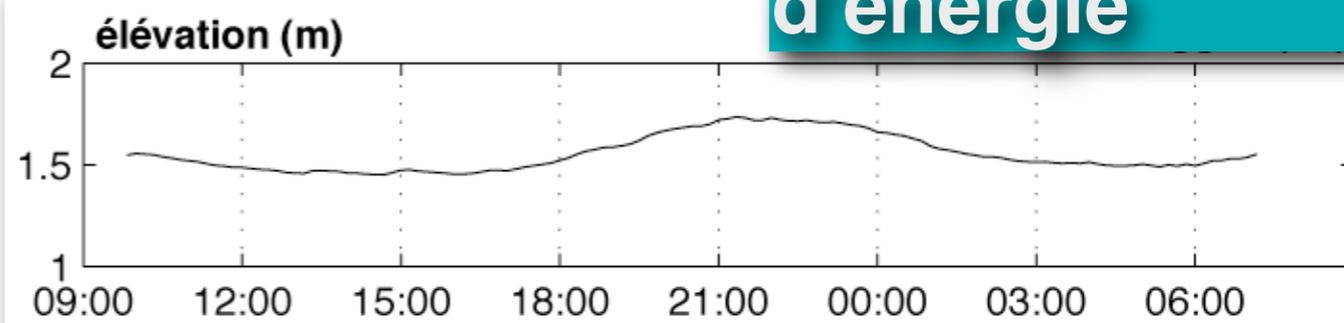
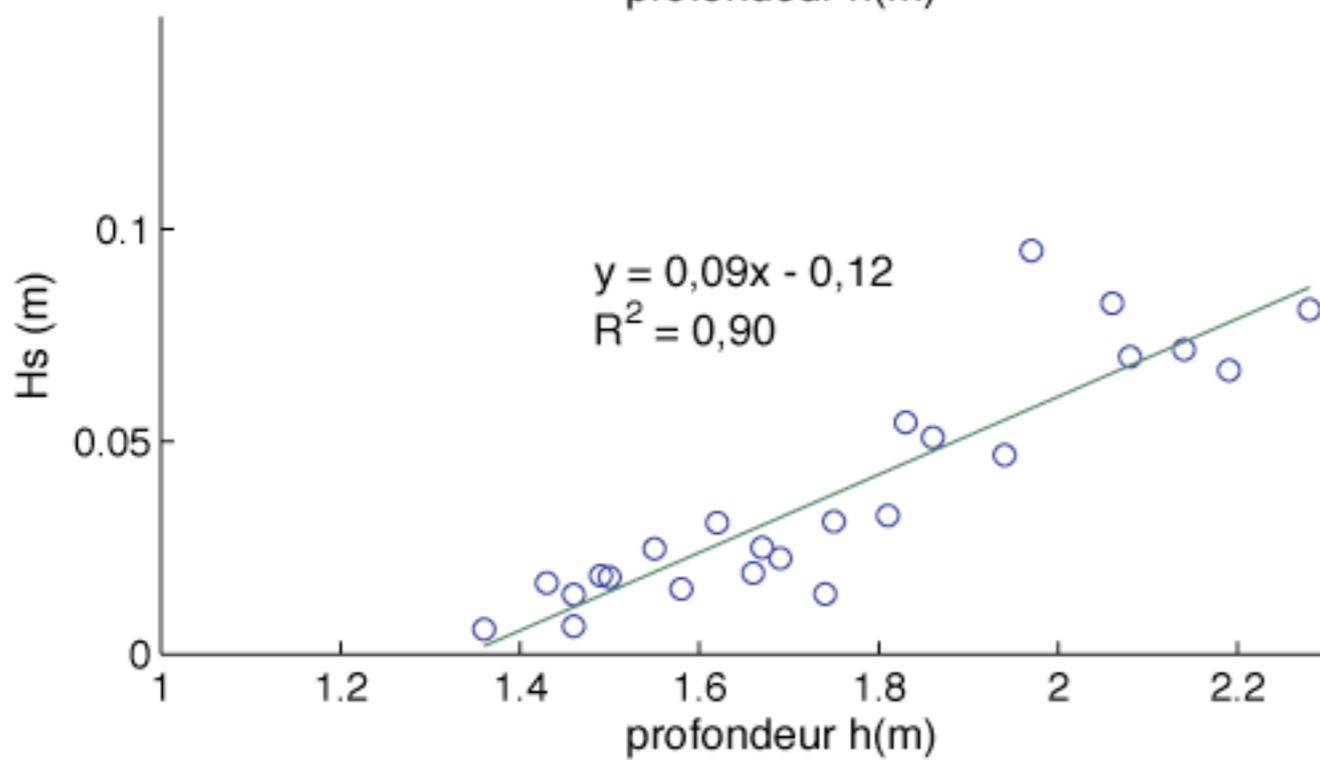
# corrélation Hs/h

