



DÉVELOPPEMENT DE PROCÉDÉS POUR LA RÉCUPÉRATION DE RESSOURCES DES EAUX USÉES

UTILISATION DE MICROALGUES POUR LA BIOCONVERSION DU CO₂ ET
TRAITEMENT DÉCENTRALISÉ D'URINE SÉPARÉE À LA SOURCE

Séminaire InCA – ICube – 23/01/2020

J. LAURENT, L.A. PHAM, J. FARINACCI, T.M. TESHOME, J.D. ARCE VELASQUEZ
Equipe MecaFlu

1

RÉCUPÉRATION DE RESSOURCES DES EAUX USÉES



Nouveau paradigme



Eau usée:

Energie (thermique, chimique)
Nutriments (N,P)
Molécules à haute valeur ajoutée
(bioplastiques...)
Réutilisation de l'eau traitée



Séparation à la source:

Possibilité d'optimiser la
récupération ?

2

UTILISATION DES MICROALGUES

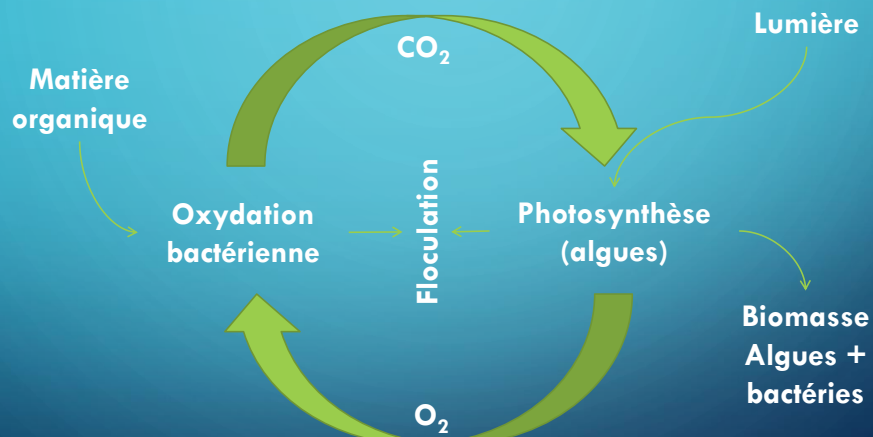
TRAITEMENT DES EAUX
USÉES

MODÈLES
HYDRODYNAMIQUES

RÉCUPÉRATION DE
RESSOURCES

3

RESPIRATION PHOTOSYNTHÉTIQUE

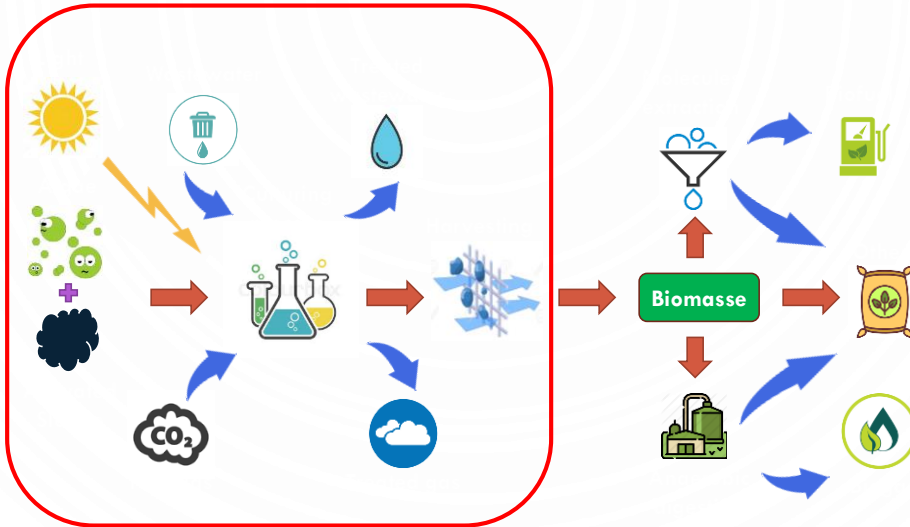


(Gutzeit et al. 2005)

