

Gaspard Fourestier



# Étude des principes de fonctionnement et d'utilisation du SCAMP

Encadré par Anne Petrenko et  
Andréa Doglioli

# Plan

## Description du SCAMP

- Description générale

- Les différents types de mesures

## Principe de fonctionnement

- Profil ascendant

- Profil descendant

## Traitement des mesures

- Détermination du flux turbulent

- Le spectre de Batchelor

- Détermination de  $k_b$

- Détermination de  $K_z$

## Application

# Le SCAMP

Self Contained Autonomous MicroProfiler

Precision Measurement Engineering  
PME (Californie)



# Description générale

Mesures à très petite échelle ( $\approx 1\text{mm}$ )

Fréquence de mesures: 100Hz

Léger  $\approx 6\text{kg}$

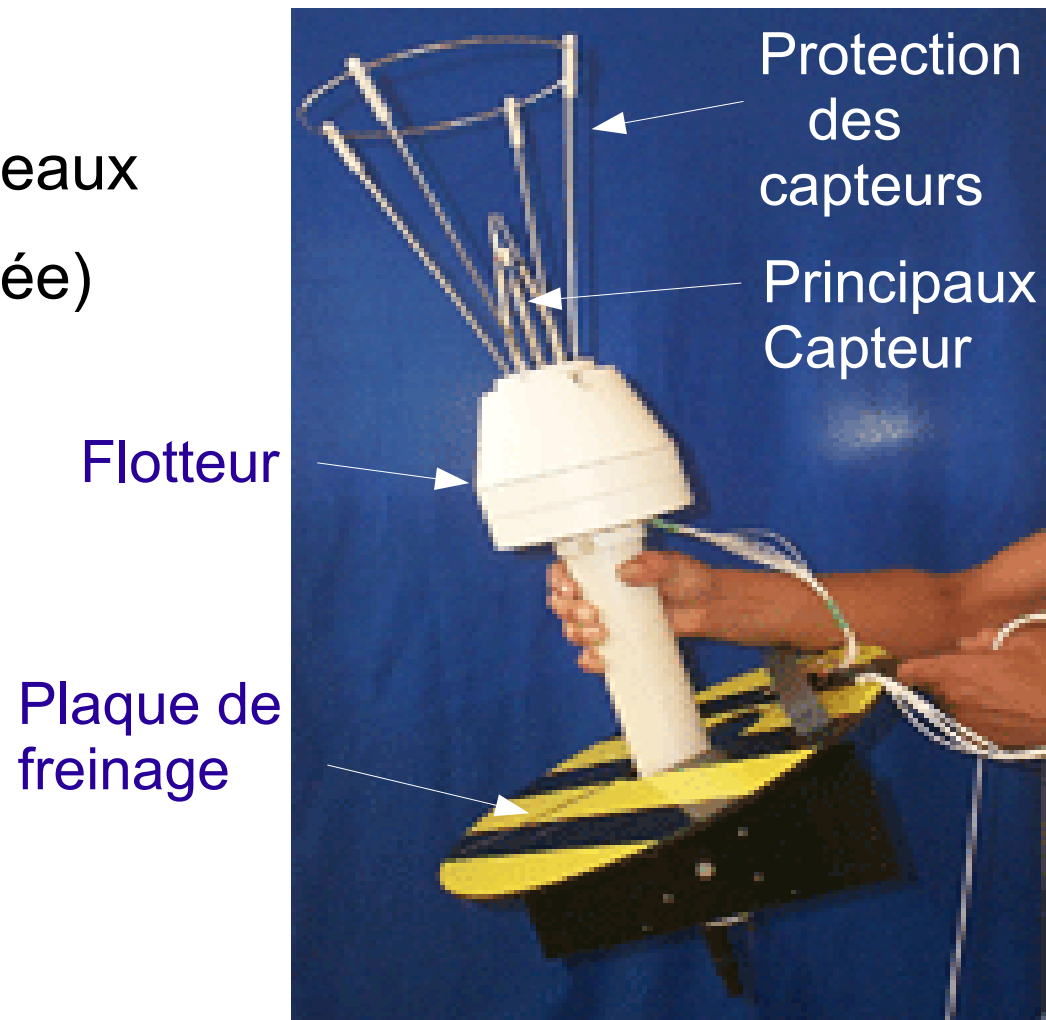
Déploiement à partir de petits bateaux

Déplacement libre (chute et montée)

Vitesse de déplacement  
 $\approx 10\text{cm/s}$

Profondeur max: 100m

2 modes d'acquisition  
possible



# Différents types de mesures

Pour un SCAMP basique on fait des mesures de:

