

# Journée de discussions techniques du 15 novembre 2018 à Brest

## Amélioration des connaissances : le projet SHAMAN

Potential effects of an oil Spill on the French Guiana coastal ecosystem:  
Hydrocarbon dynAmics and their impacts on the MANgrove establishment

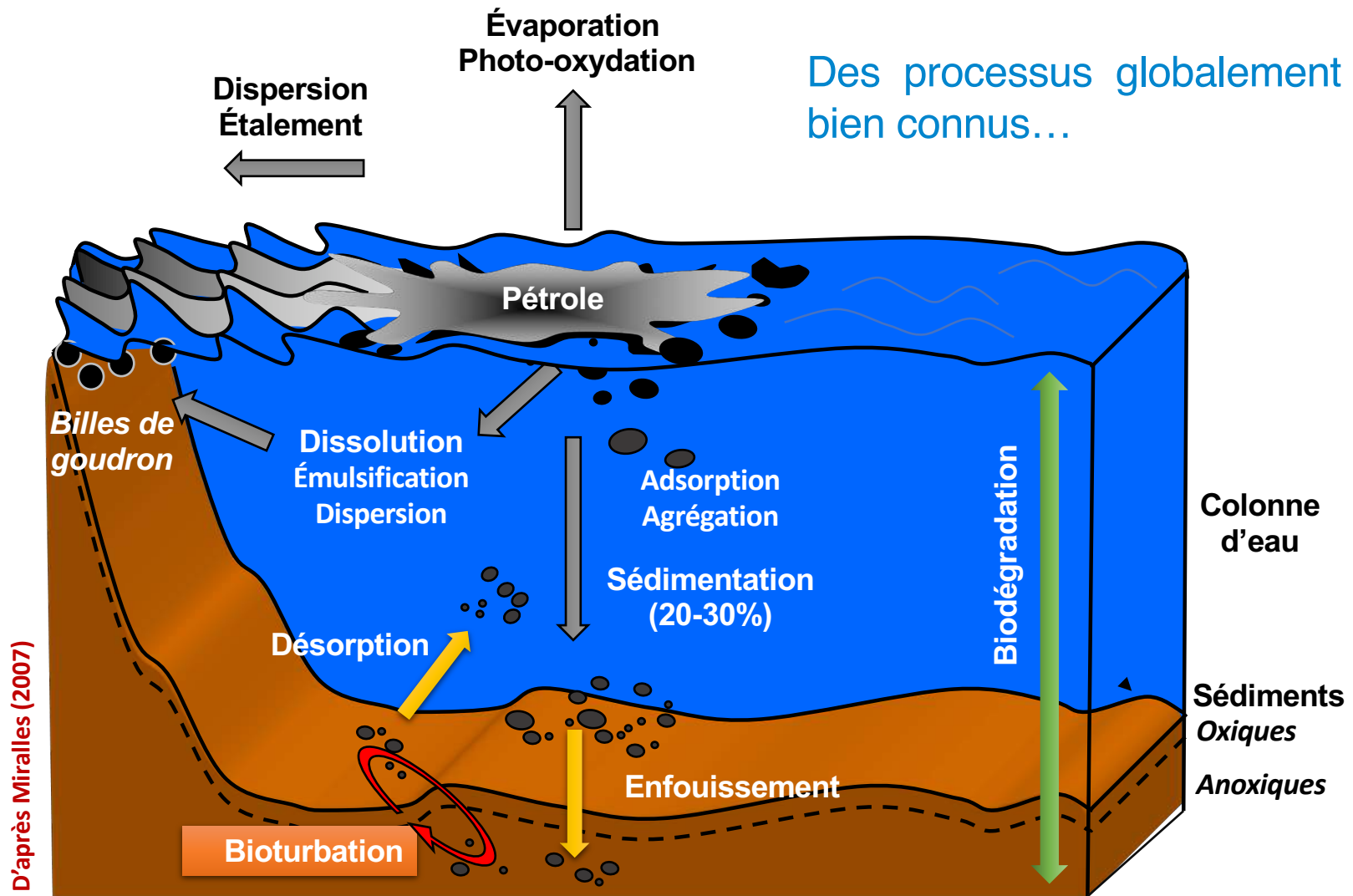
**Philippe Cuny** (MIO - Aix-Marseille Université )

Intérêt d'étudier la dynamique des hydrocarbures dans les systèmes côtiers sous influence de l'Amazonie ? Dans les mangroves ?  
Curiosité du scientifique ou réel besoin opérationnel ?



« **La résilience des milieux littoraux côtiers de type mangrove a été très largement étudié par la communauté scientifique. Les processus naturels, qu'ils soient physiques ou chimiques, poursuivront l'altération des hydrocarbures et continueront d'épurer le milieu.** Cependant la vitesse d'élimination varie significativement en fonction de différents facteurs. La persistance sera plus élevée dans les sites protégés des vagues et des courants. Des résidus qui demeurent pendant plus d'un an ou deux se retrouvent généralement uniquement dans les environnements abrités ou sur les sites dans lesquels ils ont été profondément enfouis. »

**Mémoire en réponse de Total E&P Guyane Française à l'Avis de l'Autorité environnementale du 30 mai 2018**



## Mangroves : dynamique et impact des pétroles

Plusieurs études aux résultats contrastés dont deux dispositifs expérimentaux *in situ* de grande envergure :

- **Australie 1996** (Port Curtis près de Gladstone – Queensland, **22 mois** de suivi) : « Fate and effects of oil and dispersants on mangroves in Australia: protection, clean-up and rehabilitation » - *Rhizophora stylosa*

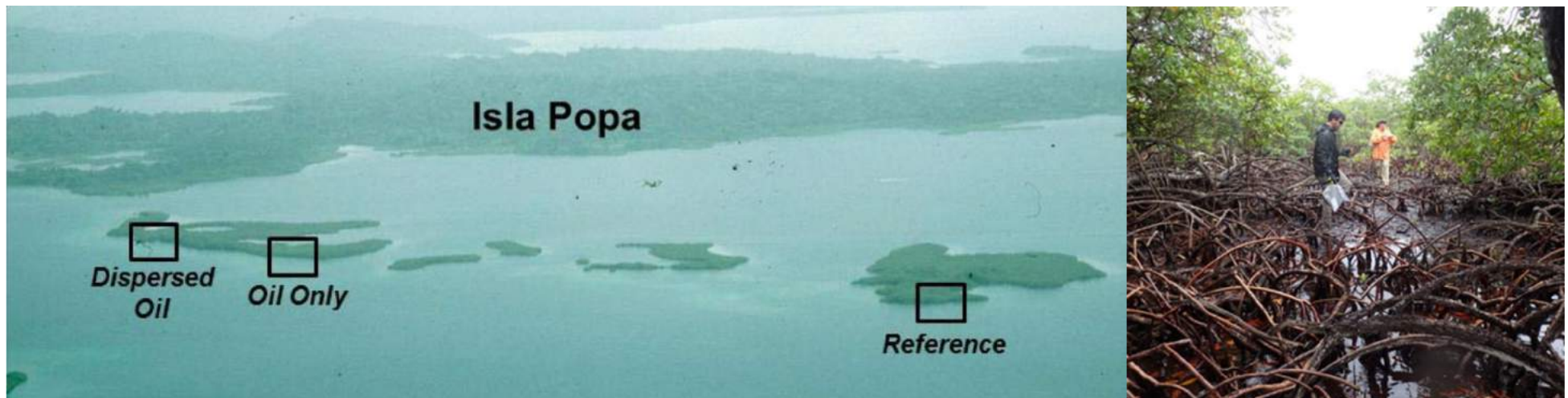


Experimental plots, ~35 m<sup>2</sup> in area each, were treated with oil and dispersed oil under conditions which simulated large oil spills by applying approximately 200 L of oil to each plot (around 5 L.m<sup>-2</sup>) while tidal waters rose (Duke et Burns, 1999)

