

Projets Niger-HYCOS et Volta-HYCOS

Module de formation en Débitmétrie

3ème partie : ADCP – Principe de fonctionnement et application



3ème partie : ADCP – Principe de fonctionnement et application

1. Définition de l'ADCP
2. Historique
3. Principe de fonctionnement :
 - L'effet Doppler
 - Découpage de la colonne d'eau en cellules
 - Mesure du courant en 3 dimensions
 - Limites / Limitations
 - Suivi de fond (bottom track)
4. Les différents modes de fonctionnement
5. Différents modèles d'ADCP

1. Définition de l'ADCP

Qu'est-ce qu'un ADCP?


- **A**coustic – Utilisation d'une onde sonore
- **D**oppler – Effet Doppler appliqué à la mesure de vitesse
- **C**urrent - Mesure de la vitesse de l'eau
- **P**rofiler - Mesure d'un profile de vitesse, pas d'une vitesse ponctuelle

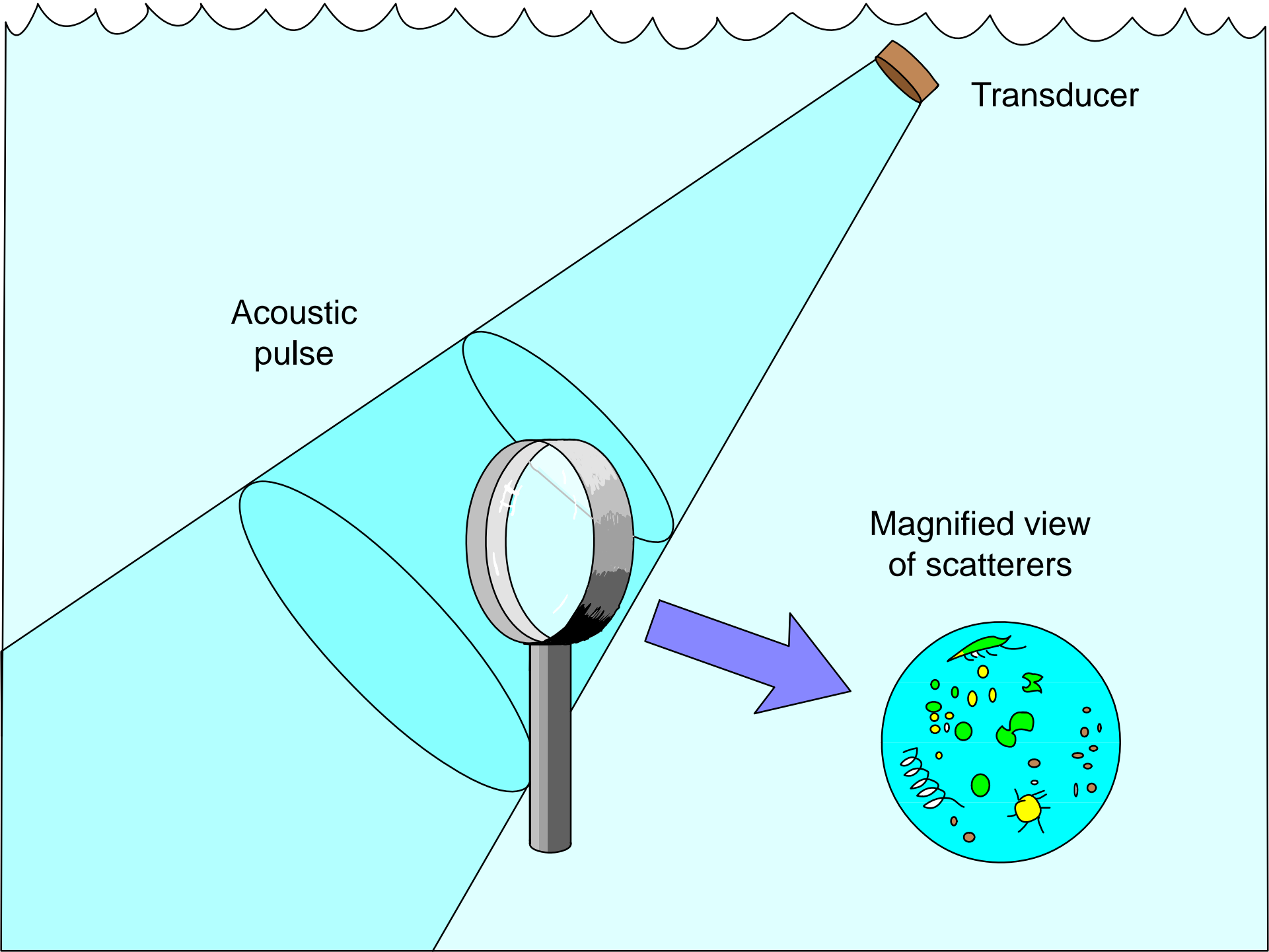
2 . Historique de l'ADCP

- Utilisation dans les années 70 pour mesurer la vitesse des bateaux
- 1982 : premier ADCP commercialisé (société RDI – USA)
- 1991 : RDI met au point la technologie Broadband
- 1997 : Workhorse



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP : l'effet Doppler

- L'ADCP envoie des ondes ultra-sons qui sont réfléchies par les **particules en suspension**, se déplaçant avec le courant
- Les particules reçoivent le son avec une **fréquence décalée** du fait de leur vitesse (**effet Doppler**).
- Elles réfléchissent l'onde sonore (=émetteurs)
 Effet Doppler appliqué 2 fois

