

# TRANSFERTS DE L'IODE AUX INTERFACES DE L'ATMOSPHÈRE

P. Laguionie<sup>(1)</sup>, D. Maro<sup>(2)</sup>, O.T. Bah<sup>(1)</sup>, O. Connan<sup>(1)</sup>, D. Hébert<sup>(1)</sup>,  
O. Masson<sup>(3)</sup>, L. Solier<sup>(1)</sup> et D. Quélo<sup>(1)</sup>

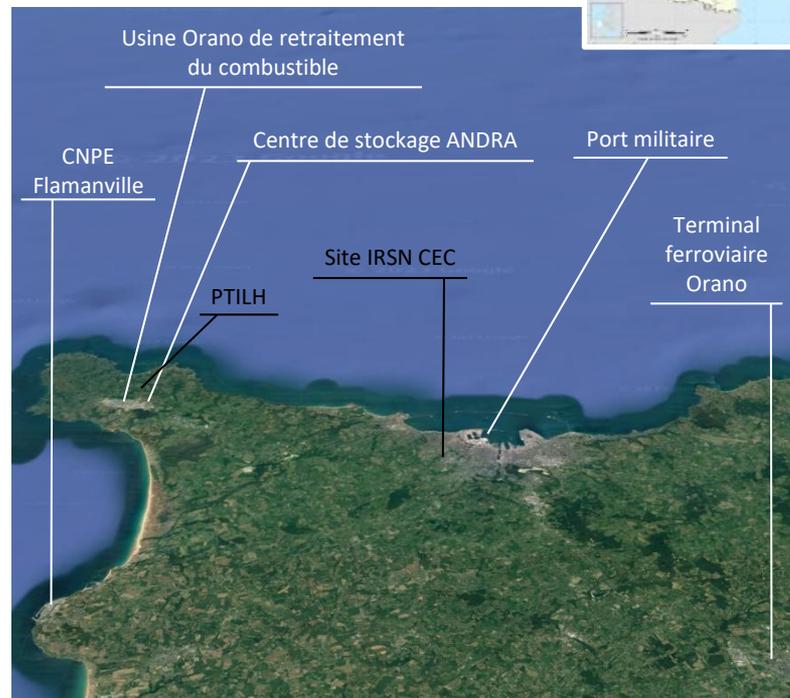
\* Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

<sup>(1)</sup>PSE-ENV/STAAR/LERTA, <sup>(2)</sup>PSE-ENV, <sup>(3)</sup>PSE-ENV/SERPEN/LEREN

*Philippe.laguionie@irsn.fr*

## L'histoire de l'IRSN et de PSE-ENV/STAAR/LERTA dans la péninsule nucléarisée du Cotentin

- 1963 : création du LRM (Laboratoire de Radioécologie Marine, CEA) sur le site d'Orano La Hague (ex COGEMA)
- 1994 : relocalisation du laboratoire sur le site universitaire de Cherbourg-en-Cotentin
- 1996 : introduction de la thématique atmosphérique
- 2002 : création de l'IRSN et du LRC (Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville)
- 1<sup>er</sup> juillet 2023 : création du LERTA dédié à la thématique atmosphérique



# Une plateforme technique située dans la Hague (PTILH)

- **Superficie** de 1 500 m<sup>2</sup>
- **Localisation** à 2 km au nord de l'usine Orano de La Hague (30 min du site IRSN CEC)
- Dynamique atmosphérique spécifique : topographie complexe + présence de la mer
- **Proximité de points de rejets** atmosphériques et marins contrôlés (flux par rejet quantifiés)
- Caractéristiques des rejets atmosphériques : fortement dynamiques, tout au long de l'année, associés au <sup>85</sup>Kr
- **Modularité** du site en fonction des besoins
- **Plateforme ouverte** : projets, tests de matériels



# De quoi parle-t-on ?

## L'iode dans l'atmosphère

- Formes
  - » Gazeuses : composés organiques et inorganiques
  - » Particulaires
  - » Exemple de l'accident grave, formes principales :  $I_2$  inorganique,  $CH_3I$  organique et  $CsI$  particulaire
- Evolutions (concentrations, ratio gaz/particules), fonction de demi-vie, présence d'ozone, photolyse, etc.