## Mangroves : dynamique et impact des pétroles

Plusieurs études aux résultats contrastés dont deux dispositifs expérimentaux *in situ* de grande envergure :

- **Panama 1984** (Port Curtis près de Gladstone – **32 ans**) : « Tropical Oil Pollution Investigations in Coastal Systems (TROPICS) » - *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*

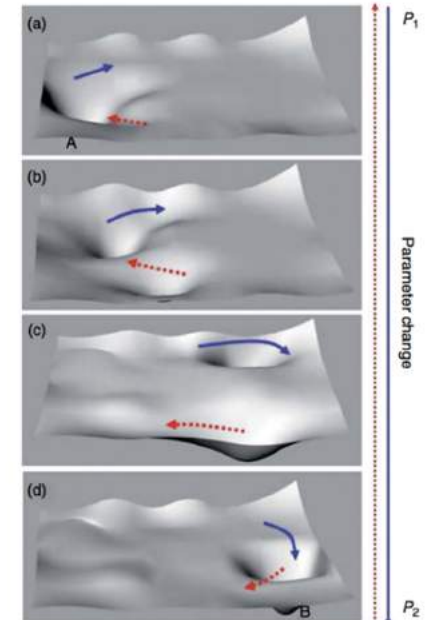
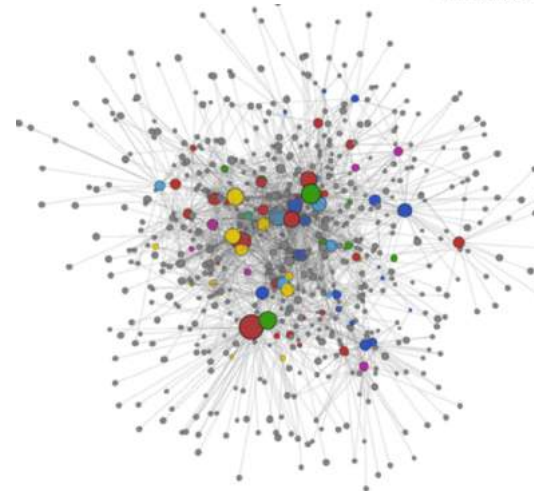
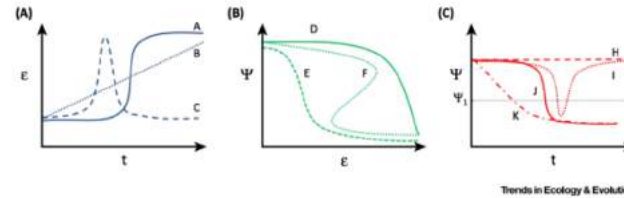


Experiment involved exposing two 30 m<sup>2</sup> tropical nearshore marine sites to crude oil and crude oil pre-mixed with Corexit 9527 dispersant (approximately 6 barrels per site over 24 and 48 hours) (Renegar *et al.*, 2017)

## Résilience ?

« Resilience is a **concept with numerous definitions** in ecological, social, and other sciences. In ecology, an initial focus on the stability of ecosystem processes and the **speed with which they return to an equilibrium state following disturbance** (recovery or ‘engineering resilience’) has gradually been replaced by a broader concept of ‘ecological resilience’ recognizing **multiple stable states and the ability for systems to resist regime shifts and maintain functions, potentially through internal reorganization** (i.e., their ‘adaptive capacity’) » (Oliver *et al.*, 2015)

## Mangroves : des systèmes complexes



Beisner *et al.* (2008)



**Connaissance acquise suffisante pour comprendre, modéliser, le devenir et les effets des pétroles dans les écosystèmes de mangrove ?**

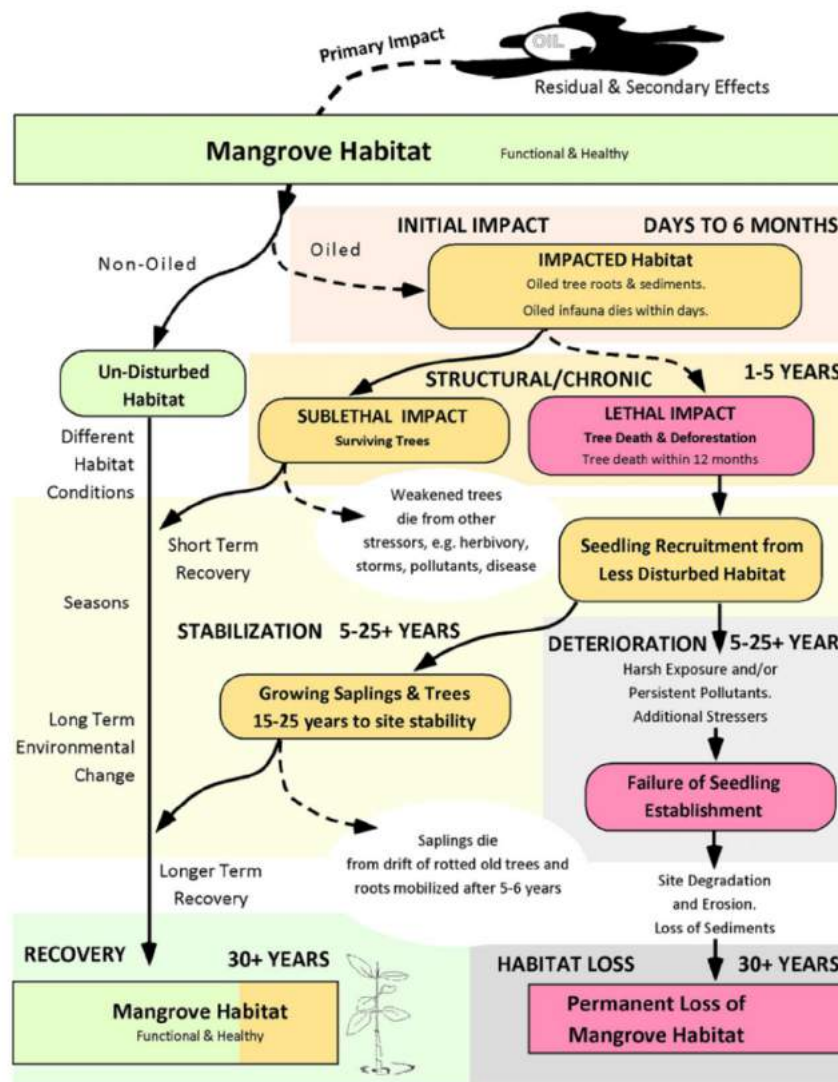
En réalité, pas une, mais des mangroves avec des faciès différents, des assemblages de palétuviers différents, des communautés et une dynamique des paramètres physico-chimiques spécifiques, une dynamique complexe d'interactions entre paramètres biotiques et abiotiques...



**Ce qui est vrai pour une mangrove ou un faciès de mangrove n'est pas forcément vrai pour une autre mangrove ou un autre faciès de cette même mangrove**



# Un système complexe à la « résilience » variable en cas de marée noire



Duke (2016)

## Mangroves : des systèmes impactés par les déversements de pétroles

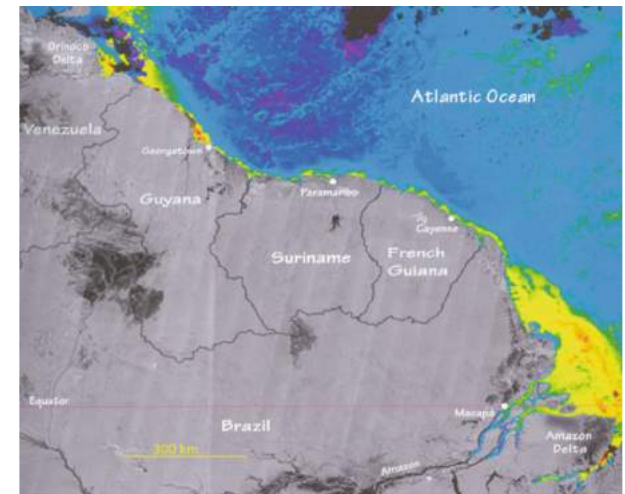
« ... Over this period [6 decades], there have been at least 238 notable oil spills along mangrove shorelines worldwide. In total, at least 5.5 million tonnes of oil has been released into mangrove-lined, coastal waters, oiling possibly up to around 1.94 million ha of mangrove habitat, and killing at least 126,000 ha of mangrove vegetation since 1958. **However, there were assessment limitations with incomplete and unavailable data, as well as unequal coverage across world region ... »**

**Duke (2016)** - Oil spill impacts on mangroves: Recommendations for operational planning and action based on a global review. *Marine Pollution Bulletin* 109 (2016) 700–715



En Guyane ?