Température (Rapide / Précise)

gradient de température :

mesure de  $\frac{dT}{dt}$  puis dérivation de  $\frac{dT}{dz}$  avec la vitesse

Conductivité (Rapide !! / Précise) → Salinité

Pression → Profondeur → Vitesse

En option on peut faire des mesures de:

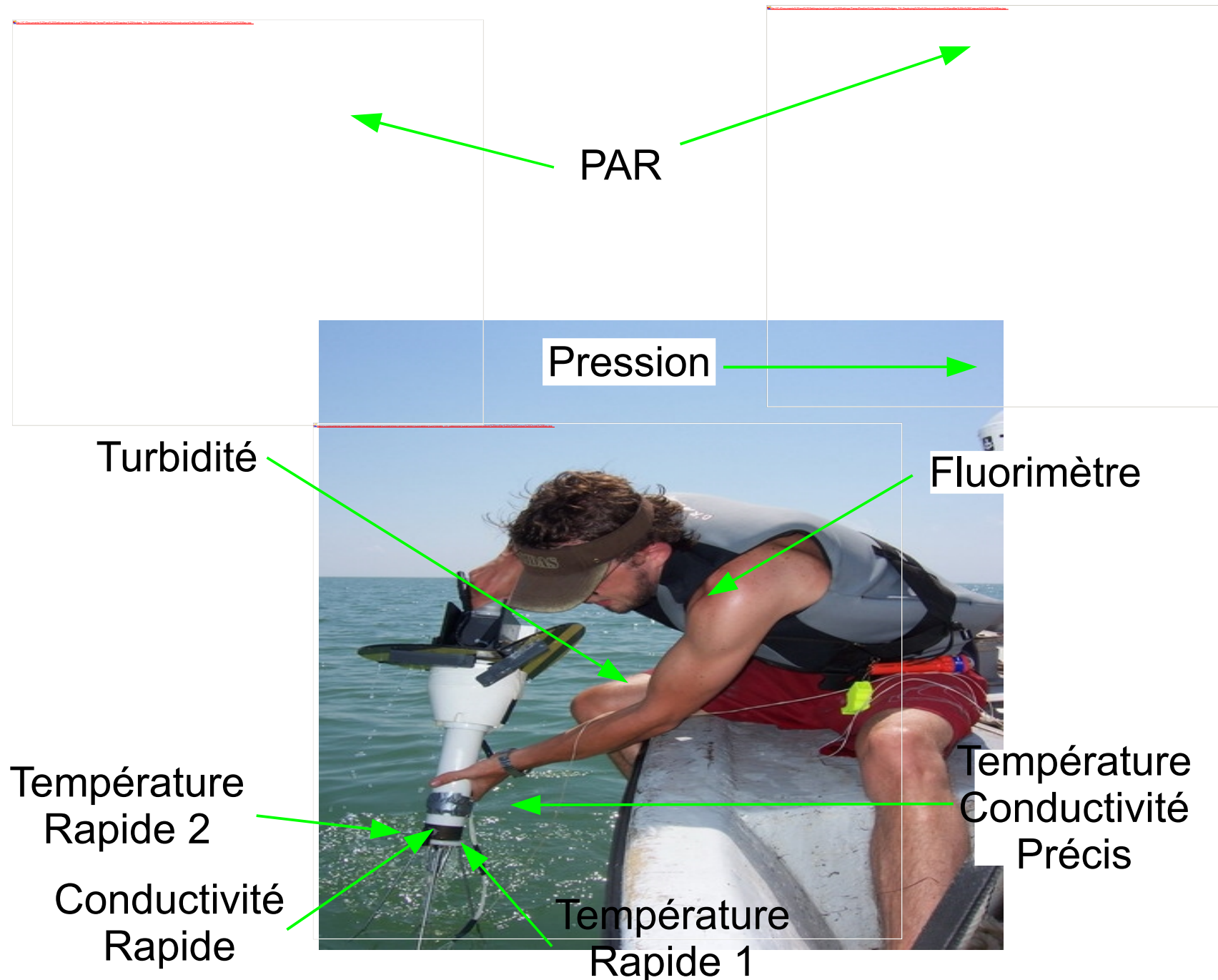
Turbidité

Fluorimètre

Photosynthetically Active Radiation (PAR)