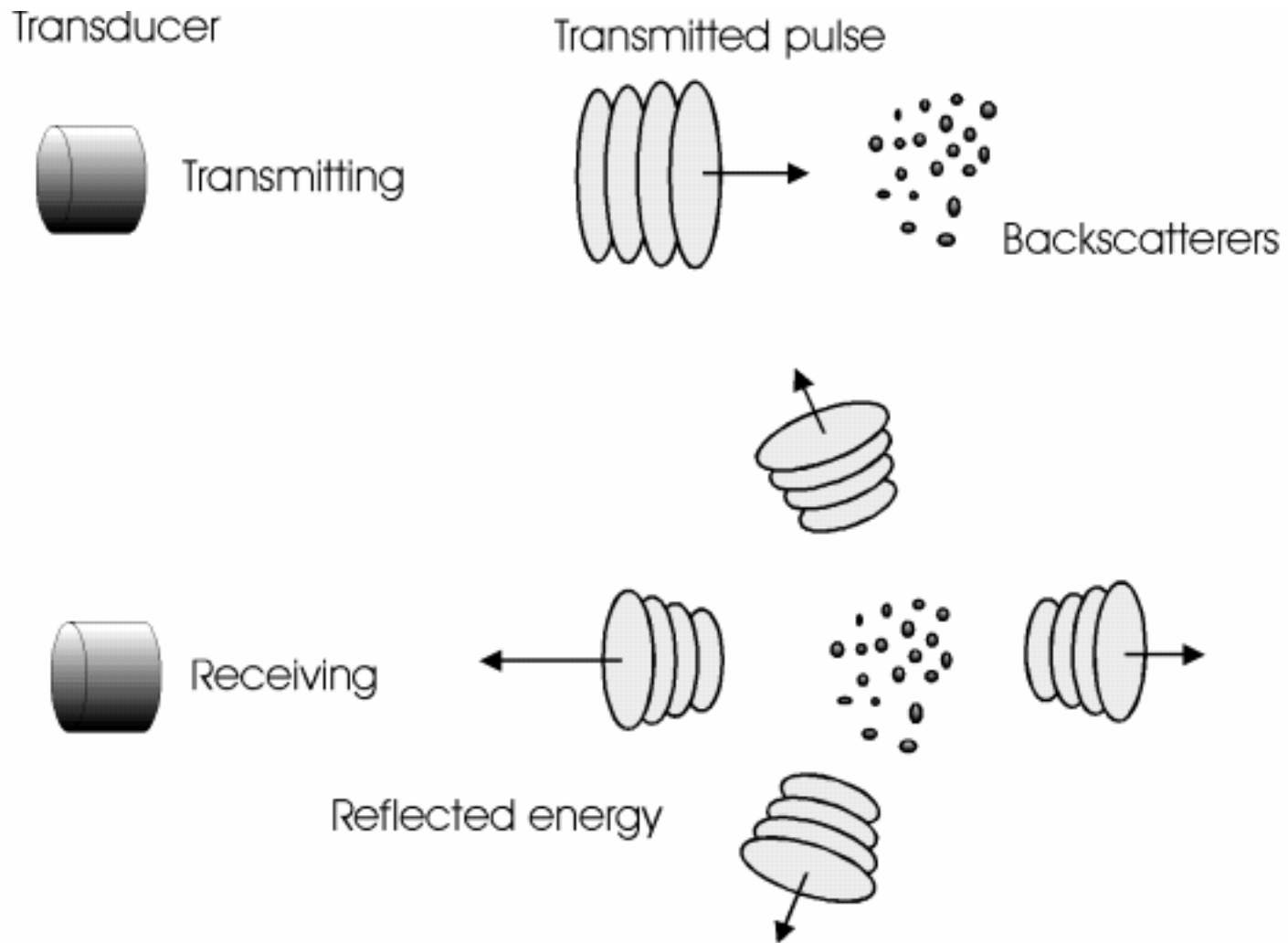


Transducer

Acoustic pulse

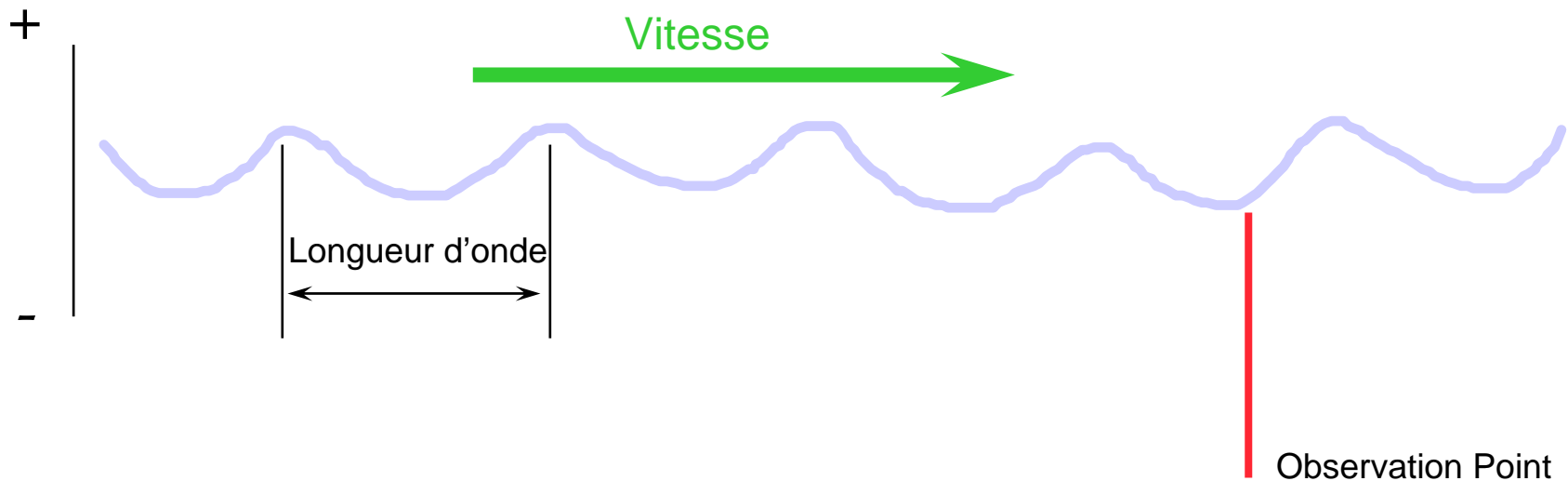
Magnified view of scatterers

2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP : l'effet Doppler



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP : l'effet Doppler

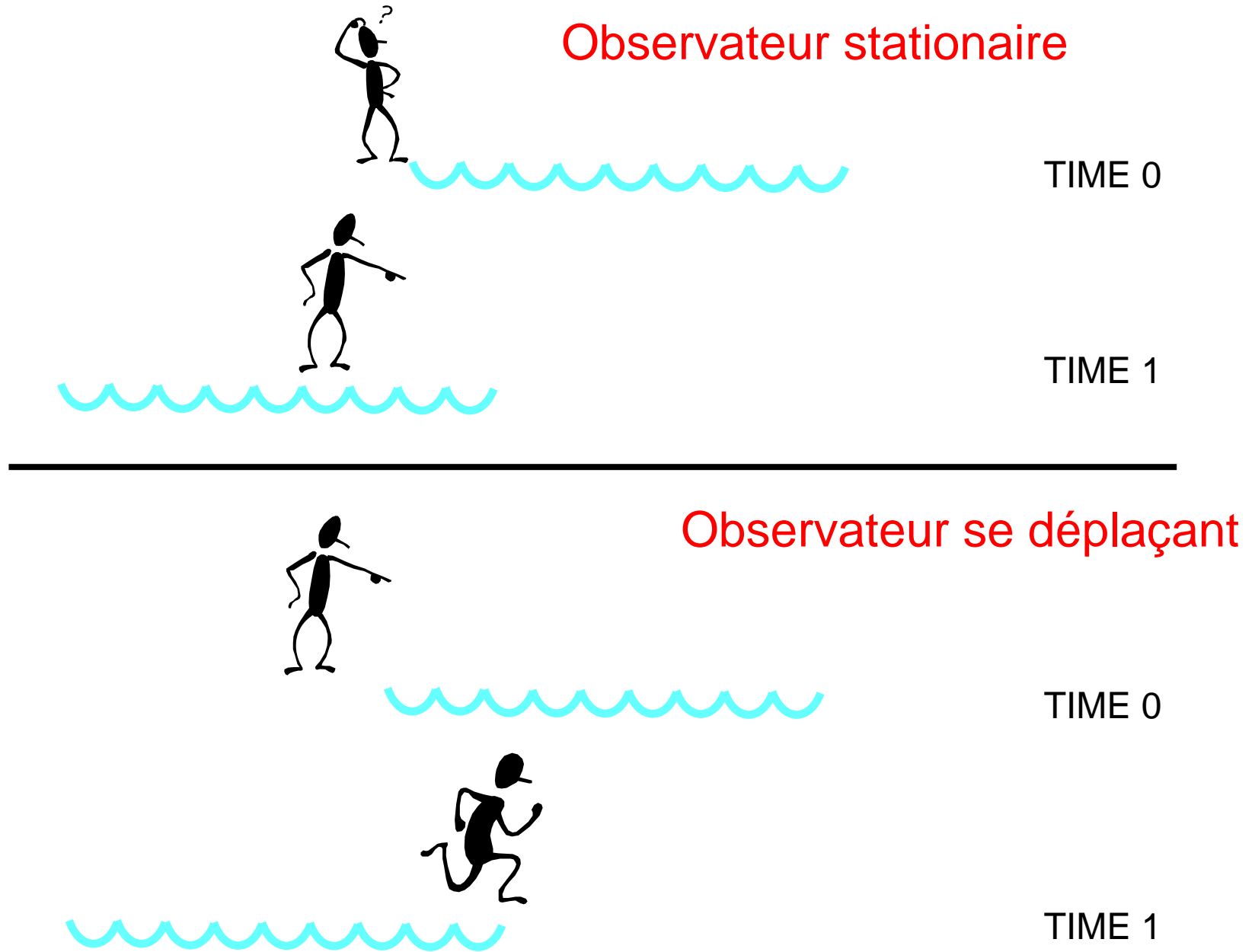
- Ondes sonores - Bandes de pressions fortes et faibles
- Vagues (mer) – crêtes et creux du niveau d'eau



Vitesse du son = Frequence X Longueur d'onde

$$C = f \times \lambda$$

2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP : l'effet Doppler



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP : l'effet Doppler

En résumé...