La dynamique du pétrole n'a presque pas été étudiée ni en Guyane ni dans l'ensemble du système côtier sous influence amazonienne... Seule étude en Guyane : le projet « **Prisme** » PEPS (Projets Exploratoires Premier Soutien – CNRS/IRD) Mangrove 2015



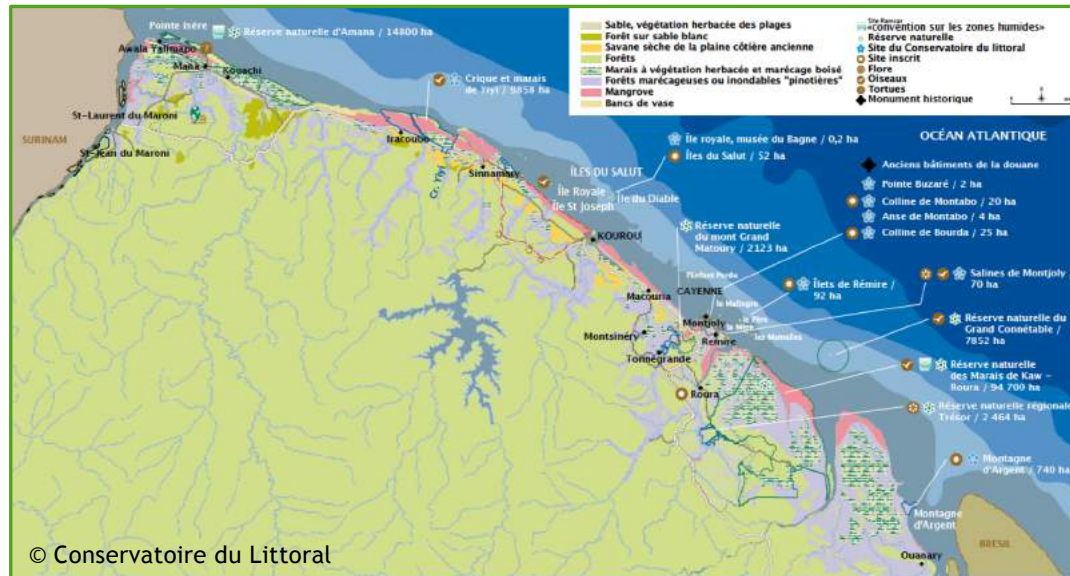
Toorman et al. (2018)



*PRISME « Devenir d'une contamination PétRollère dans les Sédiments de la Mangrove guyanaisE et son impact sur les communautés benthiques »*

