



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE : QUELLE FAISABILITÉ POUR L'OXYDATION PAR PLASMA EN DÉPOLLUTION DES SOLS ?



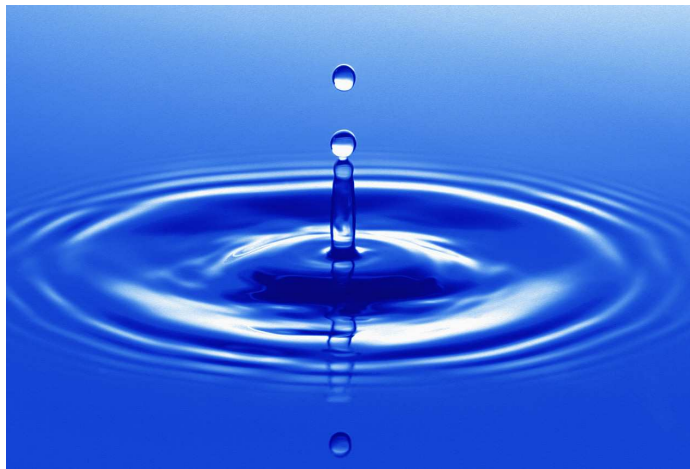
SOMMAIRE – DEPOLLUTION PLASMA

- Le plasma définition et usage
- Principe et Méthodologie de l'étude
- Essais et résultats
- Conclusions et perspectives

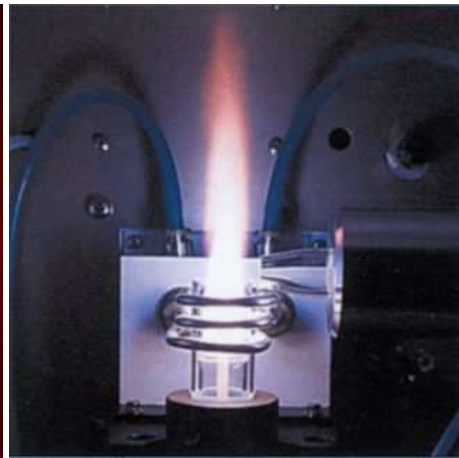
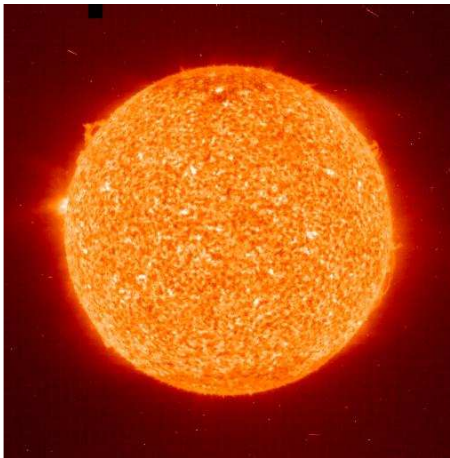


DEFINITION ET USAGES DU PLASMA

- La matière existe sous formes :
 - Solide
 - Liquide
 - Gazeuse
 - ... et plasma



- Un plasma est un « gaz d'ions », obtenu par
 - Une très haute température
 - Ou une excitation électrique, type HF





DEFINITION ET USAGES DU PLASMA



↑ Décharge de type rideau (vue de face)





SOMMAIRE – DEPOLLUTION PLASMA

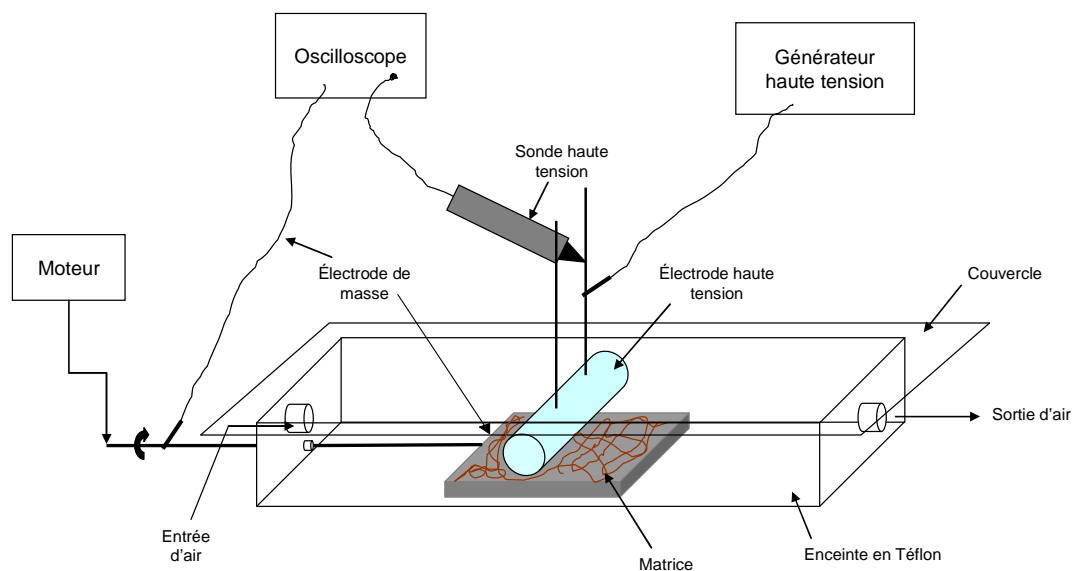
- Le plasma définition et usage
- Principe et Méthodologie de l'étude
- Essais et résultats
- Conclusions et perspectives