- L'ADCP émet un son puis écoute
- Différence de fréquence entre l'onde émise et l'écho réfléchi : vitesse de déplacement de la particule

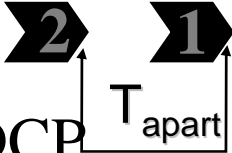
2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

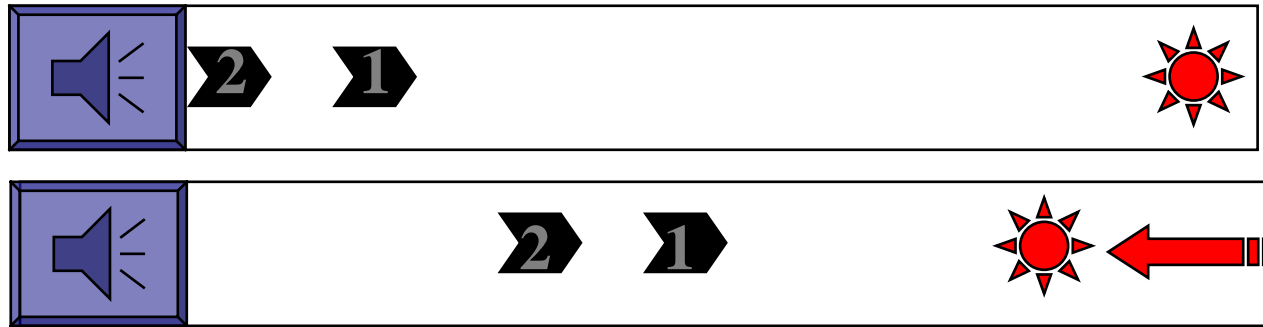
La technologie Broadband

- L'ADCP n'envoie pas 1 seule onde mais une **série d'impulsions** formant un code
- On ne mesure plus la différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie mais la **variation de phase entre les diverses impulsions réfléchies**.
- La précision obtenue est de 10 à 50 fois meilleure.

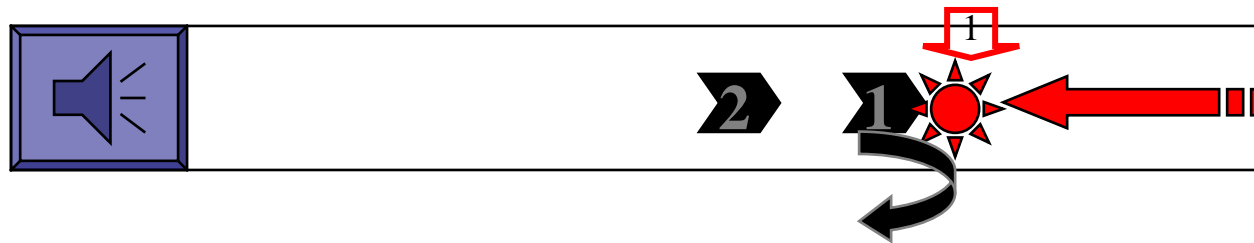
2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

La technologie Broadband

- On transmet deux impulsions séparées d'un temps T_{apart} 
- Elles voyagent le long du faisceau en s'éloignant de l'ADCP



- Les matériaux en suspensions se déplacent le long du faisceau vers l'ADCP
- Lors de la rencontre avec la première impulsion, un écho est renvoyé vers l'ADCP



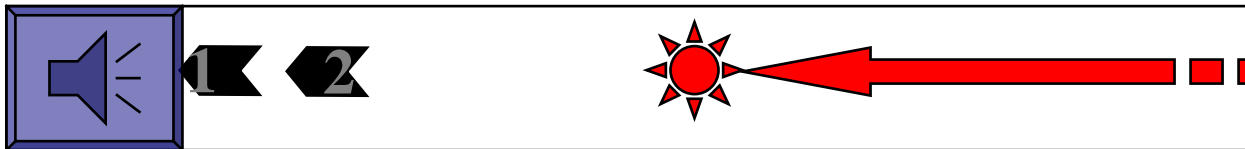
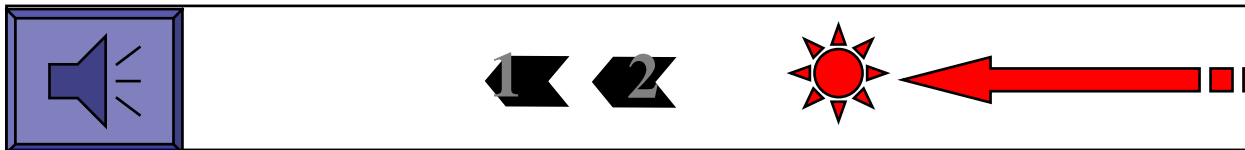
2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

La technologie Broadband

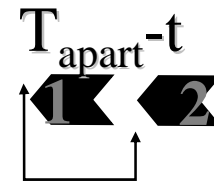
- Les particules continuent de se déplacer le long du faisceau vers l'ADCP et lors de la rencontre avec la 2nd impulsion, un 2nd écho est créé.

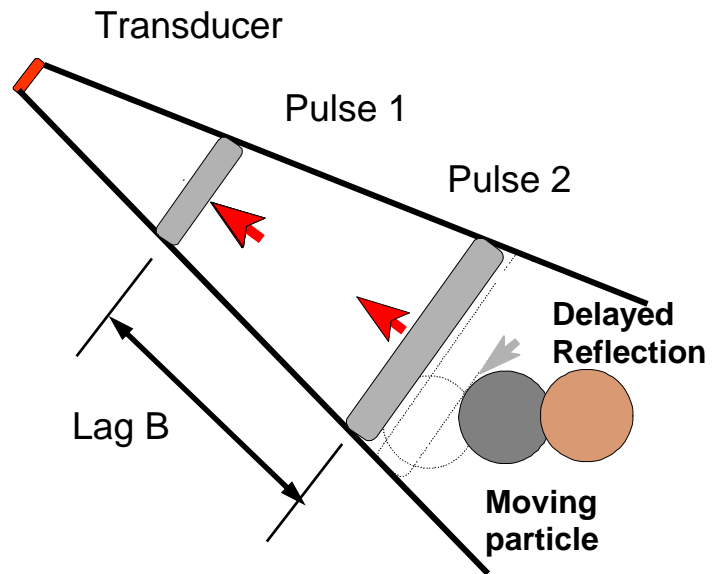
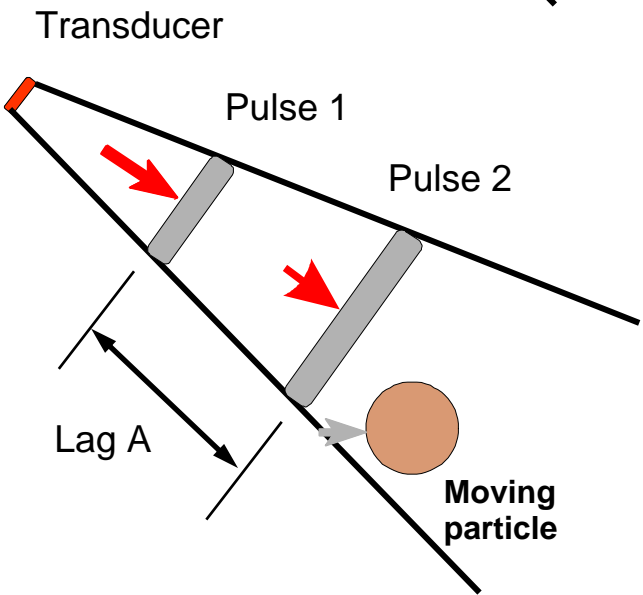
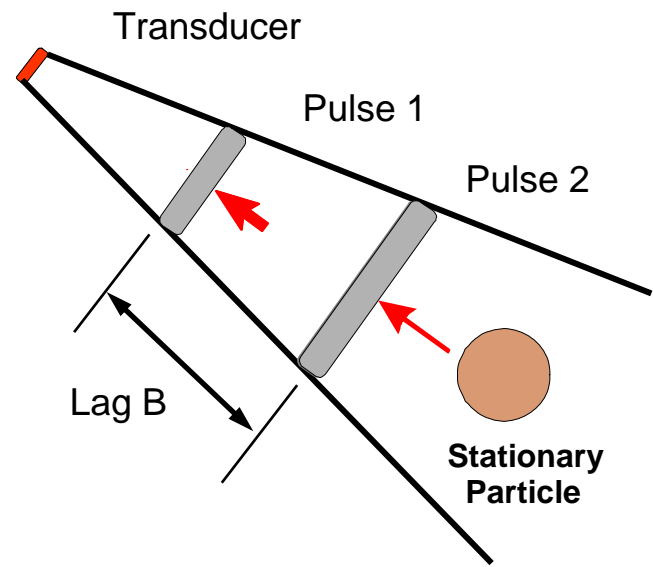
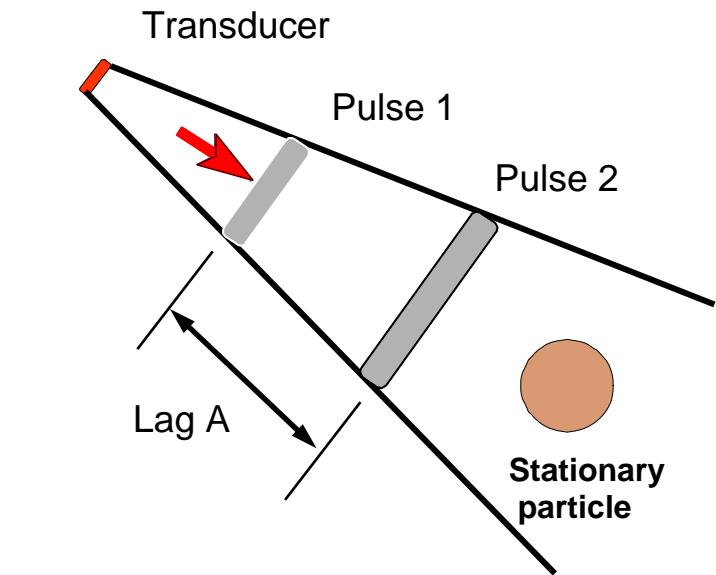