Corrélation  $< H_s = 0,55h$  (Gourlay, 1993)



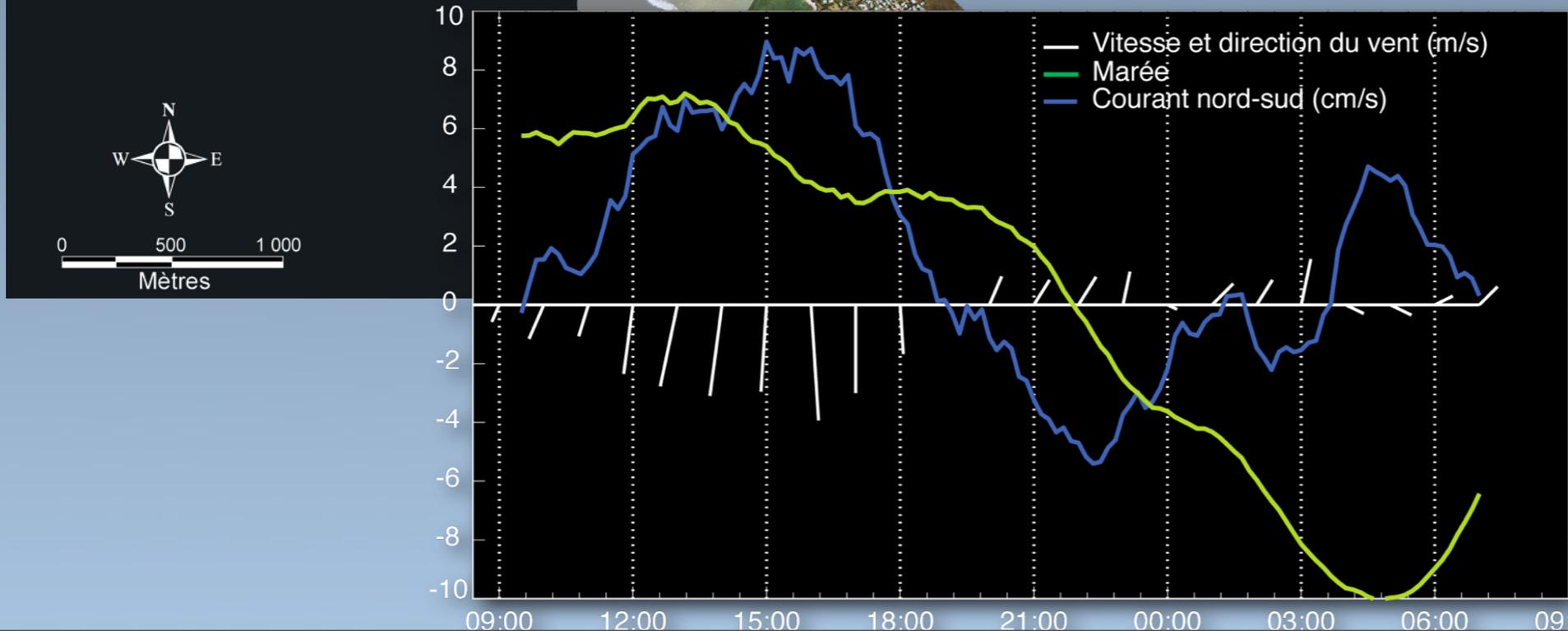