Concentration en oxygène

# Les différents Capteurs



# Plan

## Description du SCAMP

- Description générale

- Les différents types de mesures

## Principe de fonctionnement

- Profil ascendant

- Profil descendant

## Traitement des mesures

- Détermination du flux turbulent

- Le spectre de Batchelor

- Détermination de  $k_b$

- Détermination de  $K_z$

## Application

# Profil Ascendant

Permet des mesures  
proche de la surface

Flotteur position haute

Caillou pour plonger

Plaque de freinage libre

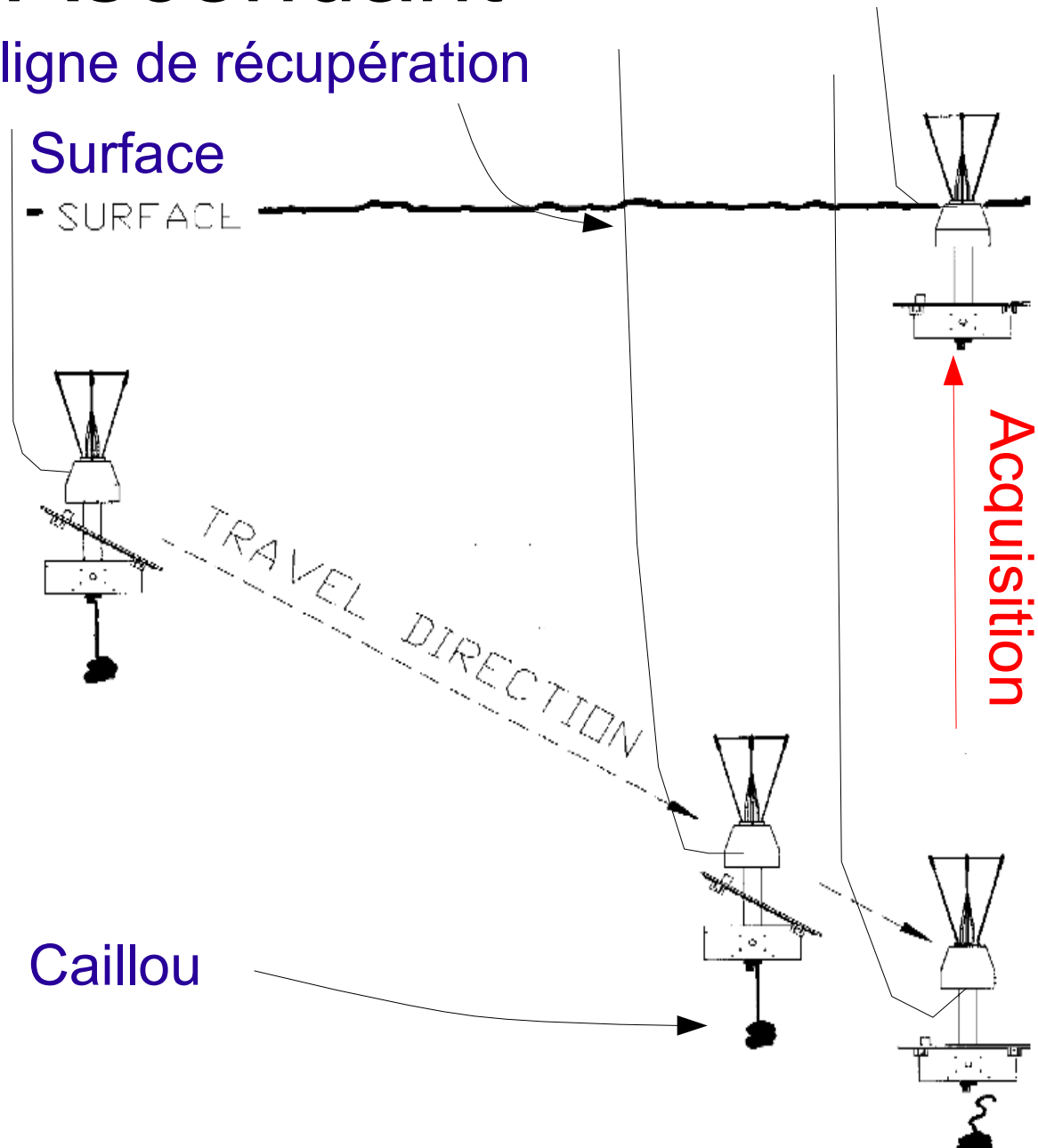
Plongée à 45°

Mesure sur eau non  
perturbée

ligne de récupération

Surface

- SURFACE





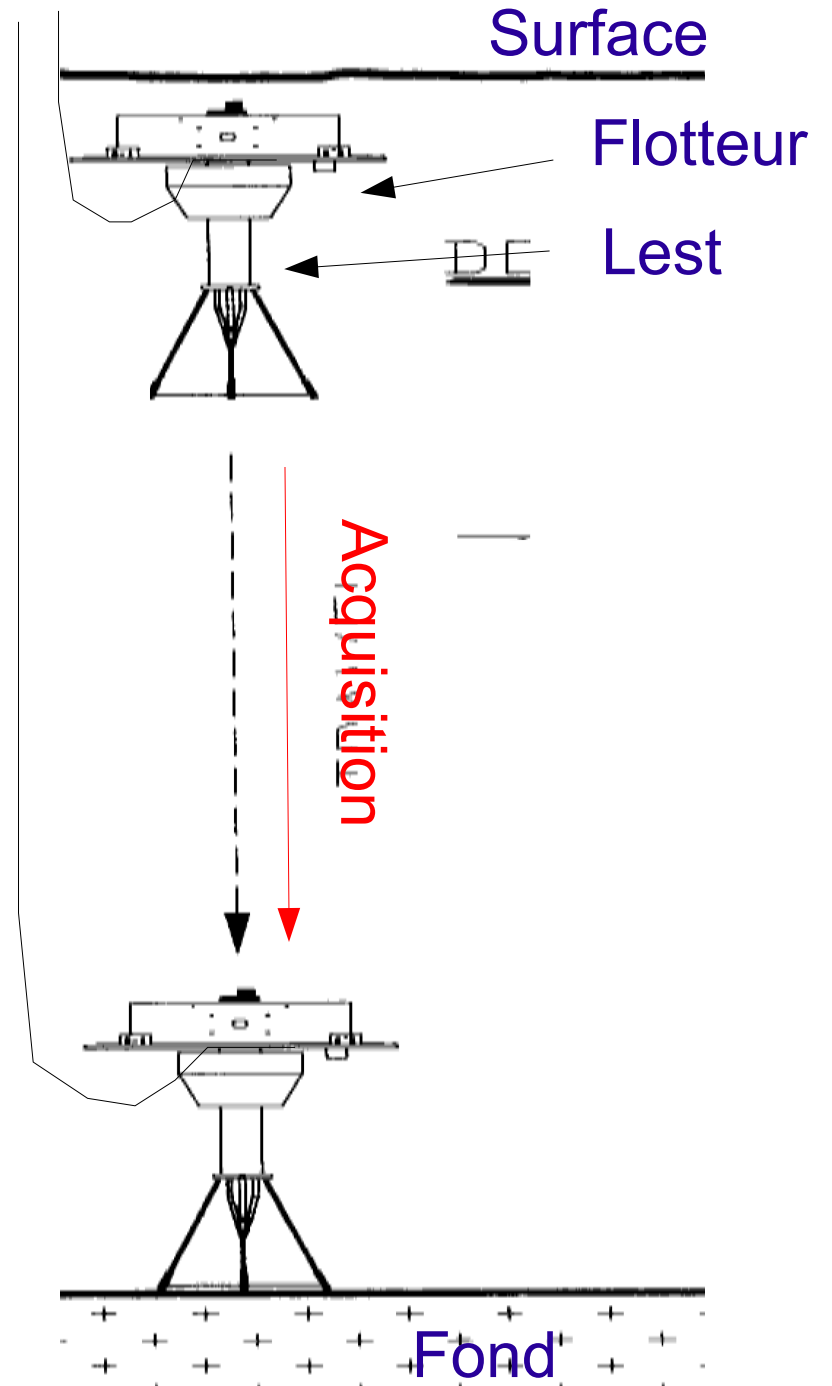
# Profil Descendant

Permet des mesures  
proches du fond

Flotteur position 'basse '

Blocage de la plaque de  
freinage

Lest



# Plan

## Description du SCAMP

- Description générale

- Les différents types de mesures

## Principe de fonctionnement

- Profil ascendant

- Profil descendant

## Traitement des mesures

- Détermination du flux turbulent

- Le spectre de Batchelor

- Détermination de  $k_b$

- Détermination de  $K_z$

## Application

# Détermination du flux turbulent

Le flux turbulent  $F$  d'une quantité

$$F = K_z^i \frac{\partial C_i}{\partial z} \quad \text{avec } i = v, T \text{ ou } S$$

Nécessité de déterminer  $K_z^i$

Existence de différentes méthodes pour déterminer  $K_z^v$

e.g. Méthode de Osborn(1980):  $K_z^v = \frac{Ri}{1 - Ri} \frac{\varepsilon}{N^2}$  avec  $Ri = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$