- Le 2nd écho est plus proche de l'ADCP que le premier.



- Les échos sont détectés par l'ADCP. La différence entre leur temps d'arrivée est moindre que celui d'émission:

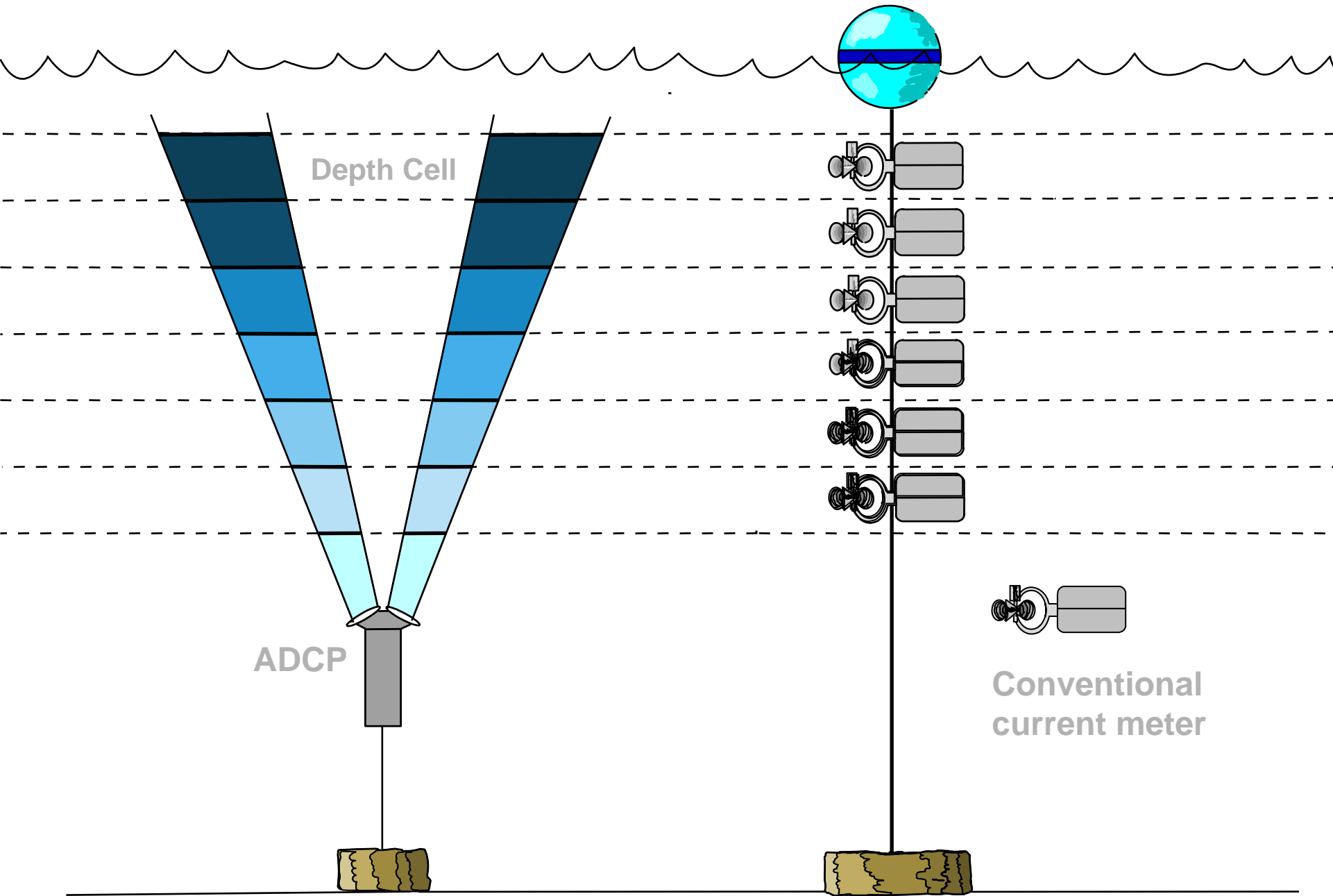




2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Découpage de la colonne d'eau en cellules (« bins ») : ...ou comment l'ADCP mesure un profil des vitesses

- Sur une verticale : émission d'un ping
 - Une partie réfléchiée vers ADCP
 - L'autre partie continue sur sa trajectoire
- **L'ADCP détermine la profondeur de la particule** connaissant la durée de parcours A-R de l'onde et la vitesse du son($v=d/t$)
- **Découpage de la colonne d'eau en éléments verticaux :** l'ADCP écoute les échos réfléchis à différents intervalles de temps, qui correspondent à des profondeurs données