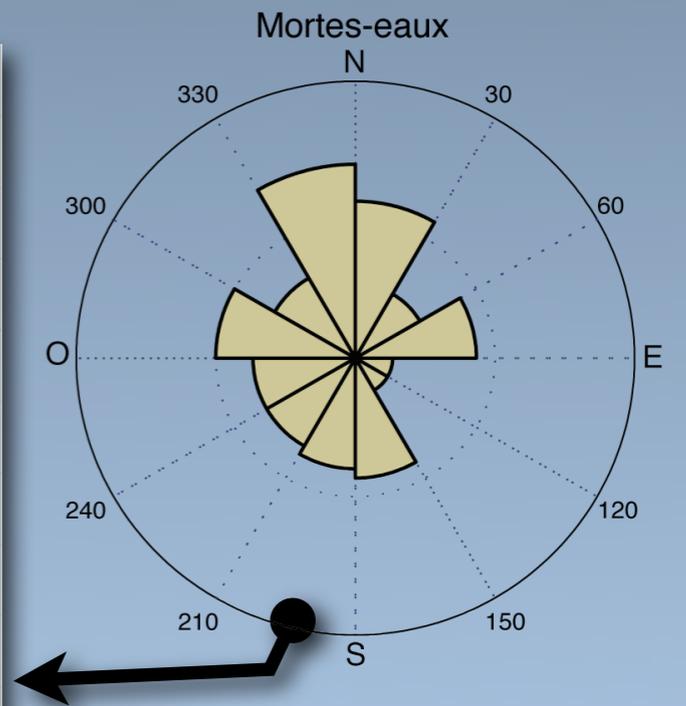
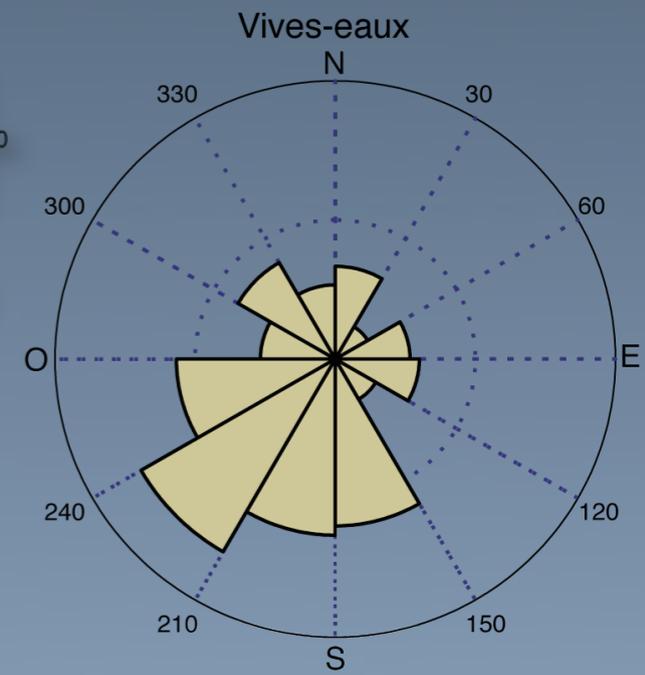
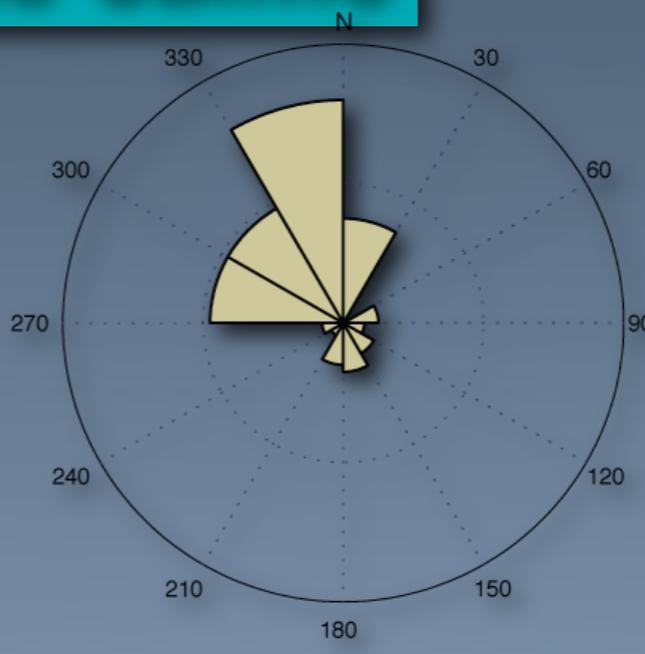