## Les transferts de l'iode aux interfaces de l'atmosphère

### De nombreux facteurs d'influence

- Iode : solubilité (formes gazeuses), taille (formes particulaires), etc.
- Atmosphère : turbulences, présence de météores, etc.
- Interface : résistance de canopé, rugosité, réactions physico-chimiques dans l'eau, etc.



interfaces aquatiques



interfaces minérales



interfaces organiques

# Les processus en jeu

Principales voies de transfert des formes gazeuses et particulaires aux interfaces  $F$  ( $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

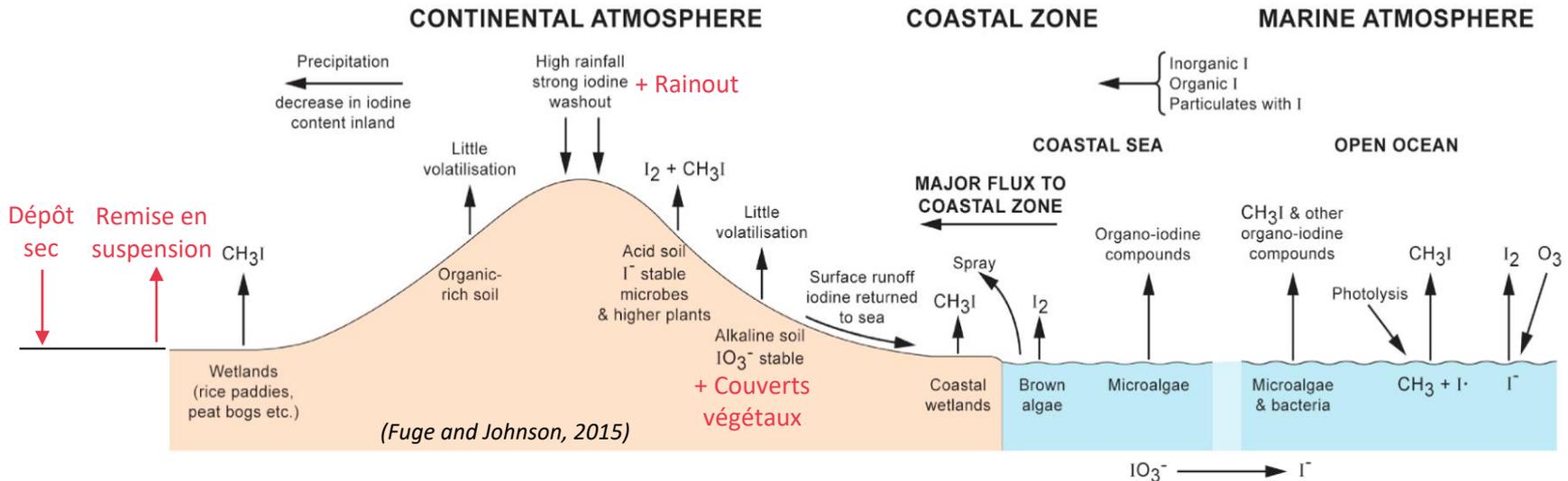
- Dépôts par temps sec
- Dépôts par les hydrométéores
- (Ré)émissions depuis les interfaces continentales
- (Ré)émissions depuis l'interface marine

$$V = F/C \text{ (m s}^{-1}\text{)}$$

$$\Lambda \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$V \text{ (m s}^{-1}\text{)}, K_s \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$V \text{ (m s}^{-1}\text{)}$$



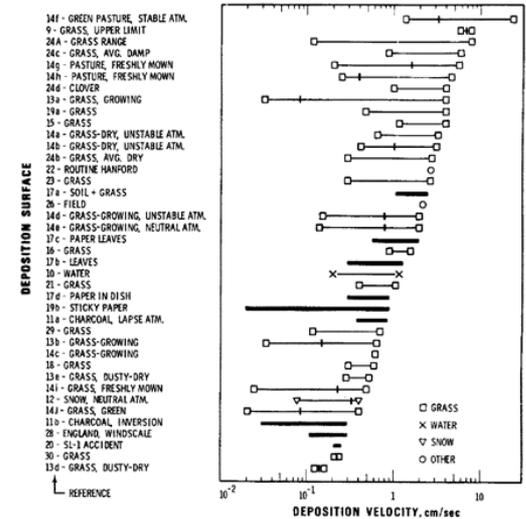
# Les dépôts par temps sec

## Formes gazeuses inorganiques ( $I_2$ )

- Peu de données documentées en fonction des paramètres météorologiques et les propriétés de surface
- Amplitude des  $V_d$  jusqu'à 3 ordres de grandeur :  $V_d \in [0,02-26] \text{ cm s}^{-1}$
- Données documentées pour l'herbe (Bah, 2021)  $V_d = 0,84 [0,01-2,50] \text{ cm s}^{-1}$
- Hypothèse : dépôt sec par dissolution dans un film d'eau sur les surfaces, en fonction du couple (pH ; Eh) (diagramme de Van Muylder and Pourbaix, 1966)
- Quid des autres interfaces : eau, forêt, cultures, urbain etc. ?