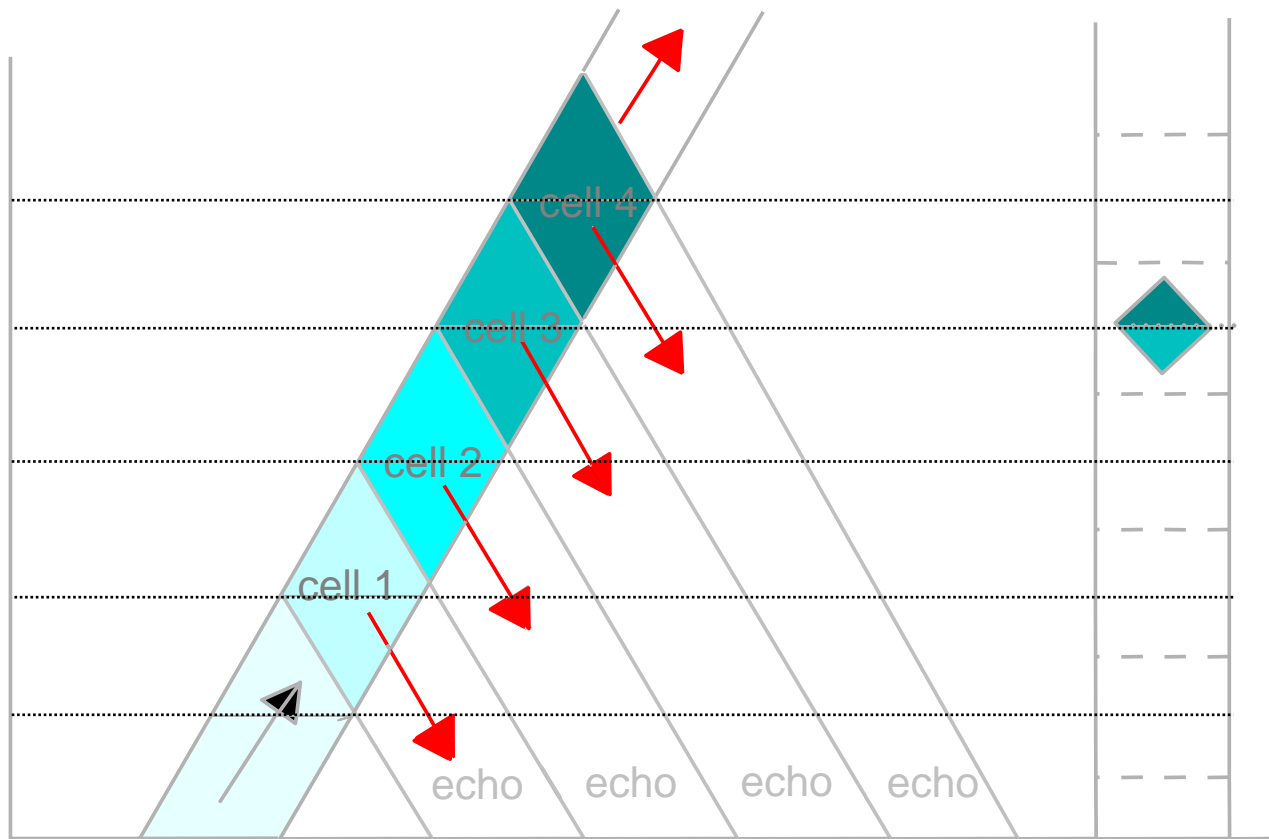


Depth Cell

ADCP

Conventional
current meter

RANGE FROM ADCP



Bin 4

Bin 3

Bin 2

Bin 1

Blank

start

end

Transmit
pulse

Gate 1

Gate 2

Gate 3

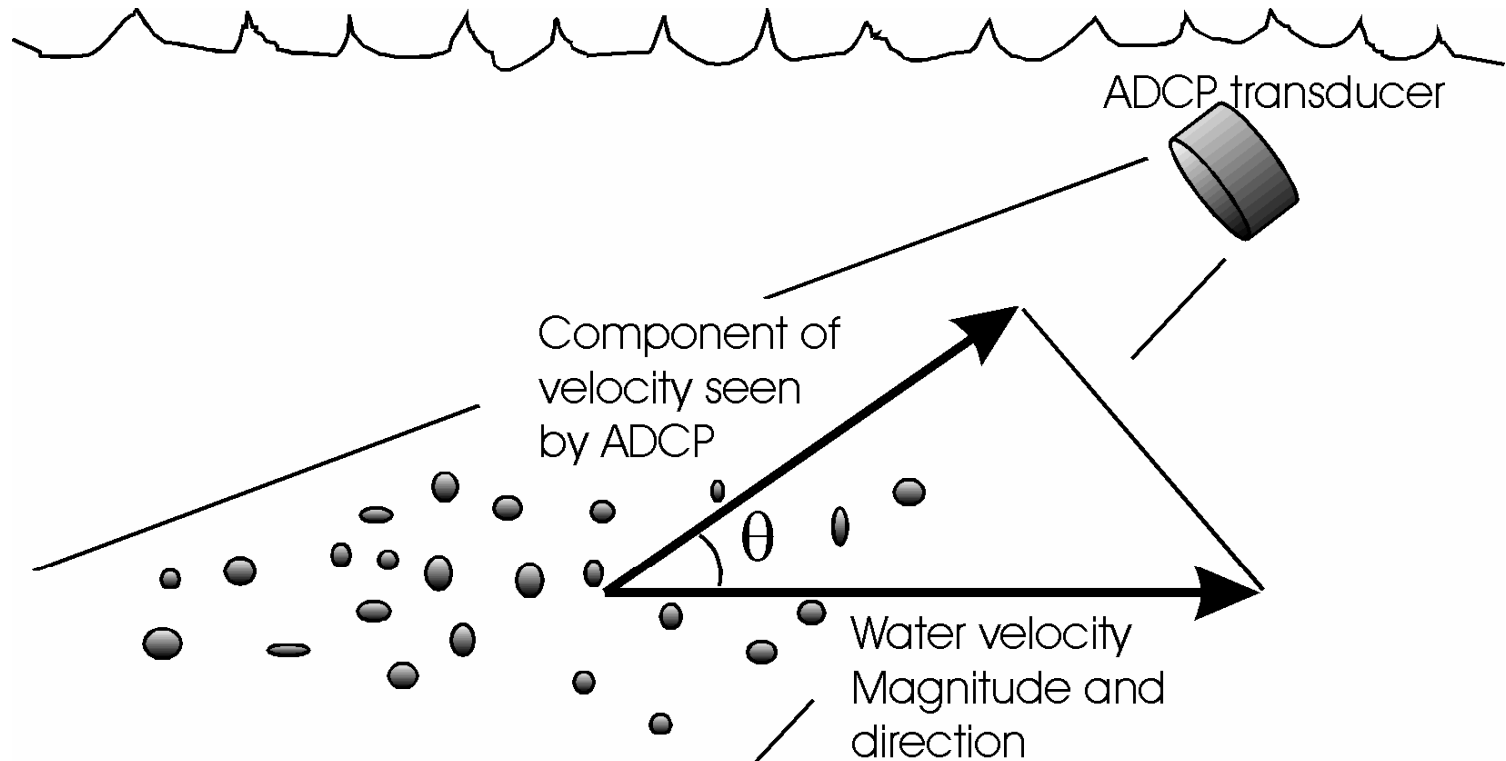
Gate 4

TIME



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Mesure du courant en 3 dimensions