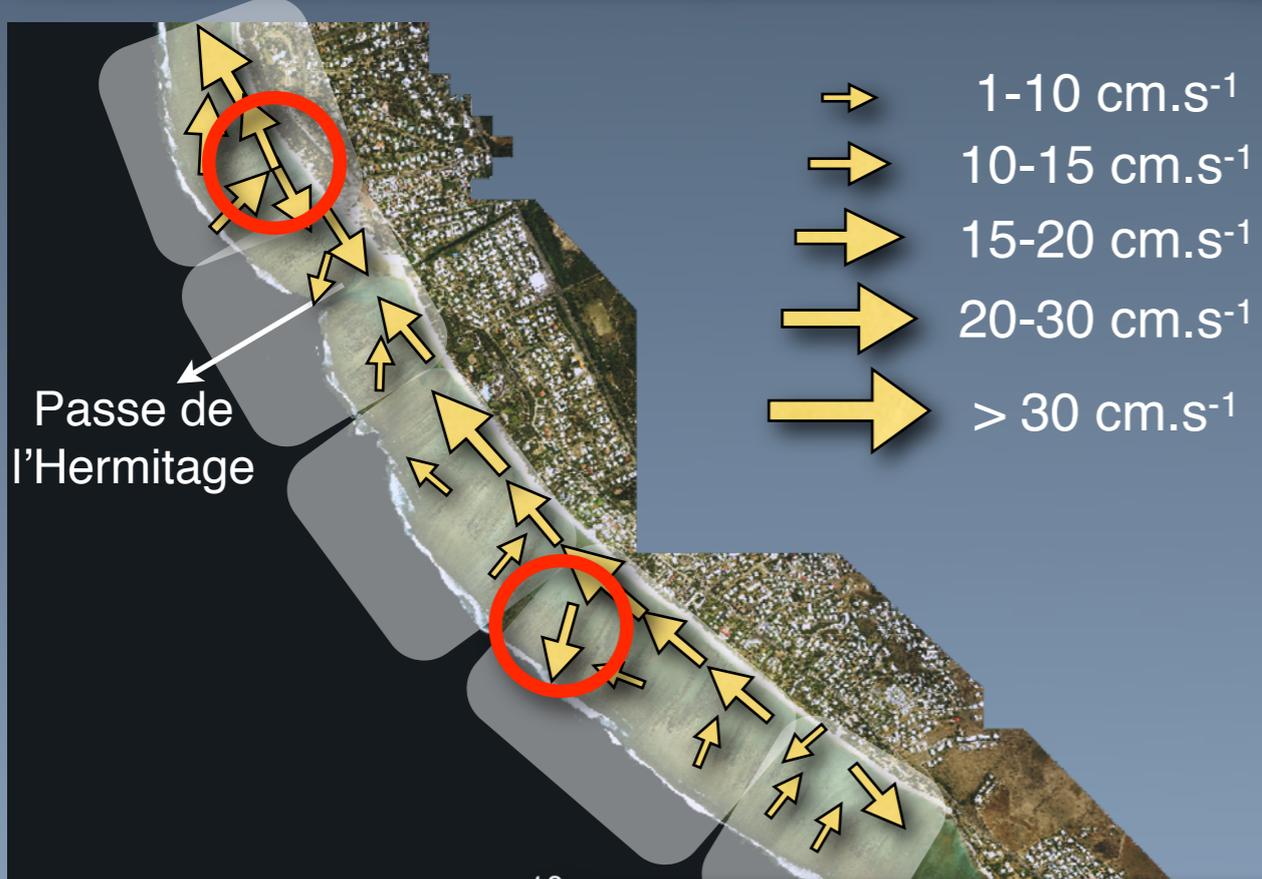
Hauteurs de  
houle dans le  
récif