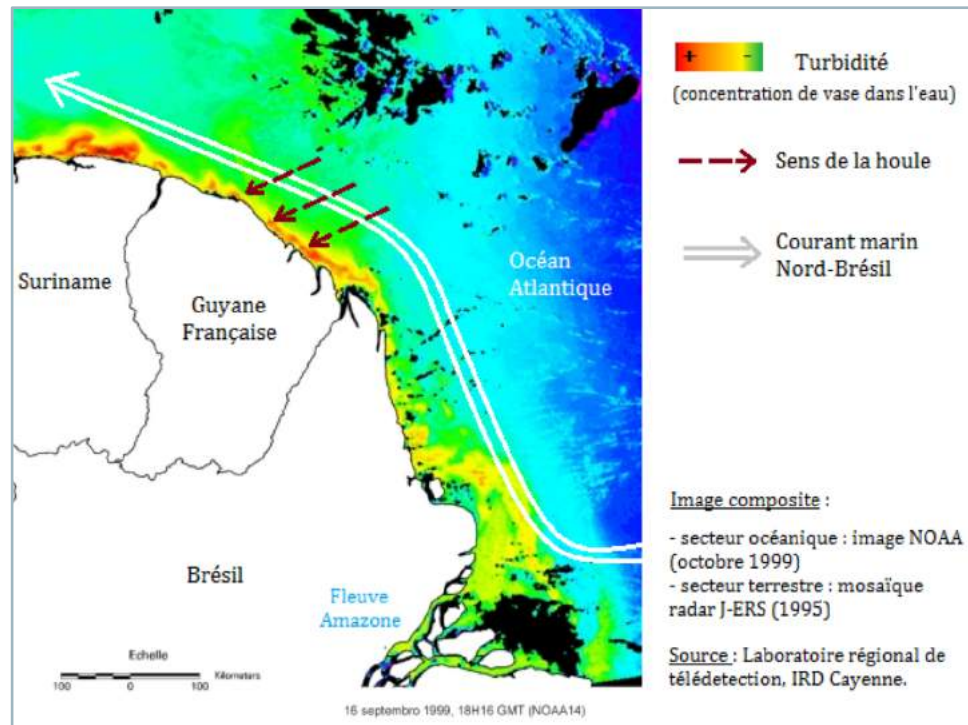


# La mangrove guyanaise en quelques chiffres

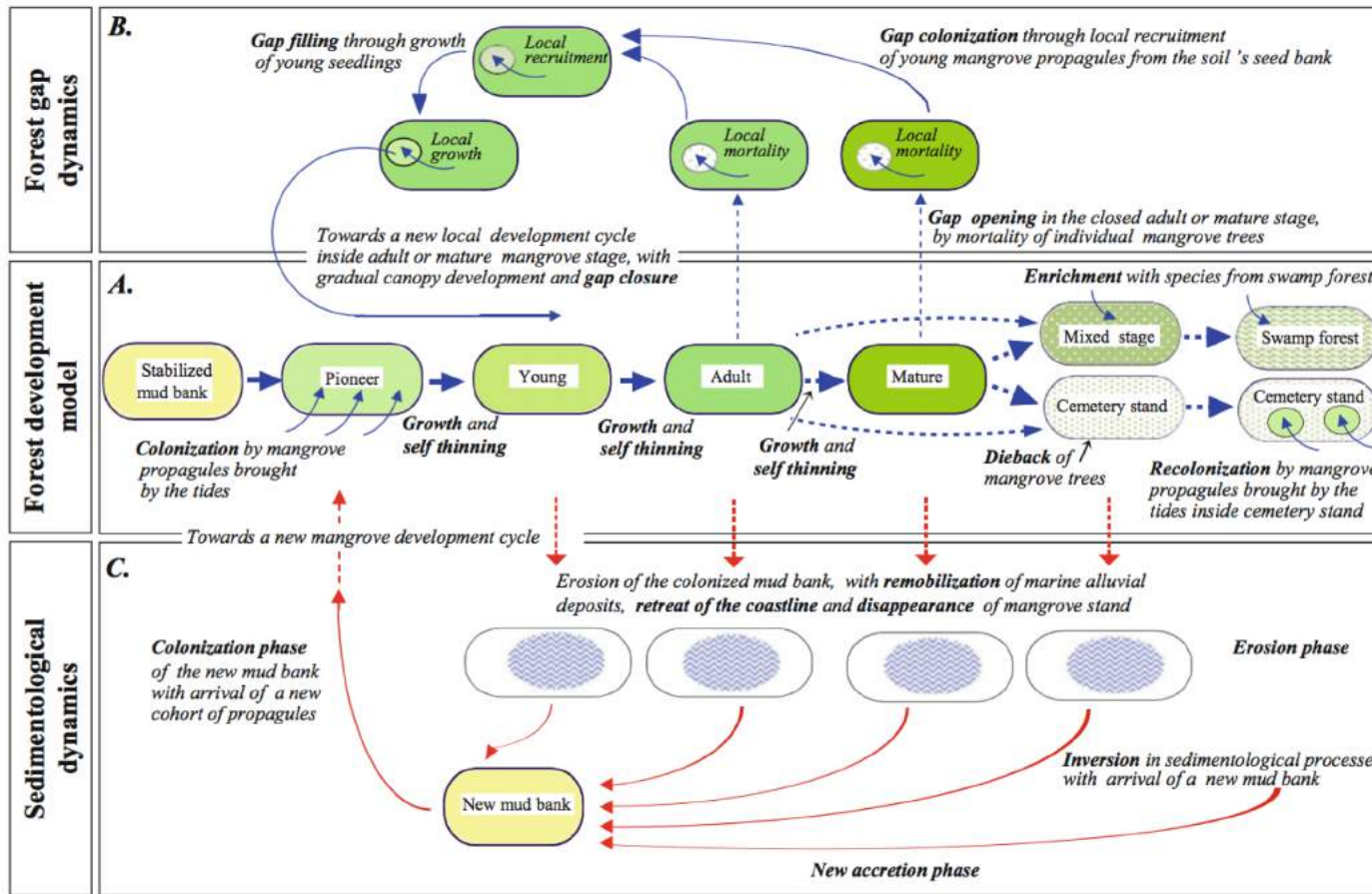


- Couvrent environ **800 Km<sup>2</sup>** soit **80 %** du littoral guyanais (Fromard *et al.*, 1998)
- Elles représentent **70 %** des mangroves françaises (**32<sup>ème</sup>** place dans le monde, **4<sup>ème</sup>** place en Amérique du Sud) (Fromard *et al.*, 2004)
- Principaux rôles écologiques :
  - Stabilisation temporaire du trait de côte en piégeant les sédiments issus de l'Amazonie
  - Zones d'alevinage pour les poissons et les crevettes juvéniles (pêche = 3<sup>ème</sup> richesse économique pour la Guyane)
  - Cycle du Carbone

# Spécificités du littoral guyanais



- **20 à 30 %** des sédiments issus de l'Amazone ( $754\ 106\ \text{tonnes}\cdot\text{a}^{-1}$ ) sont **transportés** vers le Nord-Ouest (Anthony *et al.*, 2010, 2014)
- **Bancs de vases mobiles** le long des côtes (vitesse de l'ordre de  $2\ \text{à}\ 3\ \text{km}\cdot\text{an}^{-1}$ ) (Gardel et Gratiot, 2005) 13
- **Alternance** de phases d'**accrétion** et d'**érosion** (Gardel *et al.*, 2011; Gensac, 2012)



Toorman et al. (2018)

Développement de la mangrove : une dynamique unique au niveau mondial (seul système naturel adapté à cet environnement instable)



Credit: S. Naipal



Credit: J. Schulz



Credit: K. Moseley, NAREI



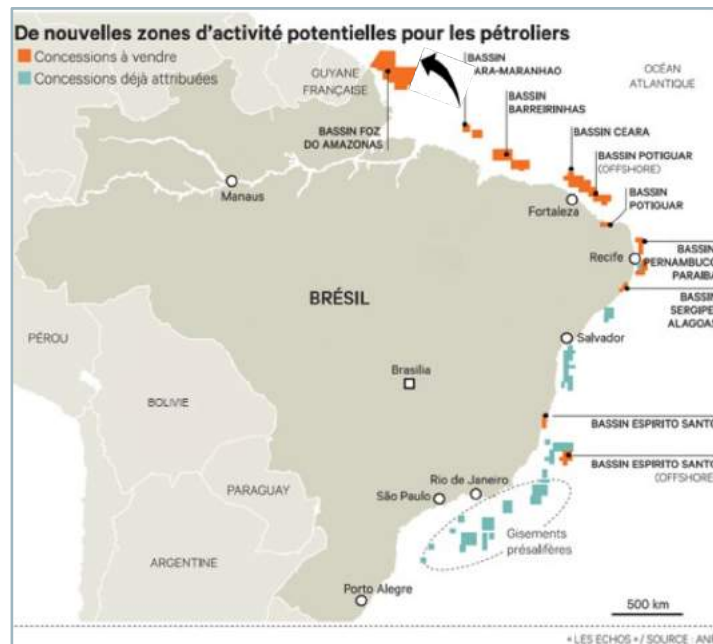
Credit: S. Naipal



Credit: E. Toorman

Toorman et al. (2018)

# Le pétrole brésilien : un risque majeur pour les mangroves guyanaises



- En cas de marée noire le pétrole voudrait dériver vers les côtes de la Guyane française et du Suriname (Pellegrini *et al.*, 2015)



## Échouage de sargasses provenant du large (et si c'était du pétrole ?)



## PRISME experiment objectives

- ▶ Effects of spilled oil on French Guiana (FG) coastal ecosystems remain largely unknown so far, but could have dramatic effects on this ecosystem, its functioning and its ecosystemic services
- ▶ Assess the fate and the effects of a simulated oil spill on the mangrove benthic communities

*in situ* oil contamination experiment in a young mangrove forest of *Avicennia germinans*



# Study site: Sinnamary estuary

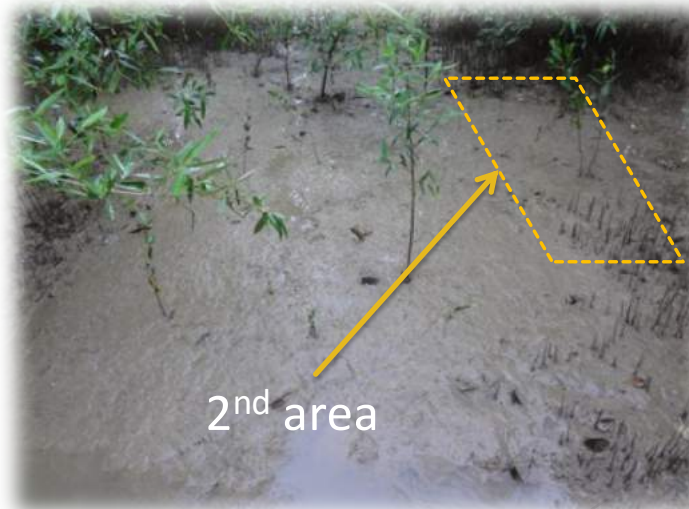


Sources : (i) @CNES (2015) and Astrium Services / PLEIADE Images (09/17/2015), tous droits réservés, usage commercial interdit (ii) GADM database ([www.gadm.org](http://www.gadm.org)) version 2.8, Novembre 2015. Traitement d'image : Enora Roic

Study site: Sinnamary estuary

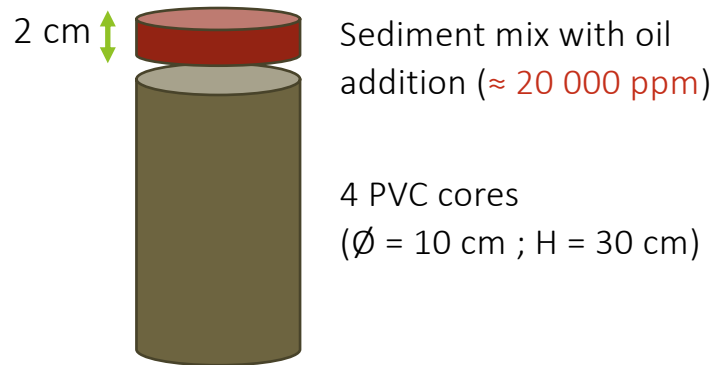


2 experimental zones selected in a sheltered area of a young mangrove forest of *Avicennia germinans*:  
1<sup>st</sup> area: addition of oil (HC+)  
2<sup>nd</sup> area: no oil (HC -)