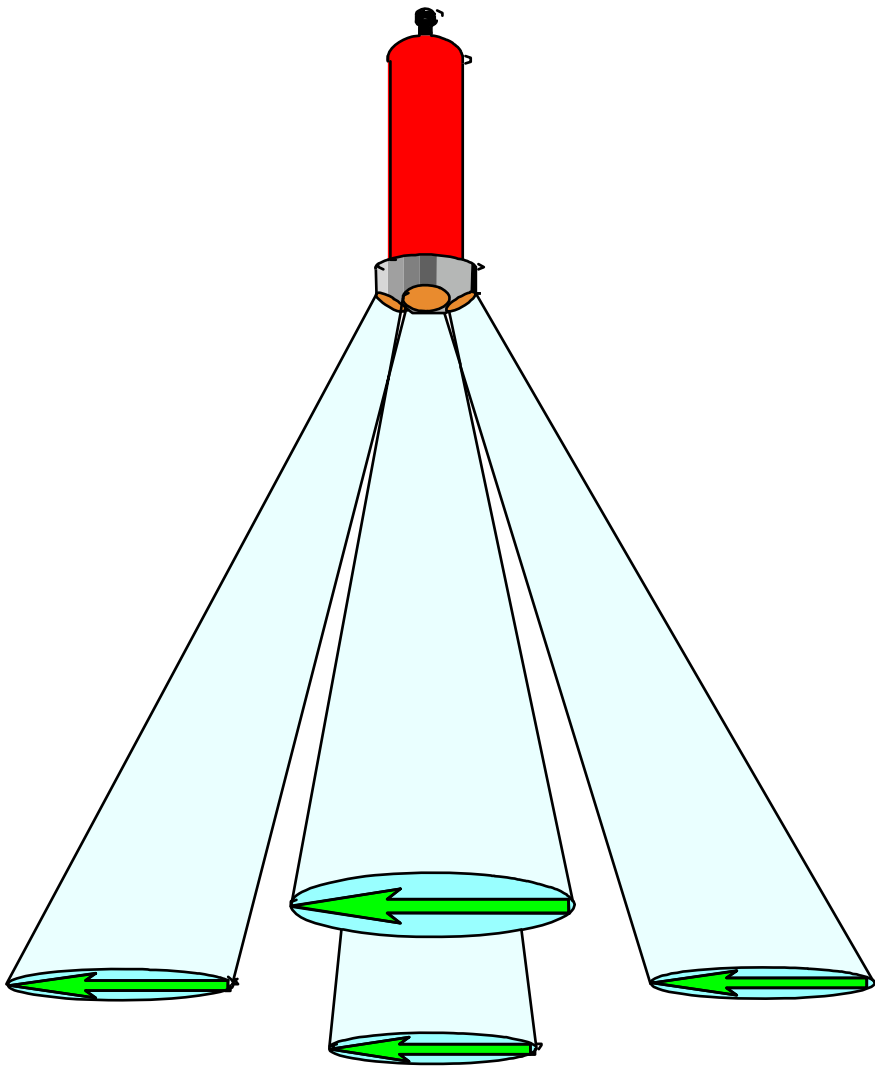


Mesure de la vitesse de la particule se fait selon un axe

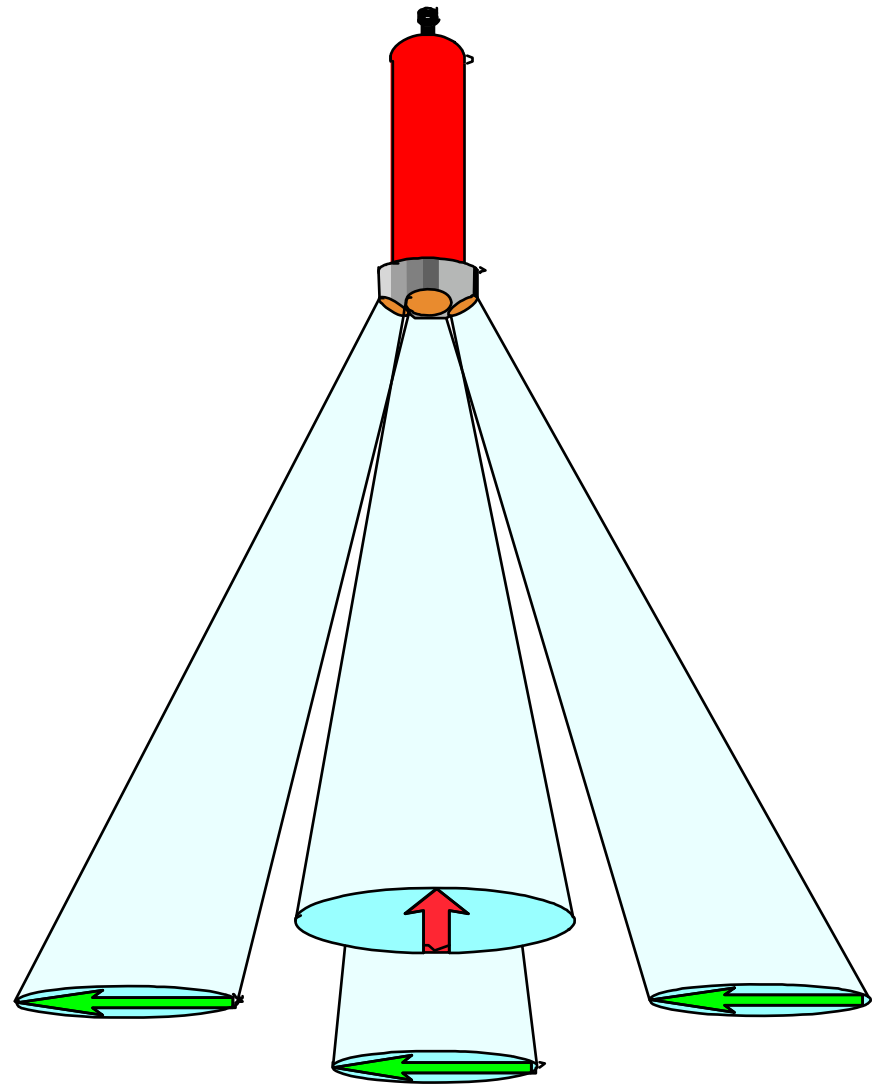
2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Mesure du courant en 3 dimensions

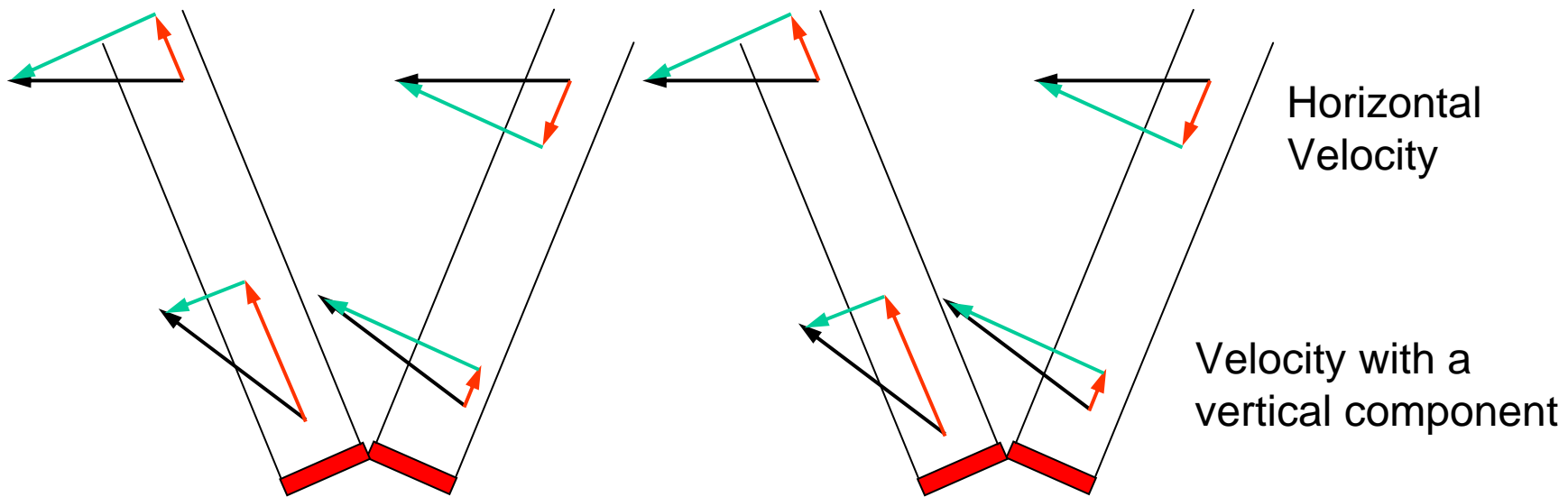
- Les 4 faisceaux émetteurs sont inclinés de 20° par rapport à la verticale
- 2 faisceaux opposés permettent de calculer une composante horizontale et la composante verticale de la vitesse. Les 2 autres faisceaux vont en même temps mesurer l'autre composante horizontale et la même composante verticale de la mesure
- ➡ La comparaison des 2 vitesses verticales donne "**l'error velocity**".
- **Milieu homogène** : les 4 vecteurs courant sont équivalents.
Milieu turbulent : si un faisceau au moins détecte un courant différent, l'error velocity devient importante