Propagation et  
réduction  
d'énergie

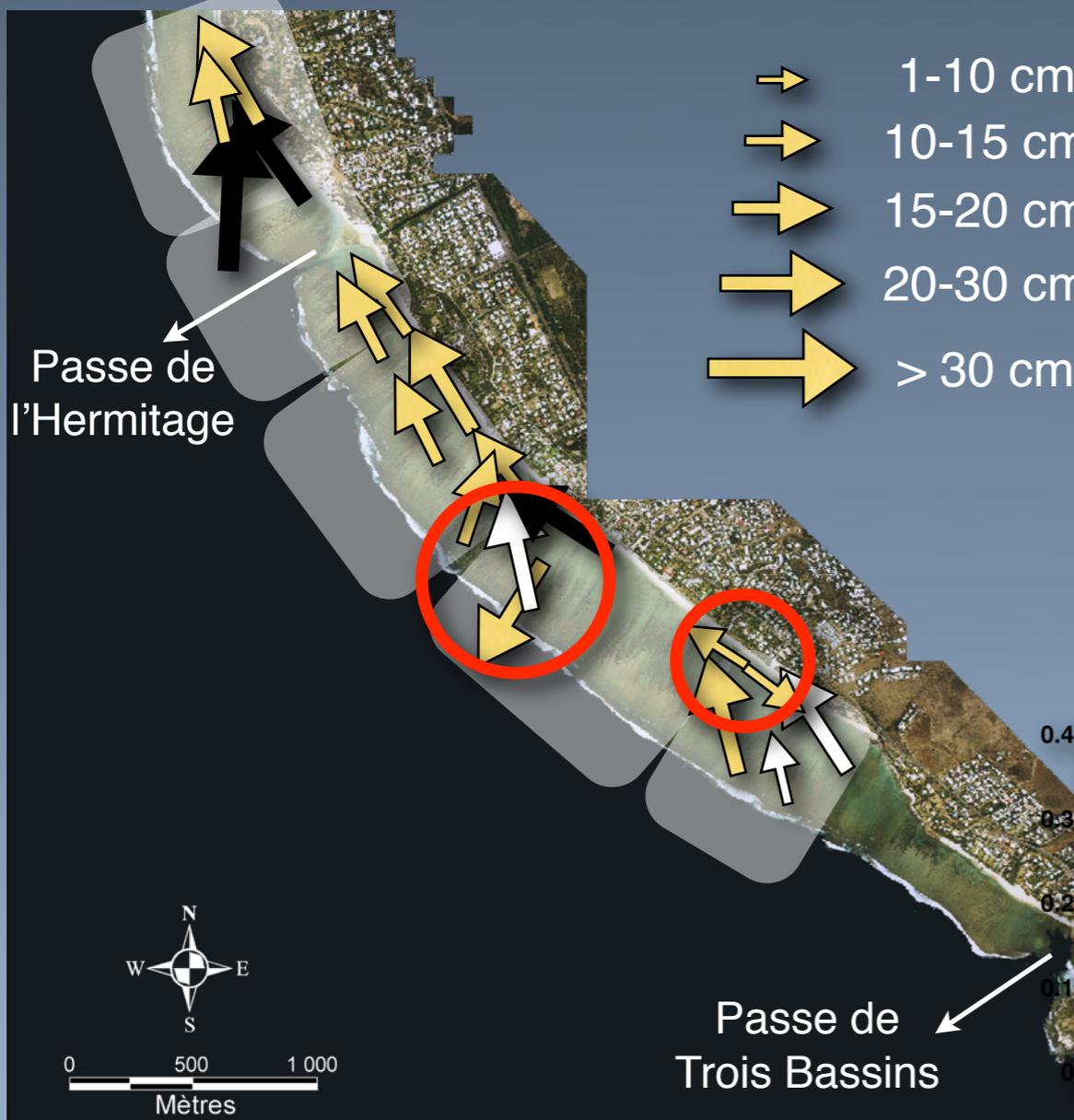


■ entre l'océan et le platier    □ entre le platier et la DAR