## Formes gazeuses organiques ( $CH_3I$ )

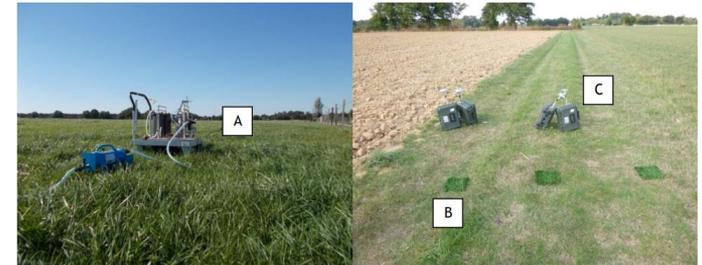
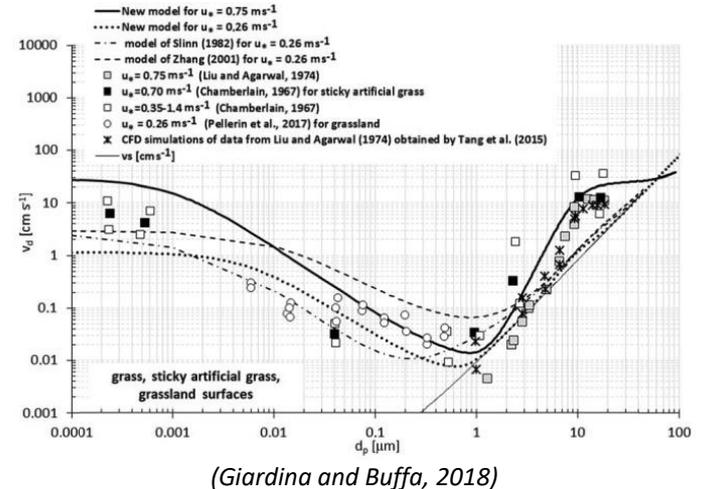
- Données très rares
- Faible dissolution dans l'eau (absence de diagramme)
- $V_d$  iode gazeux organique  $\ll V_d$  iode gazeux inorganique :  $V_d \in [1 \cdot 10^{-4}-5 \cdot 10^{-2}] \text{ cm s}^{-1}$  (Tombette, 2010)



# Les dépôts par temps sec

## Formes particulières

- Non spécifique à l'iode
- Iode potentiellement présent sur toutes les tailles de particules (du nano au micro)
- Amplitude des  $V_d$  jusqu'à 2 ordres de grandeur pour une taille de particule donnée
- Dépendance de  $V_d$  au couvert (rugosité) et aux conditions de stabilité atmosphérique
- Données documentées pour l'herbe ( $\phi > 10$  nm) en condition neutre de stabilité atmosphérique (Damay, 2010 ; Pellerin, 2017)
- Quid des nanoparticules, des autres interfaces (eau, forêt, cultures, urbain, etc.) et conditions atmosphériques (instable) ?

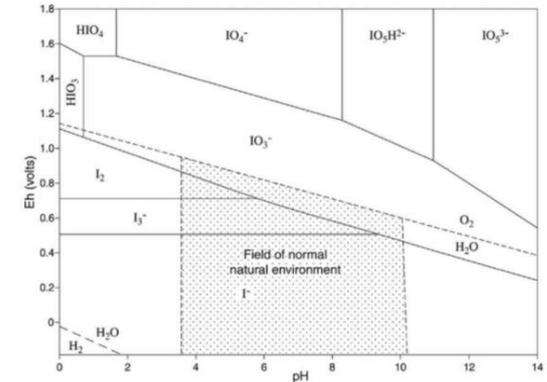


A : générateur de fluorescéine ; B : éprouvettes d'herbes synthétique ; C : prélèvements sur filtre