4

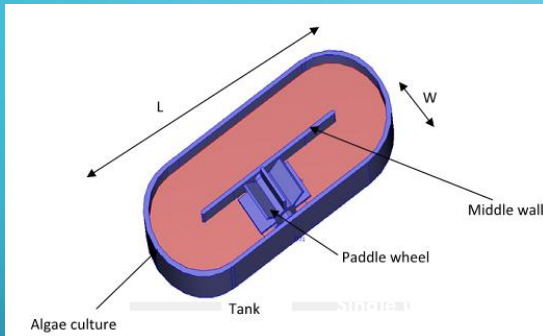
4

UTILISATION DE LA BIOMASSE ALGALE



5

CHENAL À HAUT RENDEMENT ALGAL "RACEWAY"



- Proposé il y a 60 ans (*Oswald and Gotaas 1957*)
- Chenal ouvert, peu profond
- Mélange avec une roue à aubes



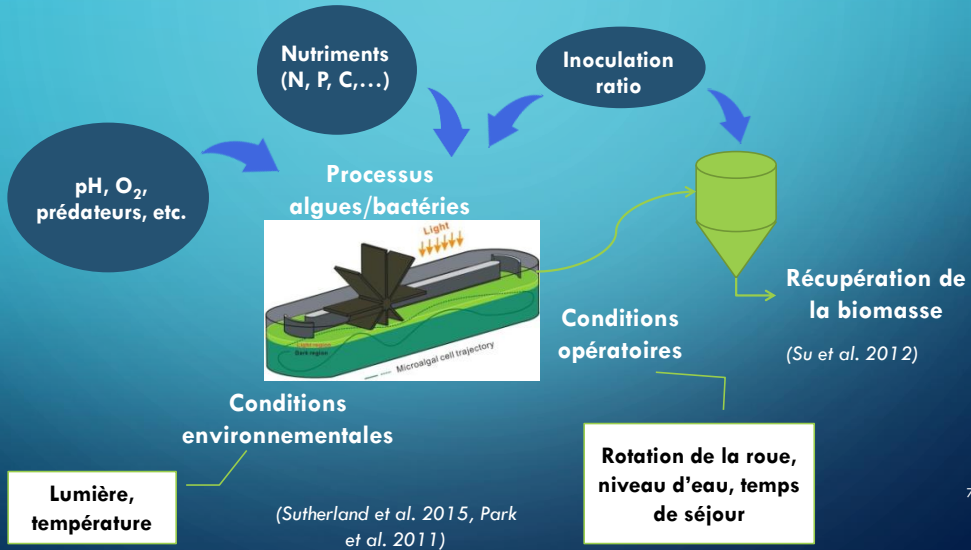
Application industrielle

- Peu coûteux, exploitation simplifiée (*Mata et al. 2010*)
- Appliqué pour la production d'algues (*Kumar et al. 2015*) et le traitement des eaux usées (*Park et al. 2010*).

6

6

PARAMÈTRES DE FORÇAGE/CONTRÔLE



7

VERROUS

Impact de l'inoculum sur la croissance des algues et bactéries ?

Pham, L.A., Laurent, J., Bois, P., Wanko, A., 2019. Finding optimal algal/bacterial inoculation ratio to improve algal biomass growth with wastewater as nutrient source. *Water SA* 45.

Impact des conditions opératoires sur le mélange et le transfert ?

Pham, L.A., Laurent, J., Bois, P., Wanko, A., 2018. Impacts of operational conditions on oxygen transfer rate, mixing characteristics and residence time distribution in a pilot scale high rate algal pond. *Water Science and Technology* 78, 1782–1791.