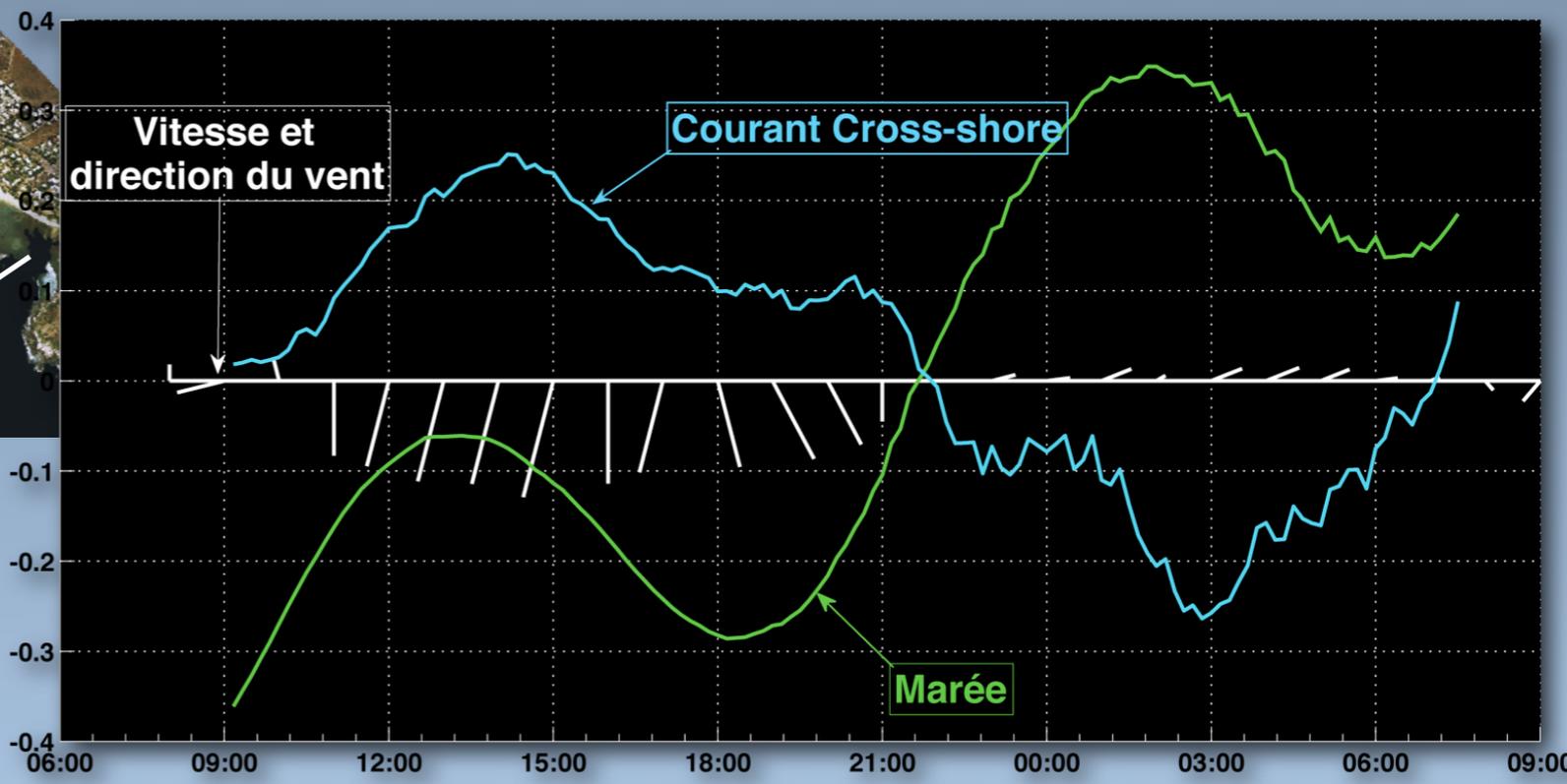
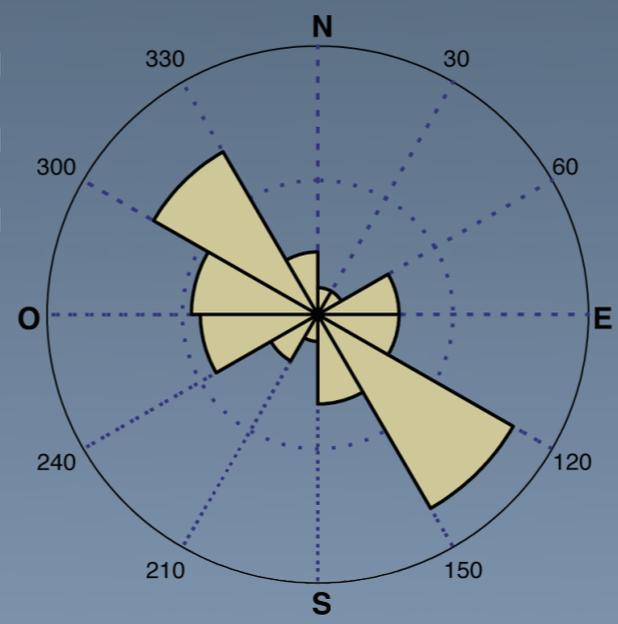
# Courants moyens en régime calme