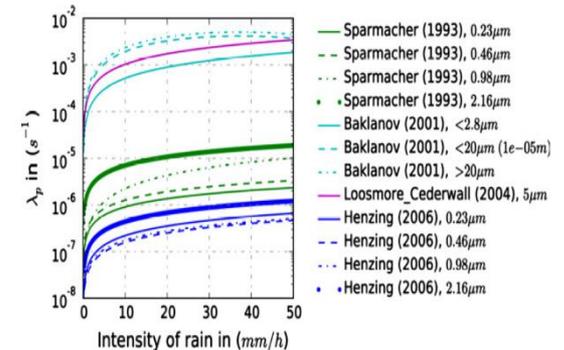
(Pellerin, 2018)

# Les dépôts par les hydrométéores (pluie, neige, etc.)

- Formes gazeuses inorganiques ( $I_2$ )
  - Dissolution de  $I_2$  dans les gouttes d'eau en fonction du couple (pH ; Eh) des gouttes de pluie (*Van Muylder and Pourbaix, 1966*)
  - Peu de données
- Formes gazeuses organiques ( $CH_3I$ )
  - Faible dissolution dans l'eau (absence de diagramme)
  - Absence de données
- Formes particulières
  - Non spécifique à l'iode
  - Washout (pluie) : amplitude des  $\Lambda$  jusqu'à 3 ordres de grandeur
  - Peu de données sur le rainout, la neige et le brouillard
  - Dégazage possible en fonction des réactions chimiques dans la goutte de pluie, fonction du couple (pH ; Eh)



(*Van Muylder and Pourbaix, 1966*)



(*Duhanyan and Roustan, 2011*)

# Les (ré)émissions depuis les interfaces continentales

## Formes gazeuses inorganiques ( $I_2$ )

- Depuis les sols acides (volatilisation)
- Depuis les végétaux (volatilisation)
  - » Demi-vie d'élimination environnementale à la PTILH printemps-été (7,7 jours) < automne-hiver (8,5 jours)
  - » Influence probable de la température (*Bah, 2021*)

## Formes gazeuses organiques ( $CH_3I$ )

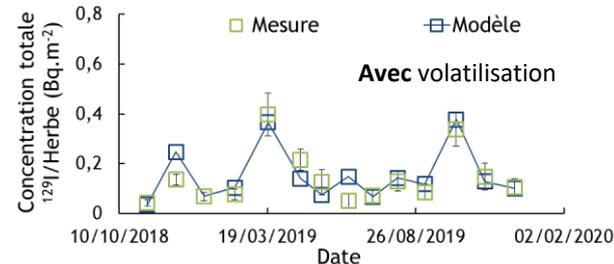
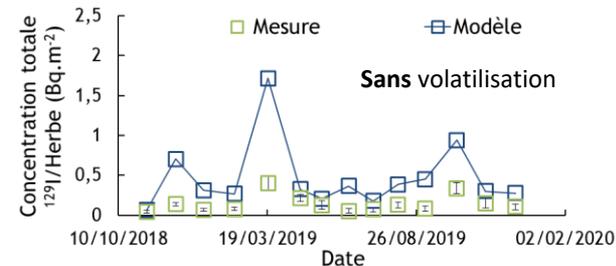
- Depuis les sols acides et les zones humides (dégradation MO)
- Processus chimiques et microbiologiques, fonction de pH, Eh, humidité, teneur en matières organiques, etc.

## Formes particulières

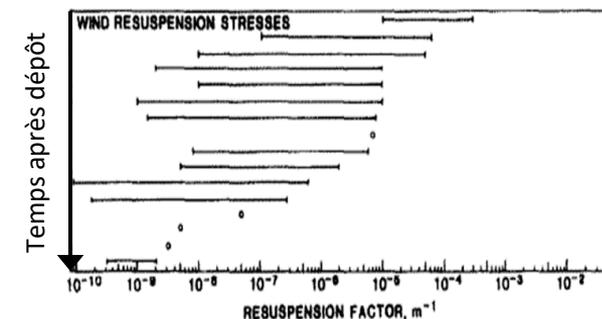
- Non spécifique à l'iode
- Amplitude des  $K_s$  : jusqu'à 3 ordres de grandeur
- Quid de la remise en suspension via les bioaérosols ?

## Transferts eau douce-atmosphère

- Très peu d'études



(*Bah, 2021*)



(*Nicholson, 1988*)

# Les (ré)émissions depuis l'interface marine

## Caractéristiques de l'interface air-mer

- Constituée d'un film de lipides et d'acides gras d'une grande stabilité physique
- Enrichie en éléments chimiques (sauf e.g. sodium), en iode et en radionucléides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ , etc.)