HOMOGENEOUS



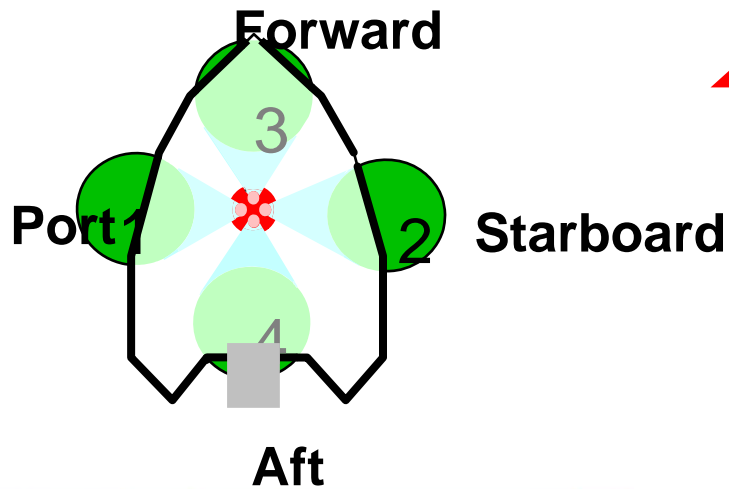
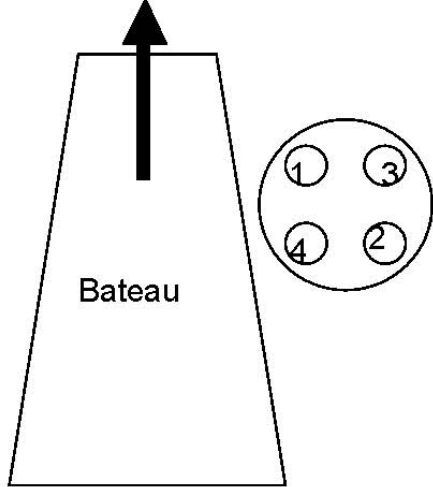
NON HOMOGENEOUS



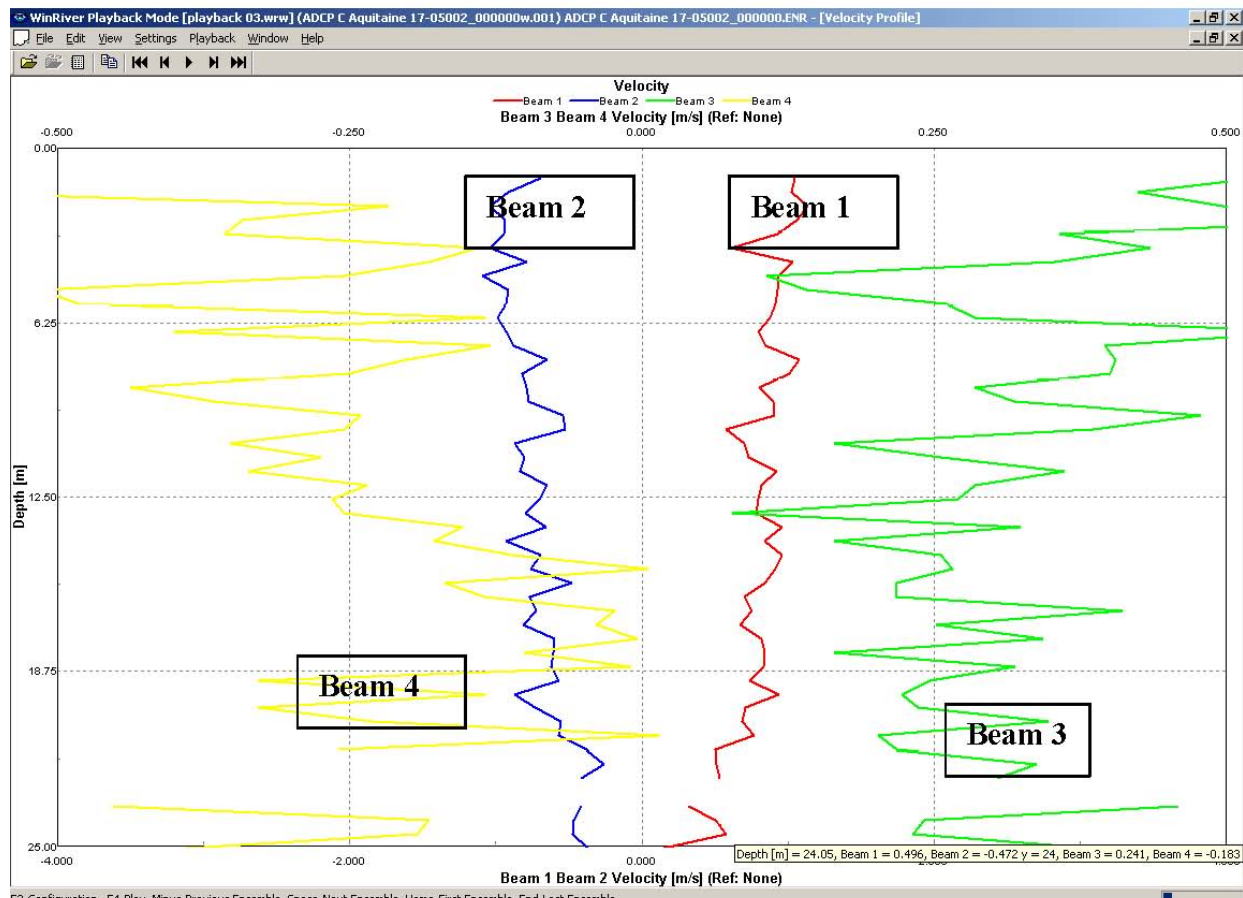
East-West Pair

North-South Pair

- ← Water velocity vector
- ← Measured component
- ← Unmeasured component



**Trajectoire
du bateau**

2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Précision de la mesure de vitesse

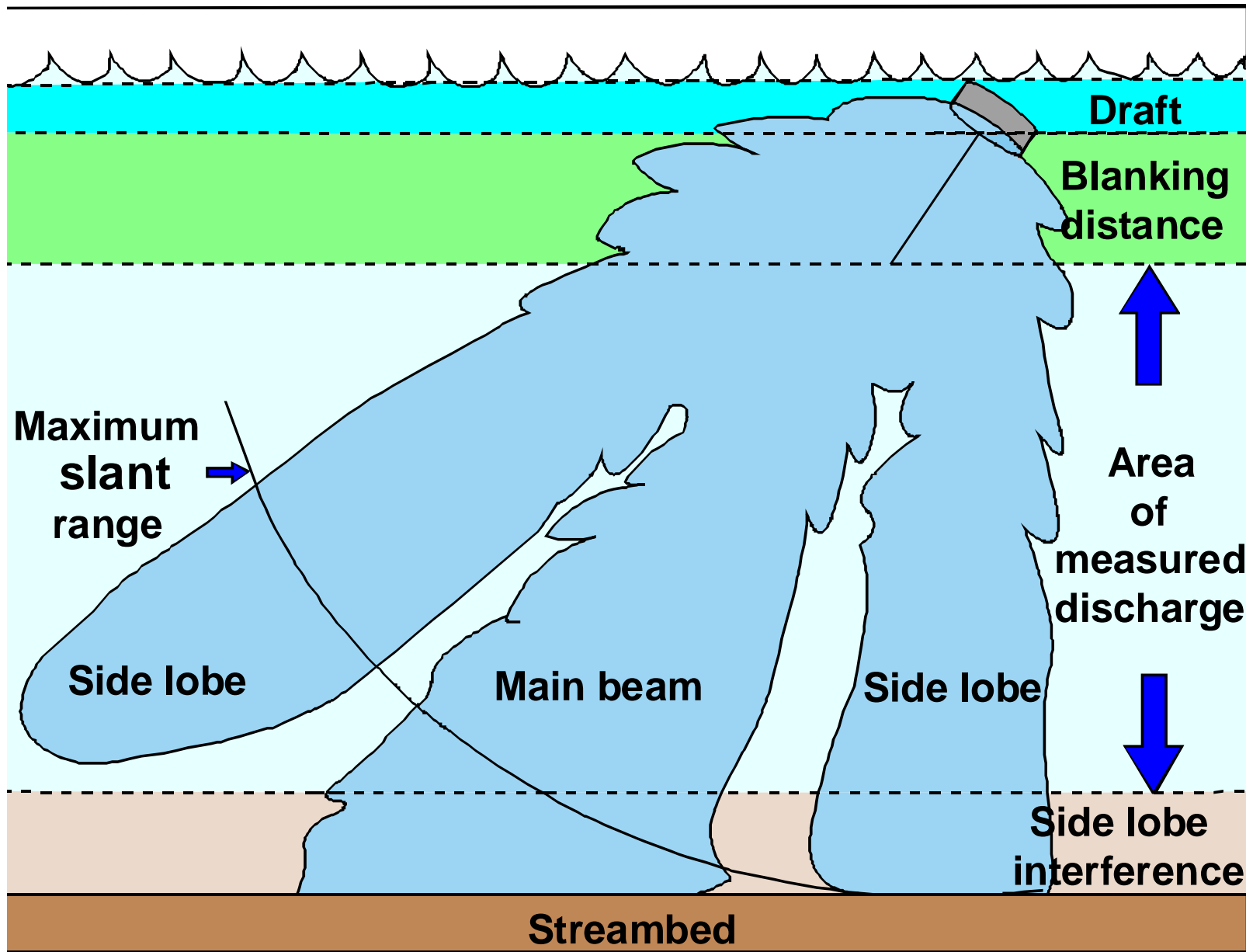
Précision de la mesure fonction de plusieurs facteurs dont :