# Courants moyens en régime agité



- 1-10 cm.s<sup>-1</sup>
- 10-15 cm.s<sup>-1</sup>
- 15-20 cm.s<sup>-1</sup>
- 20-30 cm.s<sup>-1</sup>
- > 30 cm.s<sup>-1</sup>

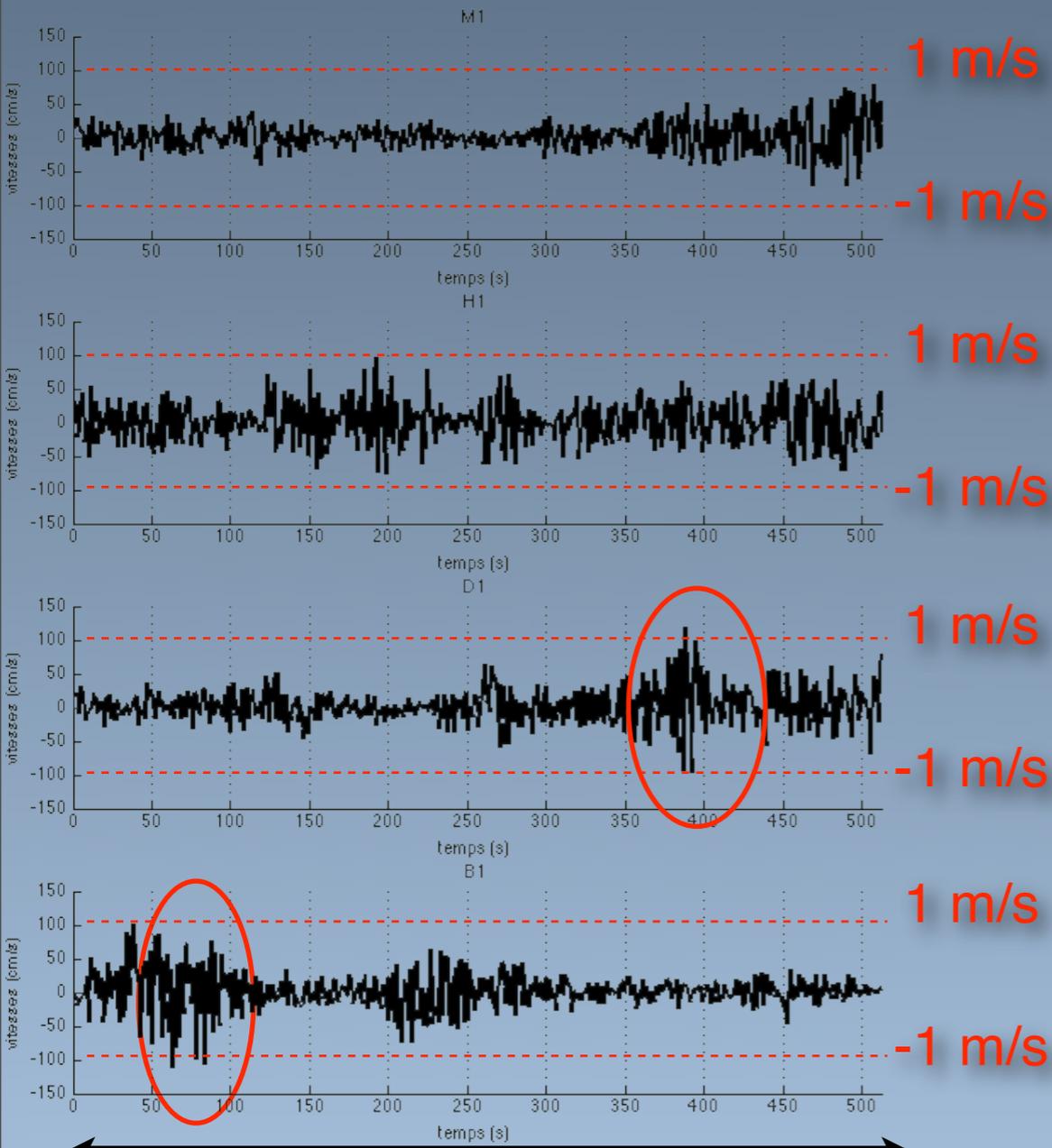


- forçage par la houle uniquement (Hs > 1 m et Vent < 5 m/s)
- forçage par le vent uniquement (Hs < 1 m et Vent > 5 m/s)
- forçage par le vent et la houle