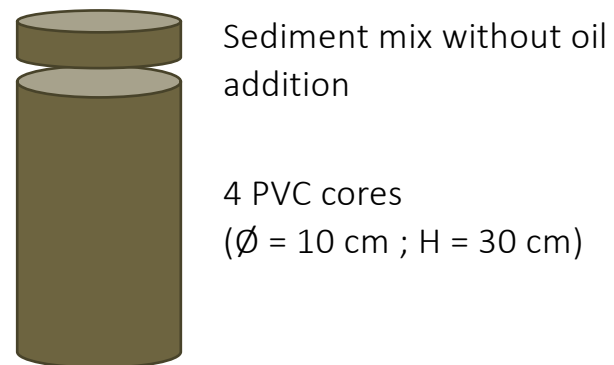


Experimental protocol: one month *in situ* incubation of contaminated or not sediments (Brazilian light crude oil topped at 250° C)

Contaminated treatment (HC+)



Control treatment (HC-)



1<sup>st</sup> zone : contaminated cores (HC+)

10 m  
↔



2<sup>nd</sup> zone : control cores (HC-)

# Sampling and analyses carried out

## PRISME project partners



Chemical analyses  
(GC/FID; GC/MS)



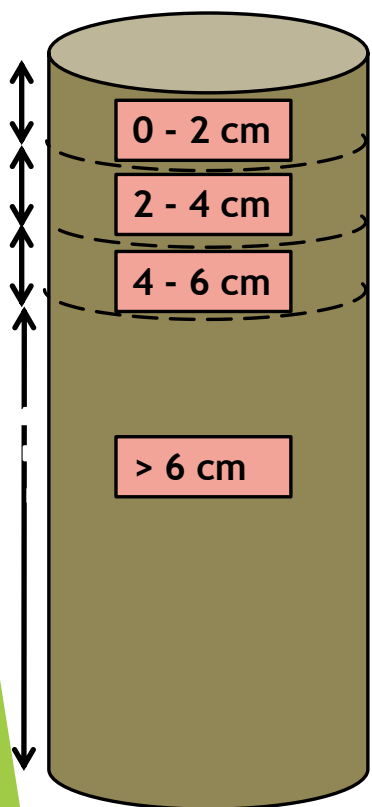
Sediment reworking  
(bioturbation)



Macrofauna analysis  
(Diversity - abundance)



Microbial analyses  
(DNA extraction, PCR, Q-PCR,  
Sequencing NGS, strain isolation)