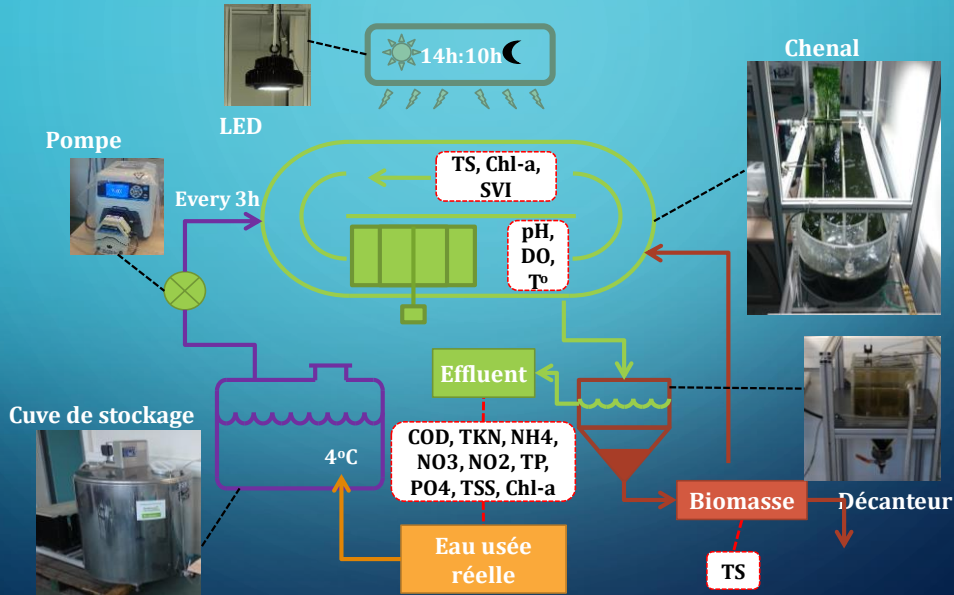
Analyser la dynamique des algues vs. bactéries sur le long terme ?

Pham, L.A., Laurent, J., Bois, P., Teshome, T.M., Wanko, A., Operating a semi-continuous raceway pond allows to link pH and oxygen dynamics to the interaction between microalgae and bacteria. *Desalination and Water Treatment*, Under review

8

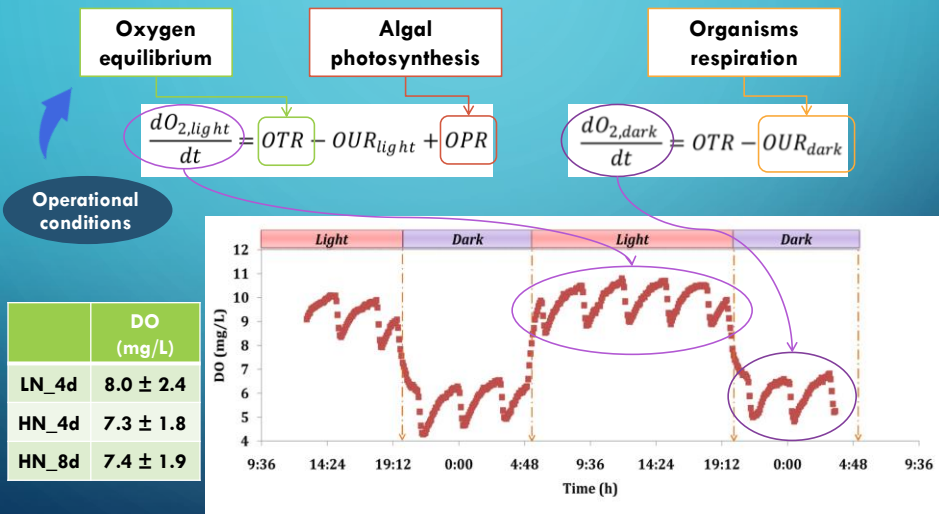
8

ETUDE PILOTE



9

MAJOR GOVERNING PROCESSES OF DO



10

ALGAL BACTERIAL DYNAMICS - DO PROFILE

Decomposition analysis

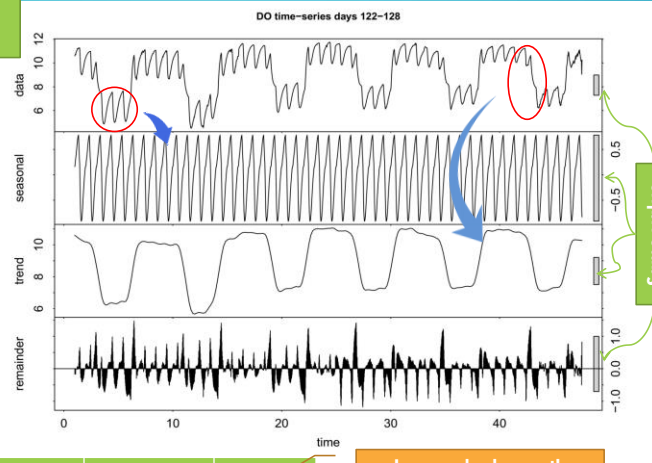
Raw data

Variation due to feeding

Variation due to light/dark

Noises

(Crawley, 2012)