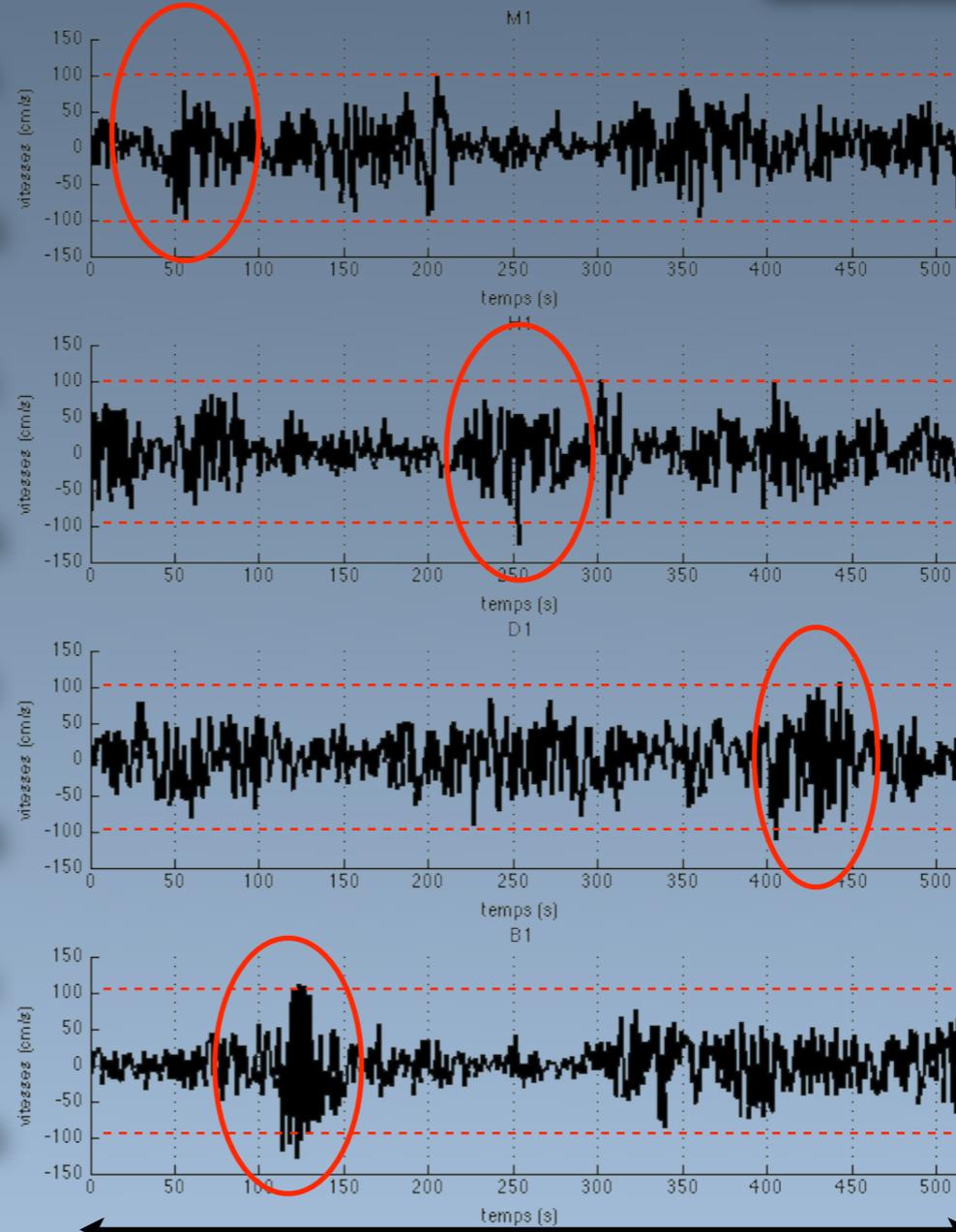
# Courants instantanés

Enregistrements haute fréquence

**$U > 1\text{ m/s}$**   
**I à 6 secondes**



8 minutes



8 minutes