Détermination de  $N$   $N^2 \approx \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}$   $\rho = f(T, C)$  mesuré

$\varepsilon \approx 7 \cdot 10^{-10} \text{ watt.kg}^{-1}$  (Gregg, 1989)

Avec le SCAMP: estimation de  $\varepsilon$

# Le spectre de Batchelor

On a les deux équations:

$$\frac{\partial \overline{E_{ct}}}{\partial t} = -\bar{\rho} K_z^v \frac{\partial^2 \overline{u}}{\partial z^2} - g \overline{\rho' w'} - \bar{\rho} \varepsilon$$

$$\frac{\partial \overline{(T')^2}}{\partial t} = -2 K_z^T \frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial z^2} - \chi$$

$$K_z^v \approx K_z^T$$

$\chi$  : dissipation de la température due à la diffusivité moléculaire

$\varepsilon$  : dissipation de l'En Cin turbulente due à la viscosité moléculaire

Batchelor (1959): solution analytique équation de l'advection-diffusion pour T

Spectre théorique de gradT (spectre de Batchelor)

$$S(k) = f(k, k_b, \chi)$$

Relation entre  $\varepsilon$  et  $k_b$  ( nombre d'onde de Batchelor):

$$\varepsilon = \nu D^2 k_b^4$$

# Détermination de $k_b$

Transformé de  
Fourier  
discrète

Mesure de  
Grad T

Spectre  
calculé  
 $S_{\text{exp}}(k)$

Spectre du bruit  
du SCAMP  $S_n(k)$

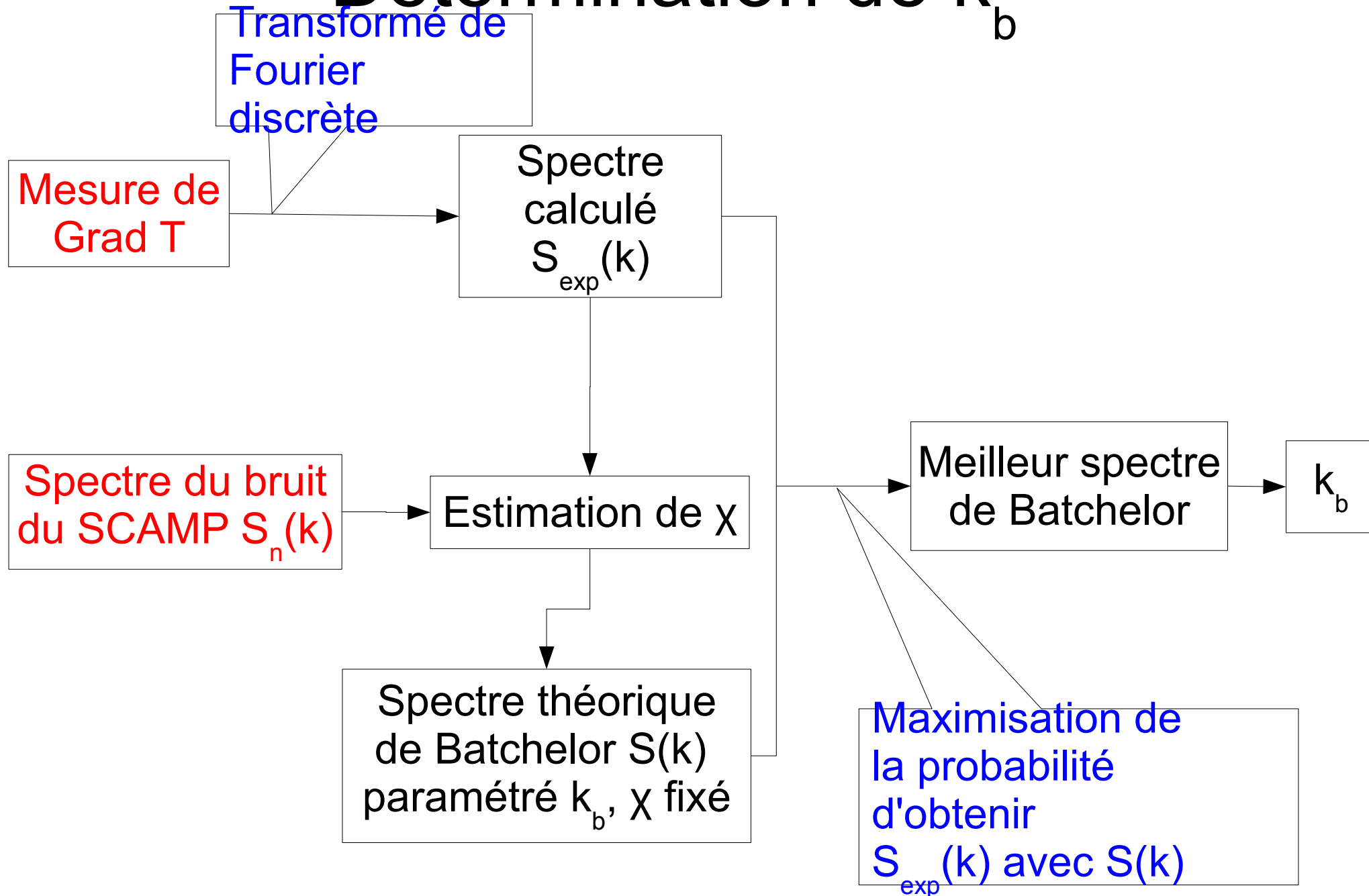
Estimation de  $\chi$

Spectre théorique  
de Batchelor  $S(k)$   
paramétré  $k_b$ ,  $\chi$  fixé

Meilleur spectre  
de Batchelor

$k_b$

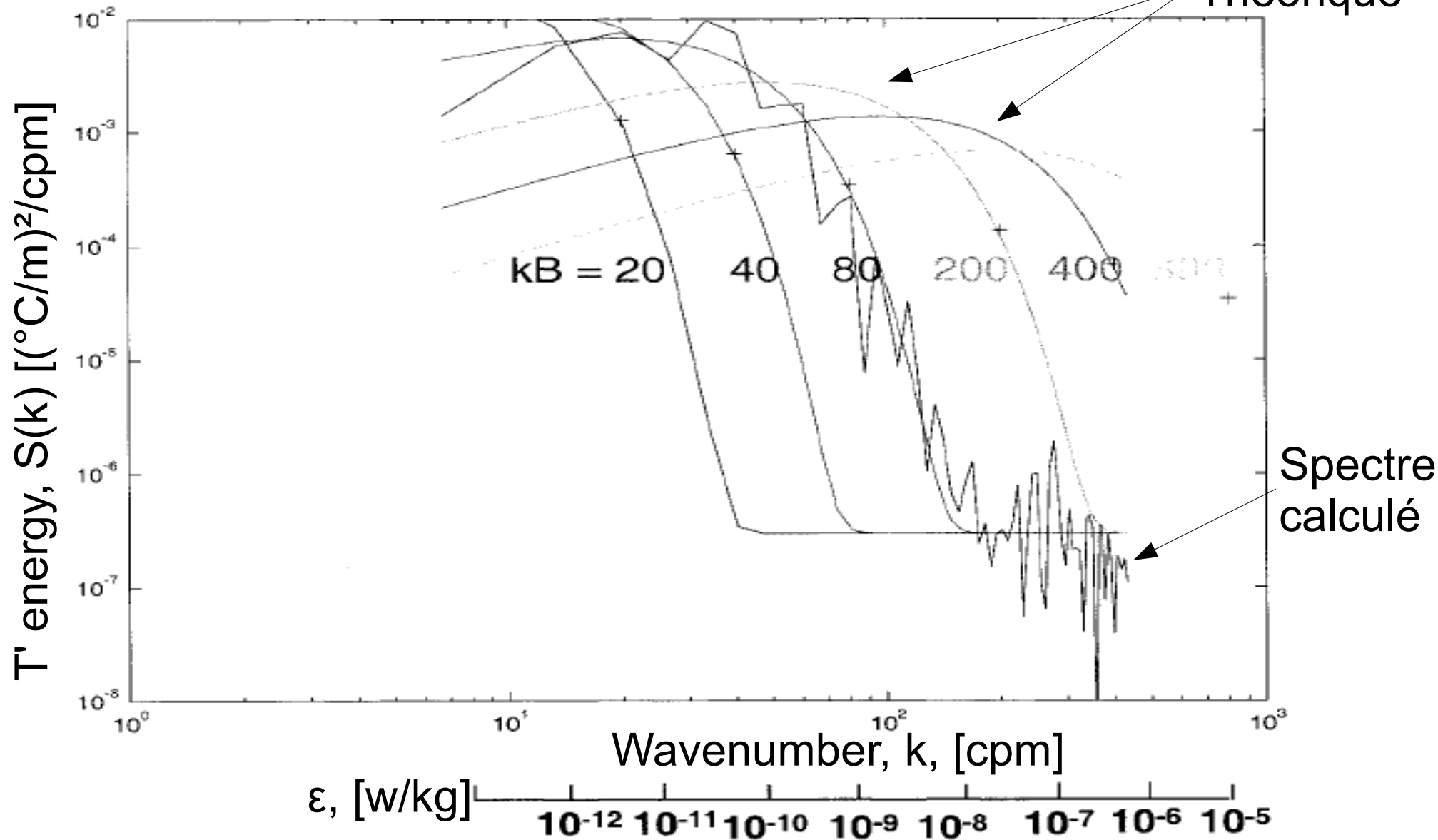
Maximisation de  
la probabilité  
d'obtenir  
 $S_{\text{exp}}(k)$  avec  $S(k)$