Oil composition

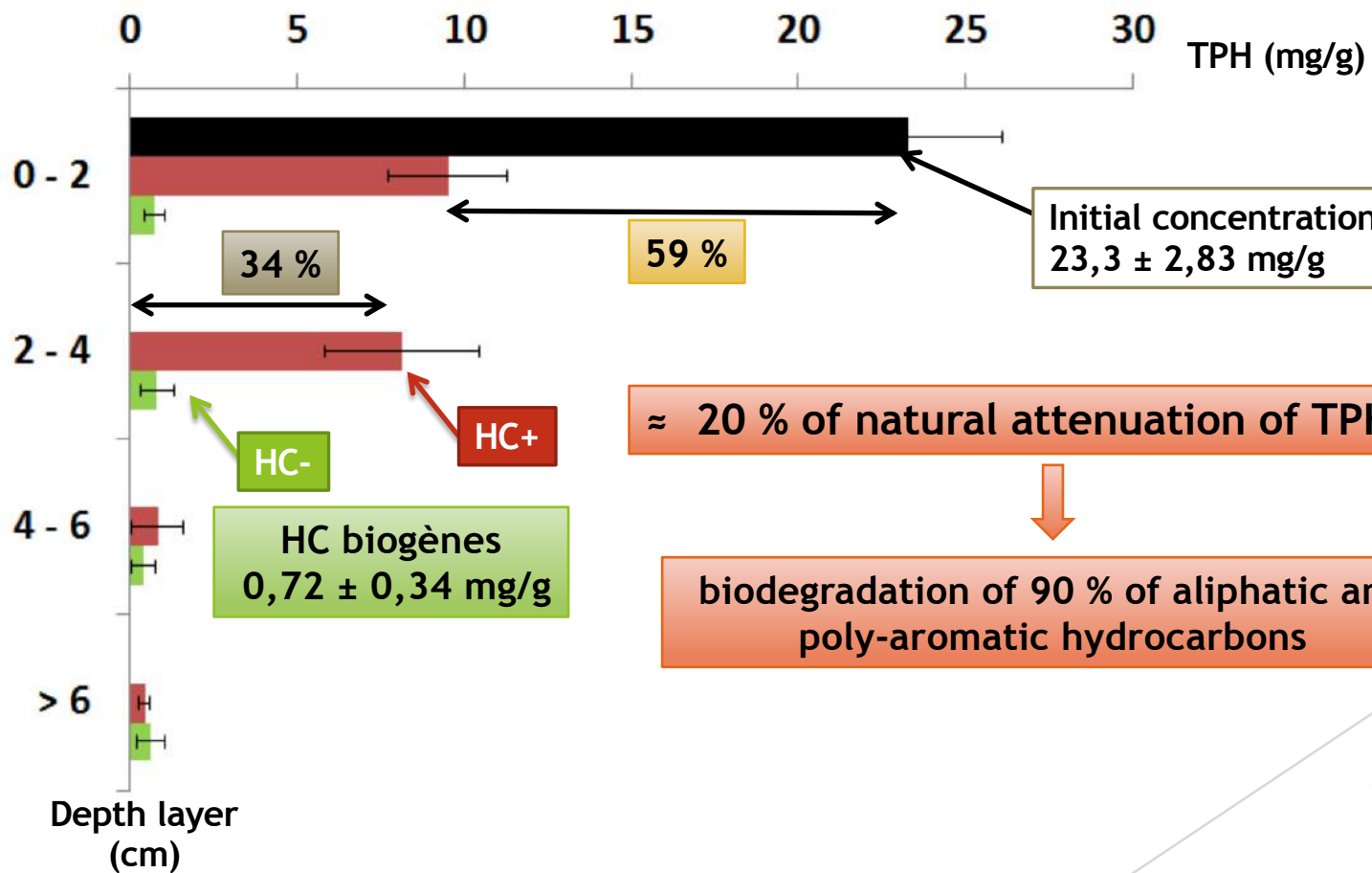
Macrofauna  
activity

macrobenthic  
community

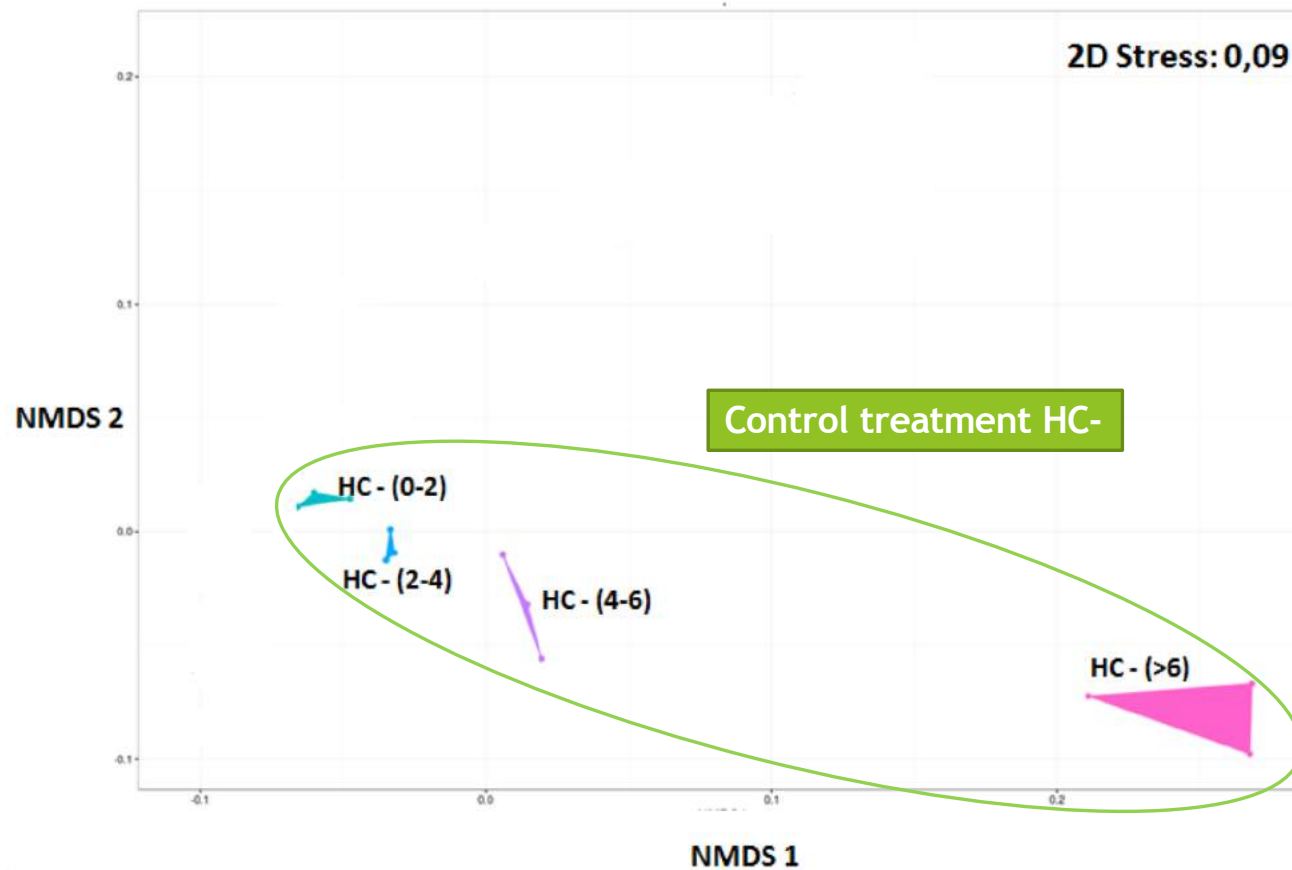
Bacterial and  
archeal  
community

# Fate of oil

Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) concentration



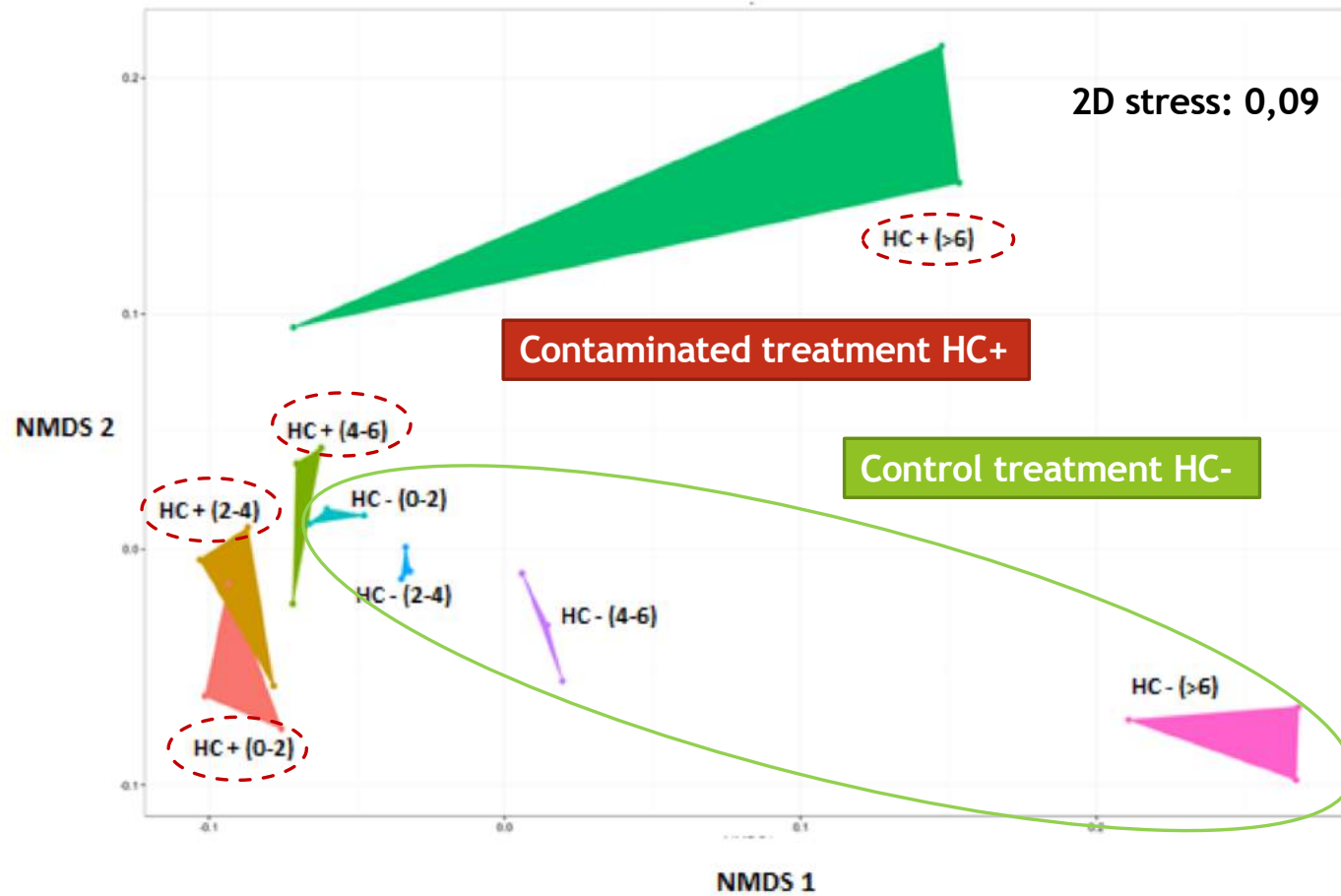
## Effects of oil on the microbial community structure (MiSeq sequencing data)



- ▶ Depth evolution of the structure of the microbial community related to the changes of the physicochemical properties of the sediment