## Des réactions d'oxydation et de photolyse à l'origine de composés iodés dans l'atmosphère

## Des actions mécaniques de production d'aérosols marins

- Non spécifique à l'iode



Production d'écume



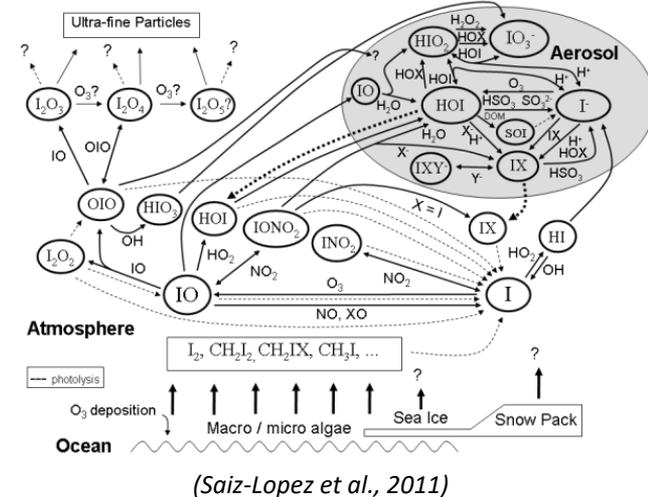
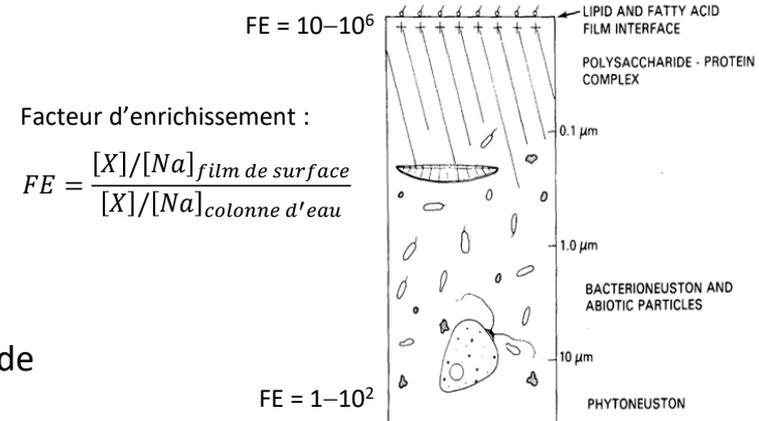
Micro-gouttelettes par impact des gouttes de pluie



Arrachement de gouttes d'eau à la crête des vagues



Bullage par déferlement des vagues





## Conclusions et perspectives – Etat des connaissances

| Processus   | Formes d'iode         | ✓                                     | ~  | X  |
|---|-----------------------|---------------------------------------|--|--|
| Dépôts par temps sec                              | Formes gazeuses       | Inorganique I <sub>2</sub><br>Herbe   |  | Organique<br>Eau, forêt, cultures, urbain<br>Conditions atmosphériques |
|   | Formes particulaires* | > 10 nm<br>Herbe<br>Atmosphère neutre |  | < 10 nm<br>Forêt, eau, cultures, urbain<br>Atmosphère instable         |
| Dépôts par les hydrométéores                      | Formes gazeuses       |                                       | Inorganique I <sub>2</sub><br>Pluie (washout)            | Organique<br>Brouillard, neige, pluie (rainout)                        |
|   | Formes particulaires* | Pluie (washout)                       | Brouillard   | Neige, pluie (rainout)   |
| (Ré)émissions depuis les interfaces continentales | Formes gazeuses       |                                       | Inorganique I <sub>2</sub><br>Herbe<br>Volatilisation    | Organique<br>Eau, forêt, cultures, urbain                              |
|   | Formes particulaires* |                                       | Bioaérosols  | Facteurs de remise en suspension<br>Micro-gouttelettes                 |
| (Ré)émissions depuis l'interface marine           | Formes gazeuses       |                                       | Océan ouvert   | Zone côtière<br>Facteurs d'enrichissement à l'interface                |
|   | Formes particulaires* |                                       | Océan ouvert<br>Zone côtière<br>TORIMA (Mer → continent) |  |

\*formes particulaires = non spécifiques à l'iode