# Détermination de $k_b$

Batchelor Temperature gradient fitting

Spectre  
Théorique



# Détermination de $k_b$

Transformé de  
Fourier  
discrète

Mesure de  
Grad T

Spectre  
calculé  
 $S_{\text{exp}}(k)$

Spectre du bruit  
du SCAMP  $S_n(k)$

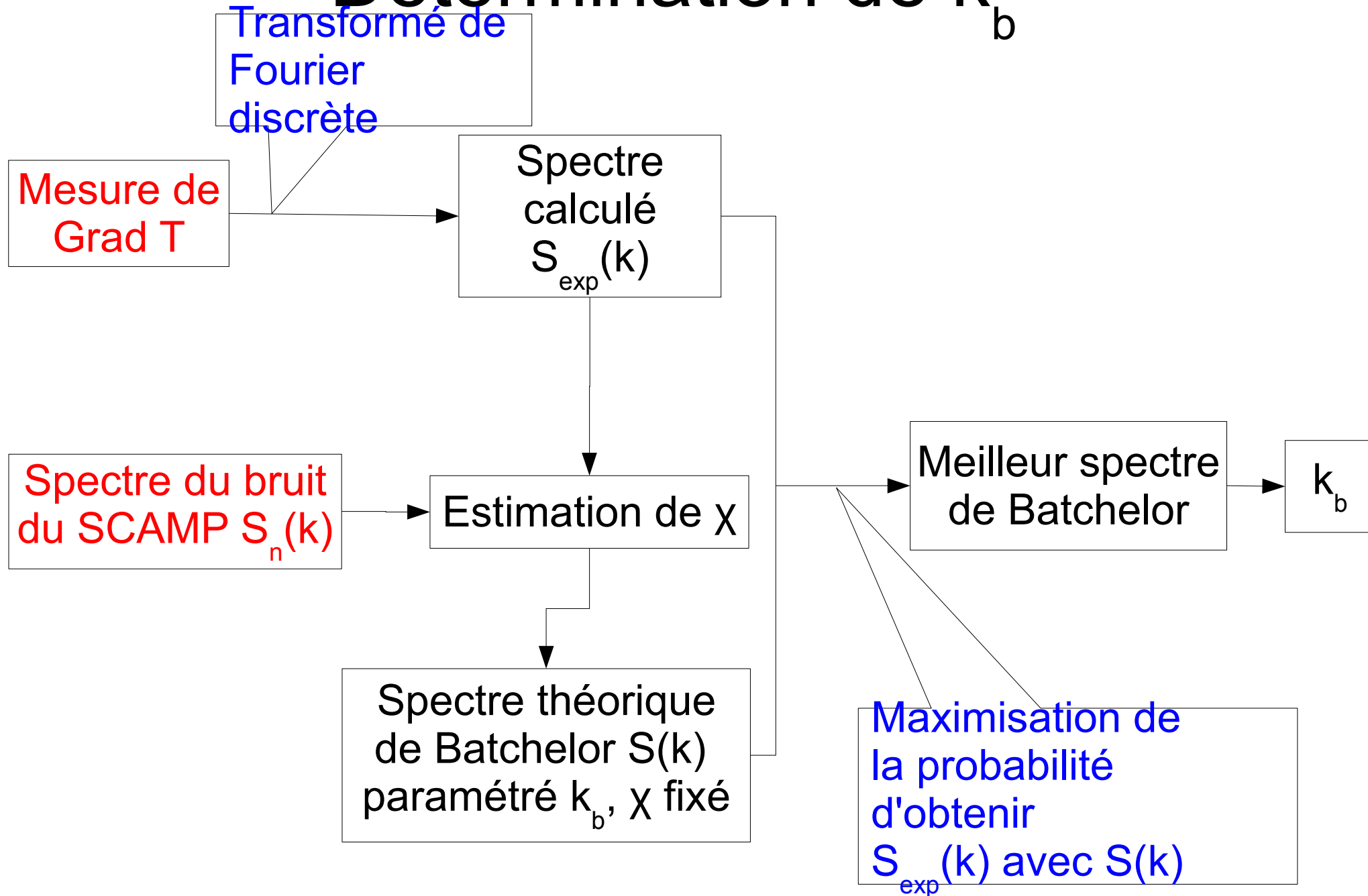
Estimation de  $\chi$

Spectre théorique  
de Batchelor  $S(k)$   
paramétré  $k_b$ ,  $\chi$  fixé

Meilleur spectre  
de Batchelor

$k_b$

Maximisation de  
la probabilité  
d'obtenir  
 $S_{\text{exp}}(k)$  avec  $S(k)$



# Détermination de $K_z$

Turbulence différente selon la profondeur → segmentation de la colonne d'eau

Détermination de  $N$   $N^2 = \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}$   $\rho = f(T, C)$  mesuré

Détermination de  $\varepsilon$   $\varepsilon = \nu D^2 k_b^4$

Méthode de Osborn(1980):  $K_z = \frac{R_i}{1 - R_i} \frac{\varepsilon}{N^2}$  avec  $R_i = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$

Pour déterminer le flux  $F$  d'une quantité  $F = K_z \frac{\partial C}{\partial z}$

[Ruddick, Barry, Anis, Ayal, Thompson, Keith. 2000:  
Maximum Likelihood Spectral Fitting: The Batchelor Spectrum.  
Journal of Atmospheric and Oceanic Technology]

Echange avec PME (Routine Matlab)



# Application

Sharples et al. (2003): Détermination de  $\varepsilon$  et  $K_z \rightarrow$  flux d' $O_2$  dissous ( Estuaire au sud de l'Australie)

MacIntyre et al. (1999): Détermination de  $\varepsilon$  et  $K_z \rightarrow$  flux d'ammonium ( $NH_4^+$ ) ( Lac Mono en Californie)

Anis et al. (2006): Étude de la turbulence dans un lac mexicain  
Détermination de  $\varepsilon$ ,  $\chi$  et  $K_z$  et comparaison avec un modèle

Capteur rapide de température:

Thermistance FP07

Précision: 0.01°C

Constante de temps: 7ms

Capteur rapide de conductivité

Construit par PME

Cellule 4 électrodes de platine