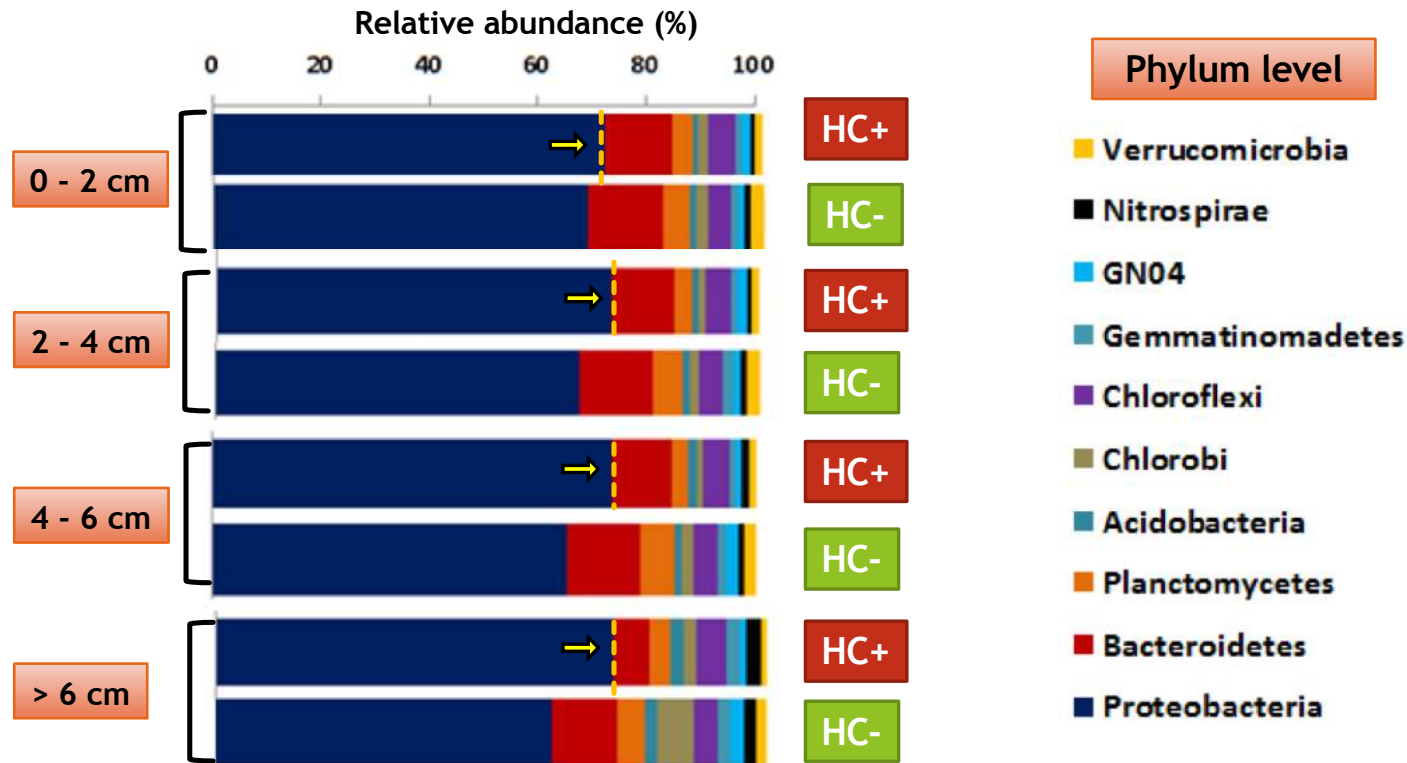


## Effects of oil on the microbial community structure (MiSeq sequencing data)



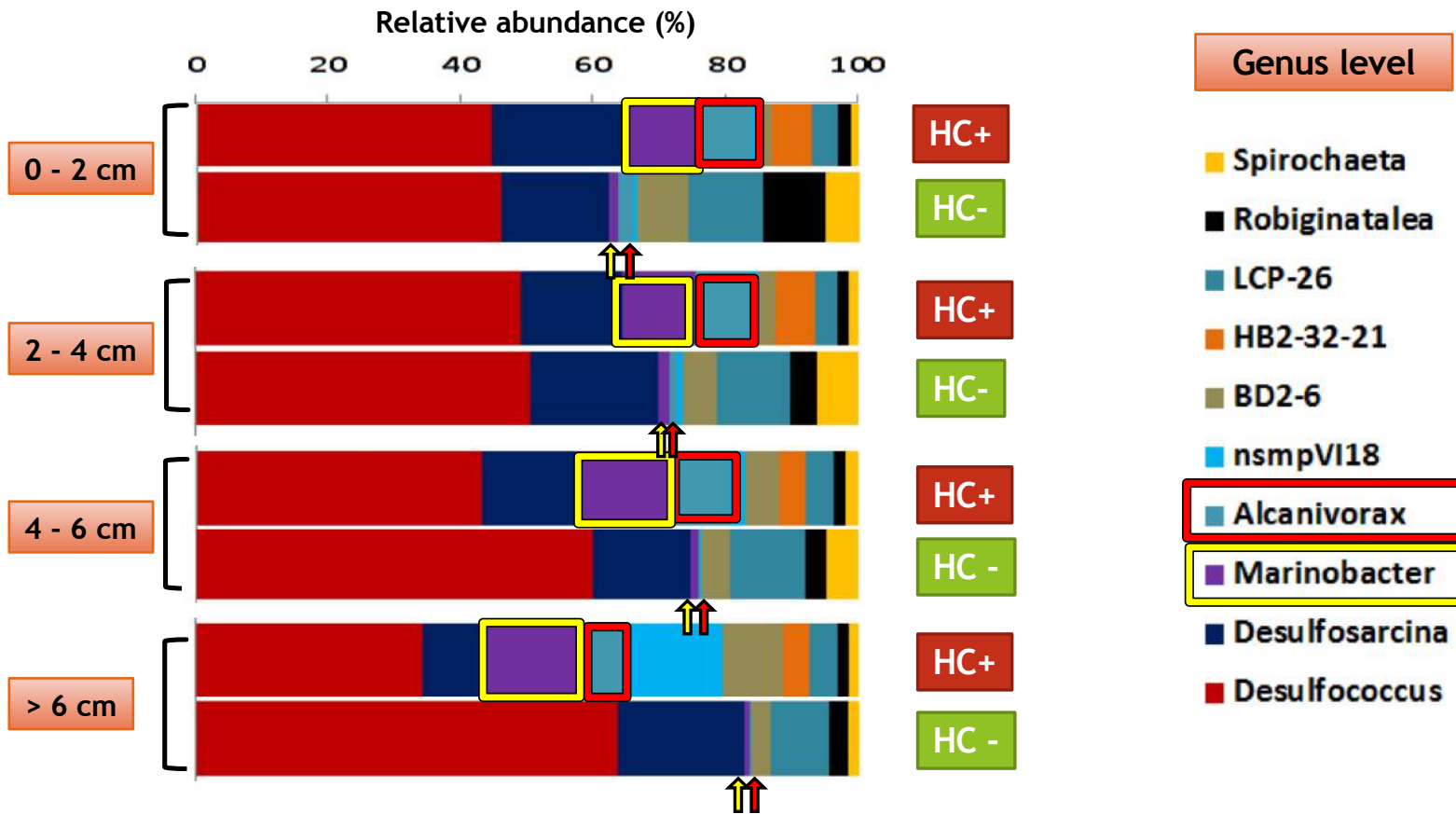
- ▶ Marked effects of oil contamination on the structure of the microbial community but without significant change of cell abundances (*Bacteria* and *Archeae*)

## Effects of oil on the microbial community structure (MiSeq sequencing data)



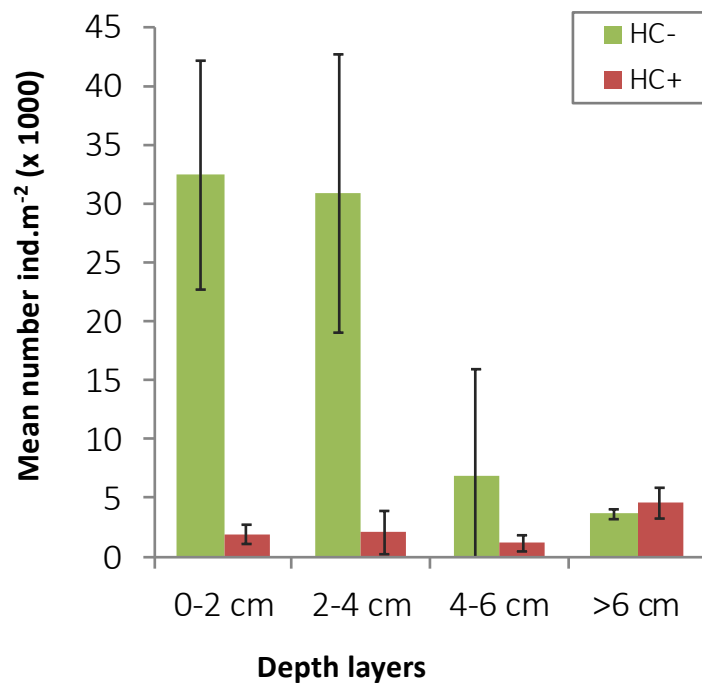
- ▶ Relative increase of the abundance of Proteobacteria, particularly those belonging to the orders of Oceanospirillales and Alteromonadales