- **Vitesse de traversée** : une vitesse lente réduit l'erreur moyenne du calcul du débit
- **Dimension des cellules** : Les cellules de faible hauteur ont une erreur systématique très grande mais permettent d'obtenir des mesures plus près de la surface, plus près du fond et plus près des rives.
- **Salinité** : Vitesse du son dans l'eau est fonction de la salinité.
Une erreur de 3% dans la vitesse du son peut produire une erreur de 9% sur le calcul du débit total. Valeur par défaut pour l'ADCP = 35ppm (mer & océan)

2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Limites de l'ADCP

- **Pas de mesures dans la zone superficielle**
 - Zone d'immersion de l'ADCP (~25 cm)
 - Blank : zone aveugle au contact du transducteur
 - Ex : Le 1^{er} m n'est pas mesuré pour un Workhorse (1200 kHz, bins = 25cm)
- **Effets dus au fond : L'ADCP ne mesure pas la couche basse** de la colonne d'eau car problèmes de réflexion acoustique sur le fond.
 - Lobes secondaires : réflexions des lobes secondaires sur le fond : interfèrent avec les réflexions sur les particules : épaisseur de la couche polluée : 6 % de la distance transducteur- fond
 - La dernière cellule n'est jamais utilisée pour la mesure de débit
- **Problème si fond mouvant**



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

L'ADCP extrapole la valeur du débit au niveau :

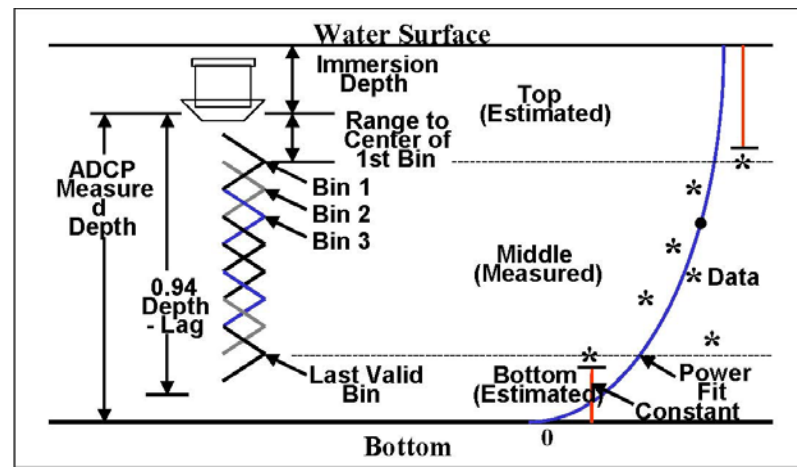
- **Des couches supérieures et inférieures**

différentes méthodes d'extrapolation:

- Méthode constante ou linéaire : la vitesse extrapolée = vitesse de la cellule la plus proche de la surface ou du fond
- Méthode exponentielle : superposition d'une courbe exponentielle à la courbe des courants mesurés

- **Des rives :** profondeur minimum nécessaire pour l'acquisition de bonnes mesures

- Extrapolation pour déterminer les vitesses non mesurées



2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Bottom track (suivi de fond)

- Suivi de fond (bottom track)
- Mesure de la vitesse de l'ADCP par rapport au fond (effet Doppler)
- Attention aux fonds mouvants

2 . Principe de fonctionnement de l'ADCP

Principe de fonctionnement d'un ADCP : en bref...

- **Mesure de la vitesse de l'eau faite par rapport à l'ADCP**
- **Vitesse mesurée grâce aux particules en suspension dans la colonne d'eau**
- **Mesure de la vitesse de l'eau et du déplacement de l'ADCP (bottom track)**
- **Extrapolation des vitesses en surface, au fond et au niveau des rives**

3 . Les différents modes d'utilisation de l'ADCP

L'ADCP peut utiliser plusieurs types de codes d'émission et de traitement du signal.

- **Mode 1** : Mode standard, très robuste pour toutes applications
- **Mode 8** : Mode précis pour faible profondeur (3.5 m pour le 1200 kHz et 7.5 m pour le 600 kHz) et faible vitesse (V_{\max} de 2 m/sec).
- **Mode 5** : Mode très précis pour les courants lents (V max de 1 m/sec) et faible profondeur (idem mode 8) .
- **Mode 11** : Mode 8 amélioré ($V_{\max} = 1$ m/s)
- **Mode 12** : Mode 5 amélioré ; vitesse inférieure à 1m/s

3 . The different modes of operation of ADCP

	Mode 1	Mode 5	Mode 8	Mode 11
Dimensions minimums recommandées des cellules	10cm	10cm	10cm	Mode 5 amélioré très haute précision et très faible profondeur (V _{ma} x ~ 1 m/s)
Erreur systématique pour une seule émission (Ping)	60 cm/s	1 cm/s (vitesse d'écoulement de 50cm/s)	15 cm (vitesse d'écoulement de 100cm/s)	
Profondeur minimum de l'eau	1.00 m	2.00 m	1.00 m	
Porté maximum pour une vitesse d'écoulement < 50cm/s)	20 m	4 m	4 m	
Vitesse relative maximum	10 m/s	1 m/s	2 m/s	
Utilisation typique	Vitesse très grande à toutes les profondeurs Situation difficile Excellent en rivière trop rapide ou trop profonde	Pour des eaux lentes, donc peu profondes et des conditions de turbulences faibles	Pour des rivières moyennes avec des vitesses inférieures à 2 m/s mais avec des turbulences. Satisfaisant en eau peu profonde.	

4. Différents modèles d'ADCP

- WorkHorse Rio Grande (600 kHz ou 1200 kHz)
- WorkHorse Monitor : suivi continu des débits (possibilité d'installation permanente)
- Zedhed : pour les faibles niveau d'eau (gamme de mesure de 30 cm d'eau jusqu'à 20 m et ce avec une résolution de 1 cm)

Terminologie

Ping

- Impulsion sonore de fréquence connue

Cellule, Bin

- Définition d'un intervalle verticale

Ensemble

- Ensemble de données fournies par l'ADCP

Transect

- Groupement d'ensemble constituant une mesure du débit

Bottom tracking

- Suivi de fond utilisé pour mesurer la vitesse de déplacement de l'ADCP