Réponse spatiale: 4cycle/cm

Capteur précis de Température et Conductivité

Thermistance T1201 / BR11 ?

Temps de réponse: 0.2s

Capteur de conductivité fait par PME

Permet de vérifier le capteur rapide

Capteur de pression

PAA10 fabriqué par Keller PSI

Pression Max: 10Bar

Gradient de température:

Circuit analogique connecté à chaque capteur de température

Calcul  $\frac{dT}{dt} \rightarrow \frac{dT}{dx}$  avec la vitesse

Fluorimètre:

PAR:

Photodiode Li-Cor LT-192SA

Turbidité:

Capteur 'laser' fait par DA instrument & PME

Sensibilité Max: 0 – 300 NTU

Concentration en oxygène:

# Détermination de $\varepsilon$

Relation entre  $\varepsilon$  et  $k_b$  ( nombre d'onde de Batchelor):

$$\varepsilon = \nu D^2 k_b^4$$

$$\frac{\partial \overline{(T')^2}}{\partial t} = -2 \overline{w' T'} \frac{\partial T}{\partial z} - \chi \text{ avec } \chi = 2 D \overline{(\nabla T')^2}$$

$$\frac{\partial \overline{E_{ct}}}{\partial t} = -\bar{\rho} \overline{w' u'} \frac{\partial u}{\partial z} - g \overline{\rho' w'} - \bar{\rho} \varepsilon \text{ avec } \varepsilon = -nu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right)}$$

# Détermination de $K_z$

Turbulence différente selon la profondeur → segmentation de la colonne d'eau

$$F = K_z \frac{\partial C}{\partial z}$$

Détermination de N

$$N^2 = \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad \rho = f(T, C) \text{ mesuré}$$

Détermination de  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \nu D^2 k_b^4$$

Méthode de Osborn(1980):

$$K_z = \frac{R_i}{1 - R_i} \frac{\varepsilon}{N^2} \text{ avec}$$

$$R_i = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$$

Méthode de Barry et al.:

$$K_z = 0.9 \nu^{2/3} D^{1/3} \frac{\varepsilon}{\nu N} \text{ si}$$

$$\frac{\varepsilon}{\nu N^2} < 300$$

Pour déterminer le flux F d'une quantité