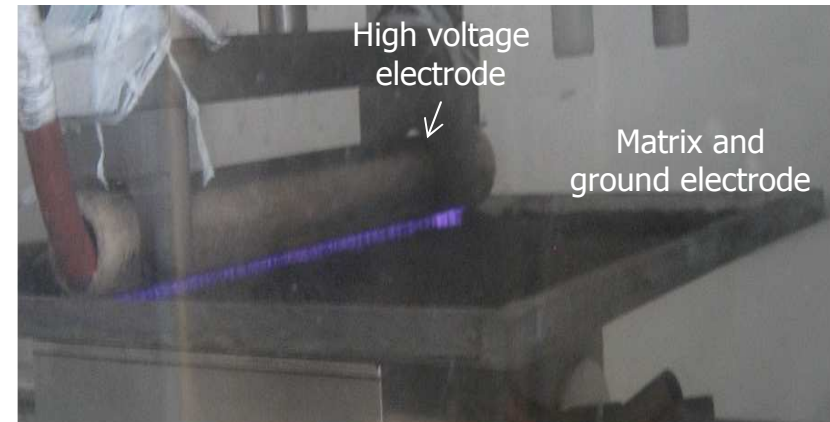
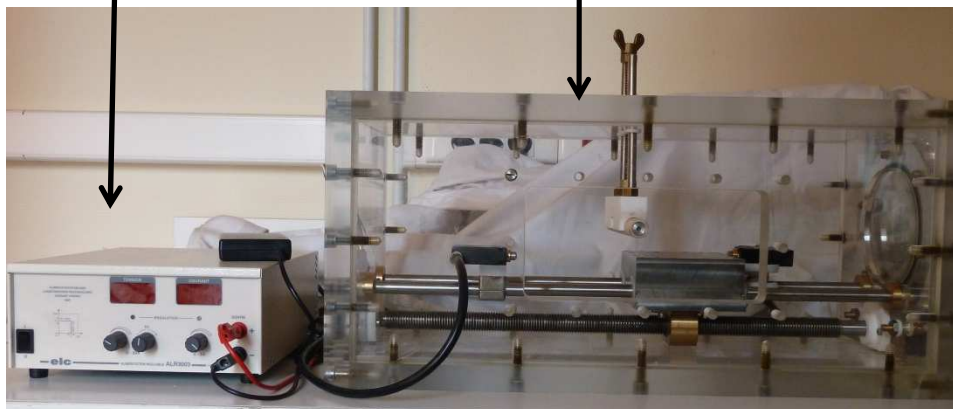
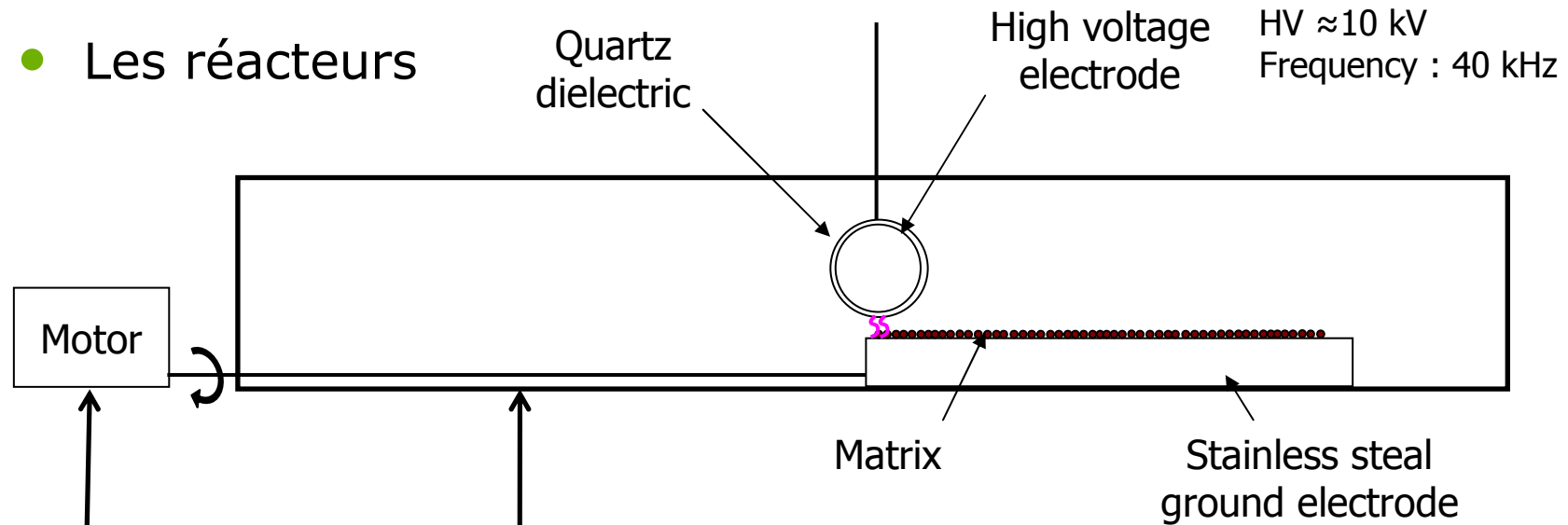
PRINCIPE DE BASE