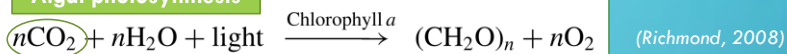


DO variation (mg/L)	LN_4d	HN_4d	HN_4d stationary	HN_8d
Light/Dark	3.40	2.55	2.17	3.18
Feeding	0.33	0.28	0.17	0.19

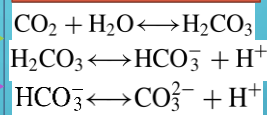
11

MAJOR GOVERNING PROCESSES ON PH

Algal photosynthesis



Carbonate equilibrium



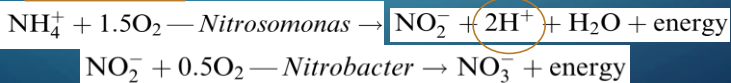
increased pH

decreased pH

Heterotrophic oxidation



Nitrification

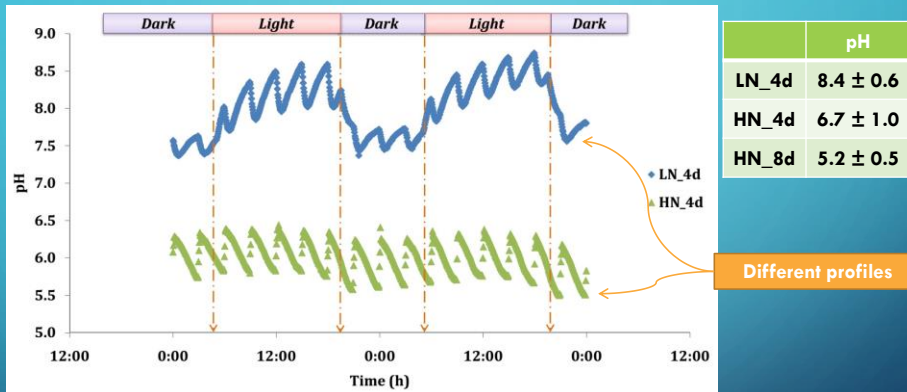


(Gerardi, 2002)

12

12

ALGAL BACTERIAL DYNAMICS - PH PROFILE



Includes pH decrease

pH variation	LN_4d	HN_4d	HN_4d stationary	HN_8d
Light/Dark	0.368	0.817	0.012	0.068
Feeding	0.03	0.021	0.043	0.062

• day/night pH variation decreased while variation due to feeding increased ⇒ *nitrification drives pH evolution*

13

13

MÉTROLOGIE ASSOCIÉE AU PROJET

- pHmètres
- Sondes O₂
- Mesure de l'intensité lumineuse : luxmètre
- Limitation : pas de distinction du PAR
- Effet de l'atténuation / concentration en biomasse



14

IMPACT DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE

- Développement d'un modèle biocinétique
- Description de l'atténuation / longueur d'onde / pigmentation
- Nécessité de mesurer les trajectoires des particules / exposition à la lumière
- Utilisation de modèles hydrodynamiques en mécanique des fluides numérique