## Impact sur la structure des communautés microbiennes



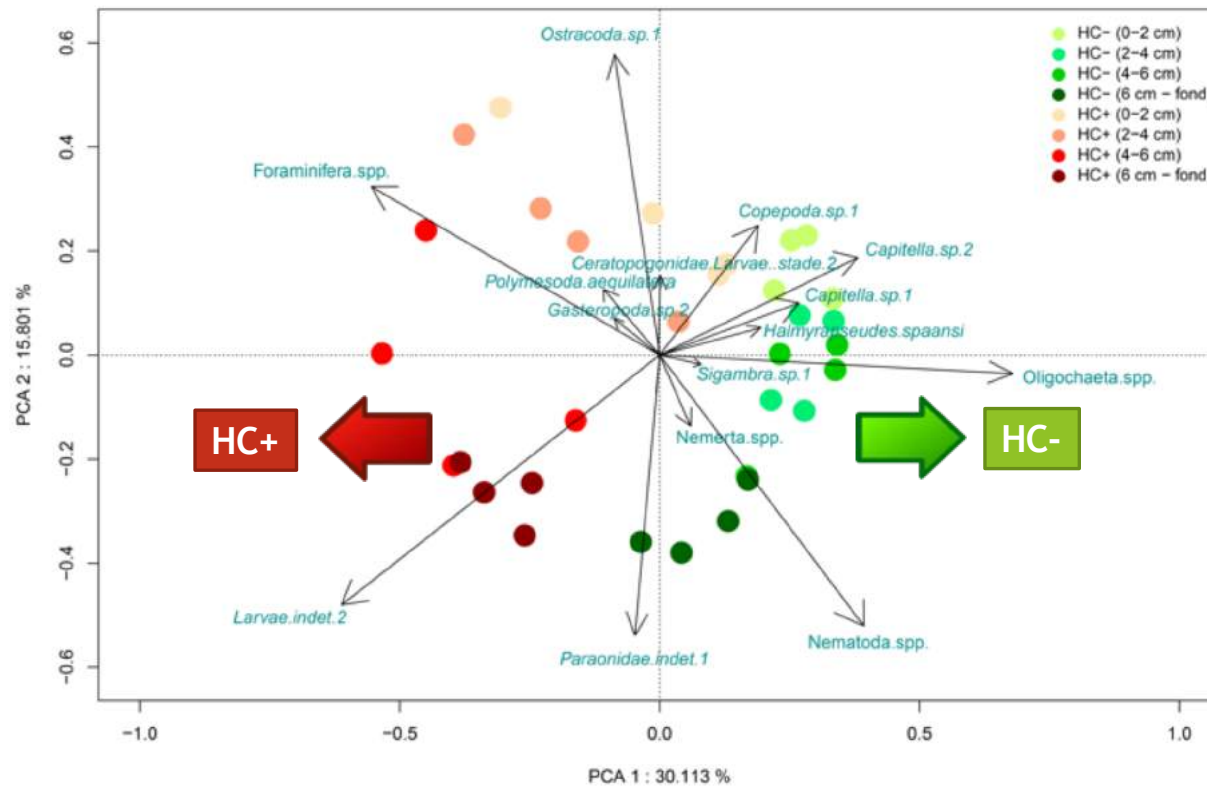
- ▶ Relative increase of the abundances of alkane-degrading bacteria belonging to *Alcanivorax* and *Marinobacter* genera in response to oil contamination (probably involved in the observed high biodegradation of the aliphatic fraction of added oil)

## Effects of oil addition on the density of meso- (> 250 $\mu\text{m}$ ) and macrobenthic communities (> 1 mm)



- ▶ 90 % decrease of the mean number of individuals per m<sup>2</sup> within the superficial layers (0-2 cm and 2-4 cm)
- ▶ Bigger animals (> 1 mm) particularly impacted

## Effects of oil addition on the structure of meso- (> 250 $\mu\text{m}$ ) and macrobenthic communities (> 1 mm)



- ▶ Marked effects of oil addition on the composition of the meso and macro-benthic communities
- ➔ Relative increase of insect larvae (from 6,29 % to 35,41 %) and strong decrease of annelids worms (from 39,11 % to 6,99 %)

## Conclusions : devenir et effets d'une contamination pétrolière sur les communautés benthiques d'une jeune mangrove

- ▶ Il existe un fort potentiel de bioremédiation (biodégradation de + de 90% des fractions aliphatique et poly-aromatique après 30 jours)
  - développement de groupes hydrocarbonoclastes
- ▶ La contamination par du pétrole induit une modification importante de la structure des communautés benthiques (micro-, méso- et macro-benthiques)
  - ... et une forte diminution de la densité des méso- et macro-organismes
  - Familles polluo-sensibles (Capitellidés, Oligochètes et Nématodes)
  - Familles polluo-tolérantes (Foraminifères et larves d'insectes)

→ Effets d'une contamination pétrolière au niveau fonctionnel ? Effets à plus long terme ? Capacité de résilience de la mangrove ?



**Projet SHAMAN (Potential effects of an oil Spill on the French Guiana coastal ecosystem: Hydrocarbon dynAmics and their impacts on the MANgrove establishment). Financement ?**

# Références



- ▶ Beisner B.E., Haydon D., Cuddington K.L. (2008) Hysteresis. *In: Sven Erik Jørgensen and Brian D. Fath (Editor-in-Chief), Ecological Models. Vol. [3] of Encyclopedia of Ecology, 5 vols. pp. [1930-1935] Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00187-7>*
- ▶ Duke N., Burns K. (1999). Fate and Effects of oil and dispersed oil on mangrove ecosystems in Australia. Report by the Mangrove Oil Spill Project, Australian Institute of Marine Science. 1-220.
- ▶ Duke N.C. (2016) Oil spill impacts on mangroves: Recommendations for operational planning and action based on a global review. *Marine Pollution Bulletin* 109: 700-715. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082>
- ▶ Oliver T.H., Heard M.S., Isaac N.J.B., Roy, D.B., Procter D., Eigenbrod F., *et al.* (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends Ecol. Evol.* 30, 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- ▶ Renegar D.A., Schuler P., Turner N., Dodge R., Riegl B., Knap A., Bera G., Jézéquel R., Benggio B. (2017) TROPICS FIELD STUDY (PANAMA), 32-YEAR SITE VISIT: OBSERVATIONS AND CONCLUSIONS FOR NEAR SHORE DISPERSANT USE NEBA AND TRADEOFFS. *International Oil Spill Conference Proceedings: May 2017, Vol. 2017, No. 1, pp. 3030-3050. <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2017.1.3030>*
- ▶ Toorman E.A., Anthony E., Augustinus P.G.E.F., Gardel A., Gratiot N., Homenauth O., Huybrechts N., Monbaliu J., Moseley K., Naipal S. (2018) Interaction of Mangroves, Coastal Hydrodynamics, and Morphodynamics Along the Coastal Fringes of the Guianas. *In: Makowski C., Finkl C. (eds) Threats to Mangrove Forests. Coastal Research Library, vol 25. Springer, Cham <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73016-5>*



E. Roïc



L. Millera-Ferriz



L. Sylvi



R. Jézéquel



J. Gardel



C. Milton



E. Michaud



F. Gilbert



M. Tedetti

# Remerciements



Sinnamary estuary, French Guiana - November 2015





Questions ?



Cedre Journée de discussions techniques  
15 novembre 2018 - Brest