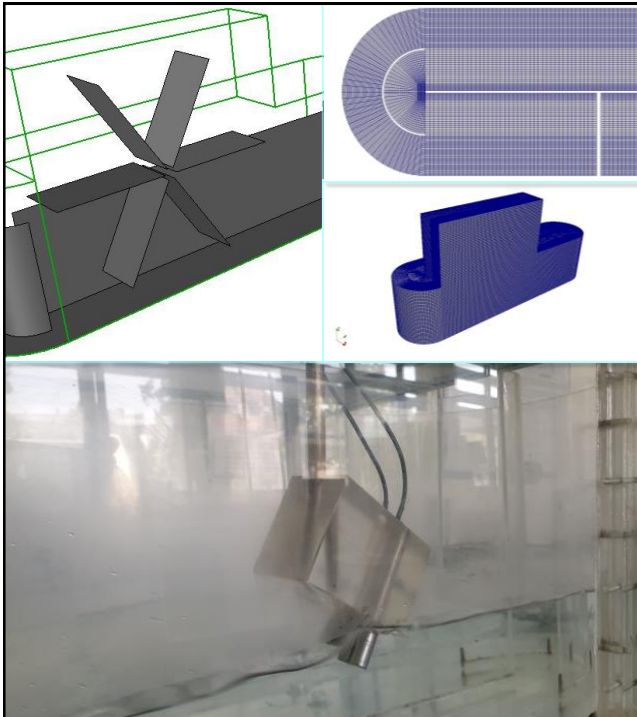
$$I(z) = I_0 * e^{-k_a X_{b,alg} z}$$

Name	Expression	Description
Monod type equation (Ambrose et al., 2006)	$\mu = \mu_{max} \frac{I}{K_I + I}$	μ = observed growth rate at light intensity I
Steele equation (Bouterfas et al., 2002)	$\mu = \frac{\mu_{max} * I}{K_I} \exp^{1-I/K_I}$	μ_{max} = estimated maximal growth rate
Platt and Jassby equation (Bouterfas et al., 2002)	$\mu = \mu_{max} * \text{Tanh}\left[\frac{\alpha(I - I_c)}{\mu_{max}}\right]$	K_I =optimal light intensity I = light intensity
Peeters and Eilers equation (Bouterfas et al., 2002)	$\mu_{(\tau,15/9)} = \frac{\mu_{max} * 2 * (1 + \beta) * \frac{I}{K_I}}{\left(\frac{I}{K_I}\right)^2 + 2 * \frac{I}{K_I} * \beta + 1}$	a =initial slope (growth efficiency) I_c =x axis intercept/compensation irradiance
Smith's function (Ambrose et al., 2006)	$\mu = \mu_{max} \frac{I}{\sqrt{K_I^2 + I^2}}$	Tanh =hyperbolic tangent function
Poisson single-hit model (Skjelbred et al., 2012)	$\mu = \mu_{max} \left(1 - \exp^{-\frac{I - K_0}{K_I - K_0}}\right)$	β =attenuation coefficient K_0 =compensation light level where growth becomes zero

15

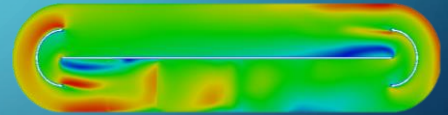
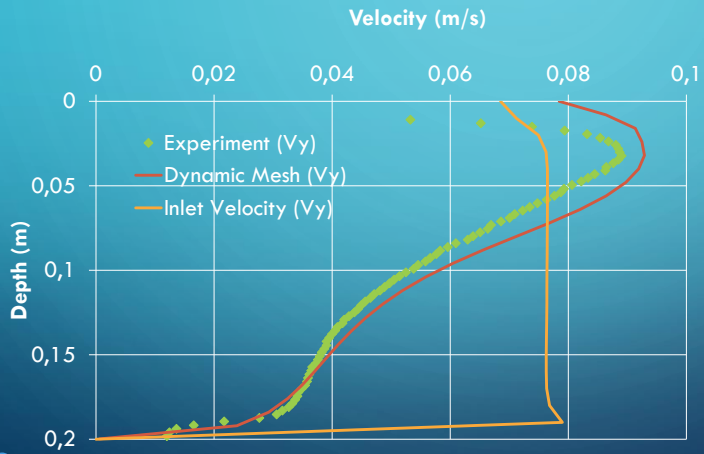
MODÉLISATION EN CFD

- Modèle VOF
- Sliding-Mesh
- Validation :
 - Champs de vitesse:
 - PIV (D. Funfschilling)
 - ADV (P. François)
 - Expériences de traçage



16

COMPARAISON DES CHAMPS DE VITESSE



17

STABILISATION DE L'URINE SÉPARÉE À LA SOURCE

BIOREACTEUR À
MEMBRANES
NITRIFICATION
CONTRÔLE DE
L'ACCLIMATATION

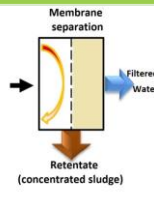
18

CHALLENGES

Nitrogen removal

- Biokinetics: ASM models+ modifications
- Infinite SRT: degradation of endogenous fractions
- High nitrogen content: 2 steps nitrification
- pH influence and prediction
- Bacteria inhibition

Biomass accumulation



- Fouling?
- EPS/SMP production?

Aeration / O₂ transfer

MLSS build-up

Viscosity

O₂ transfer

19

SOLUTION TECHNIQUE ET VERROUS

- Nitrification biologique dans un BAM



Haute teneur en azote

pH control

Alcalinité

pH optimal

Dynamiques des AOB et NOB

- Inhibition des NOB**
- Dû au NH₃
 - Concentration optimale HNO₂
 - Accumulation NO₂⁻ ?

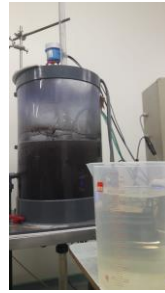
- Inhibition des AOB**
- Dû au HNO₂
 - Concentration optimale NH₃
 - Diminution de la nitrification

20

20

EXPERIENCE PILOTE

- Driven as a semi-continuous reactor (with a PLC)
- Online monitoring of pH, O₂ and conductivity (WTW probes connected to S500 Lacroix PLC)
- Pumping and stopping of pumps related to continuous pH measurement within the reactor.
- Continuous aeration via a membrane diffuser (single stirring means)

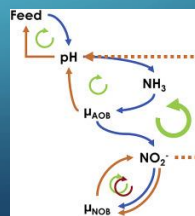
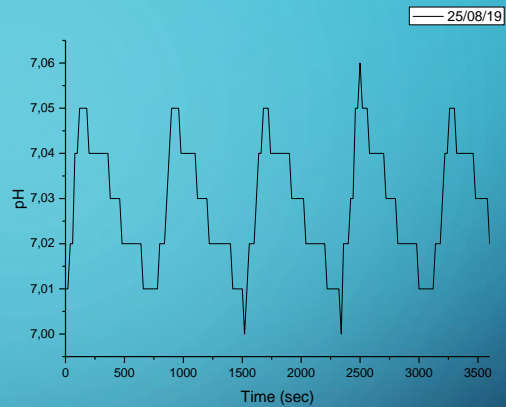


21

PILOTAGE DU SYSTÈME

- Contrôle du débit d'alimentation pour la phase d'acclimatation en fonction d'une fourchette du pH
 - Diminution du pH due à l'activité nitrifiante des AOB
 - Pendant le pompage, le pH augmente à cause de l'alcalinité de l'urine
- Taux de dilution d'urine (récoltée à la source) x5

Volume du BAMI	34 L
Porosité de la membrane	0.04µm
Surface membranaire	0.258m ²
TSH cible	30 h
Affluent	Urine séparée à la source
Age de boue	Infini
Contrôle du pH	Débit d'alimentation

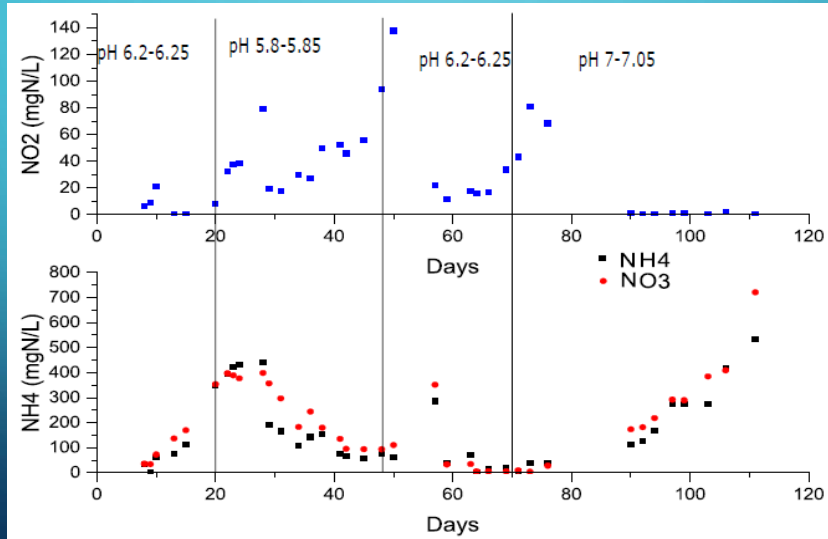


Source: Thürlimann et al., 2019

22

22

DEVENIR DES FORMES DE L'AZOTE



23

METROLOGIE ASSOCIÉE AU PROJET



pHmètre

Oxygène
dissous

Conductivité



PLC

Détection des pics de nitrites ? Mesures optiques, pH, OUR, soft-sensing ?

24



MERCI DE
VOTRE
ATTENTION !!!