- Si un plasma s'établit dans l'air, il y a, entre autres, formation d'ions oxygène et de nombreuses Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO, comme les $O\bullet$ et l'ozone O_3)
 - C'est d'ailleurs un mode de production courant pour l' O_3
- Si on arrive à établir un plasma entre 2 électrodes de part et d'autre d'un média épais poreux, comme un sol, il y a forcément continuité du plasma dans les pores ouverts du sol
- C'est donc un moyen de créer des ERO directement au contact de la matrice polluée
 - Sans perte des espèces à courte durée de vie
 - Avec une forte réactivité sur les molécules carbonées

- Les réacteurs

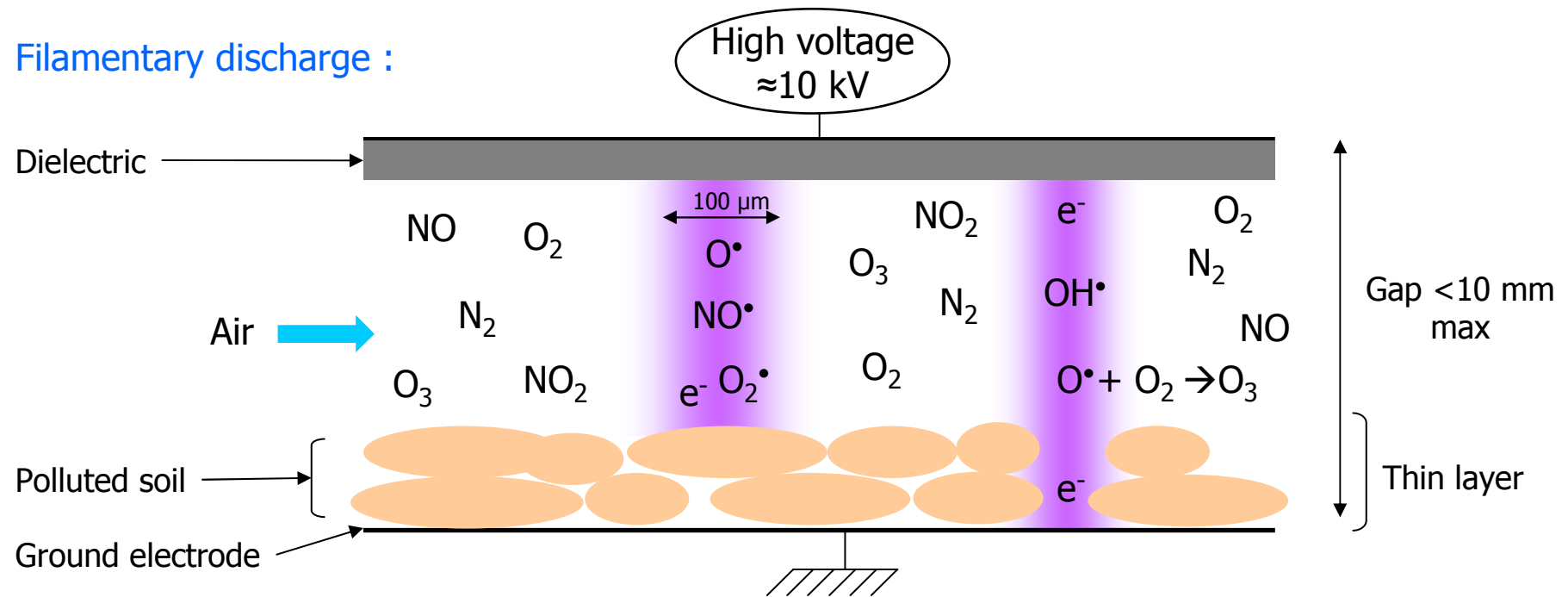


- Les réacteurs



DBD discharge for treatments of solids

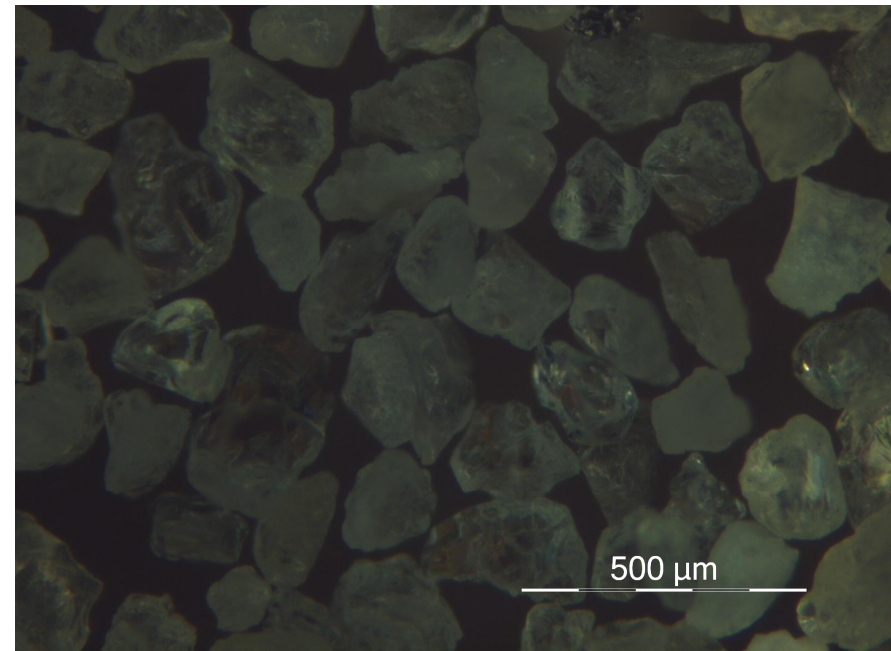
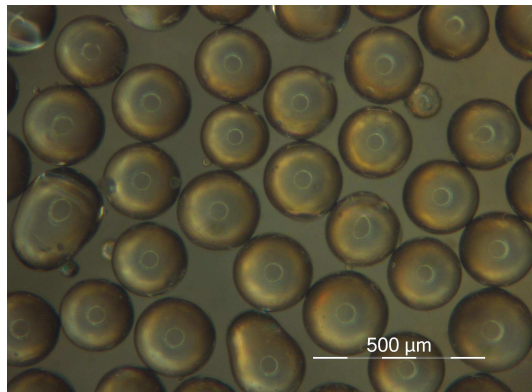
Filamentary discharge :



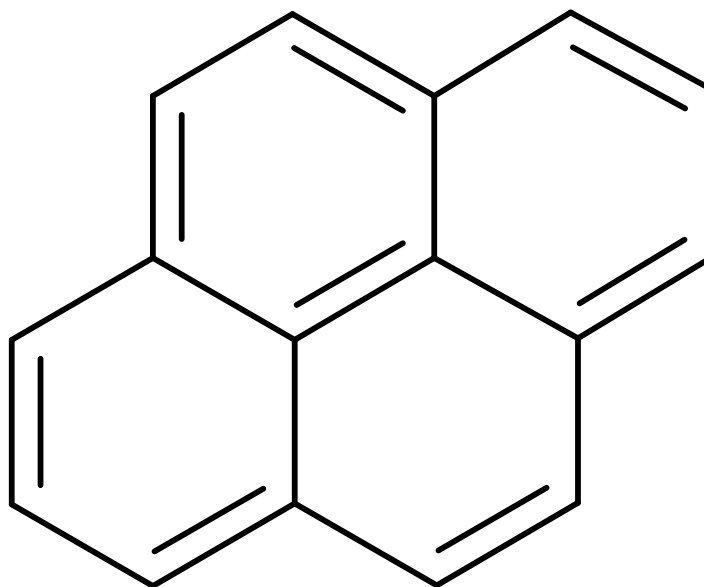
Advantages of discharge directly created in polluted soil :

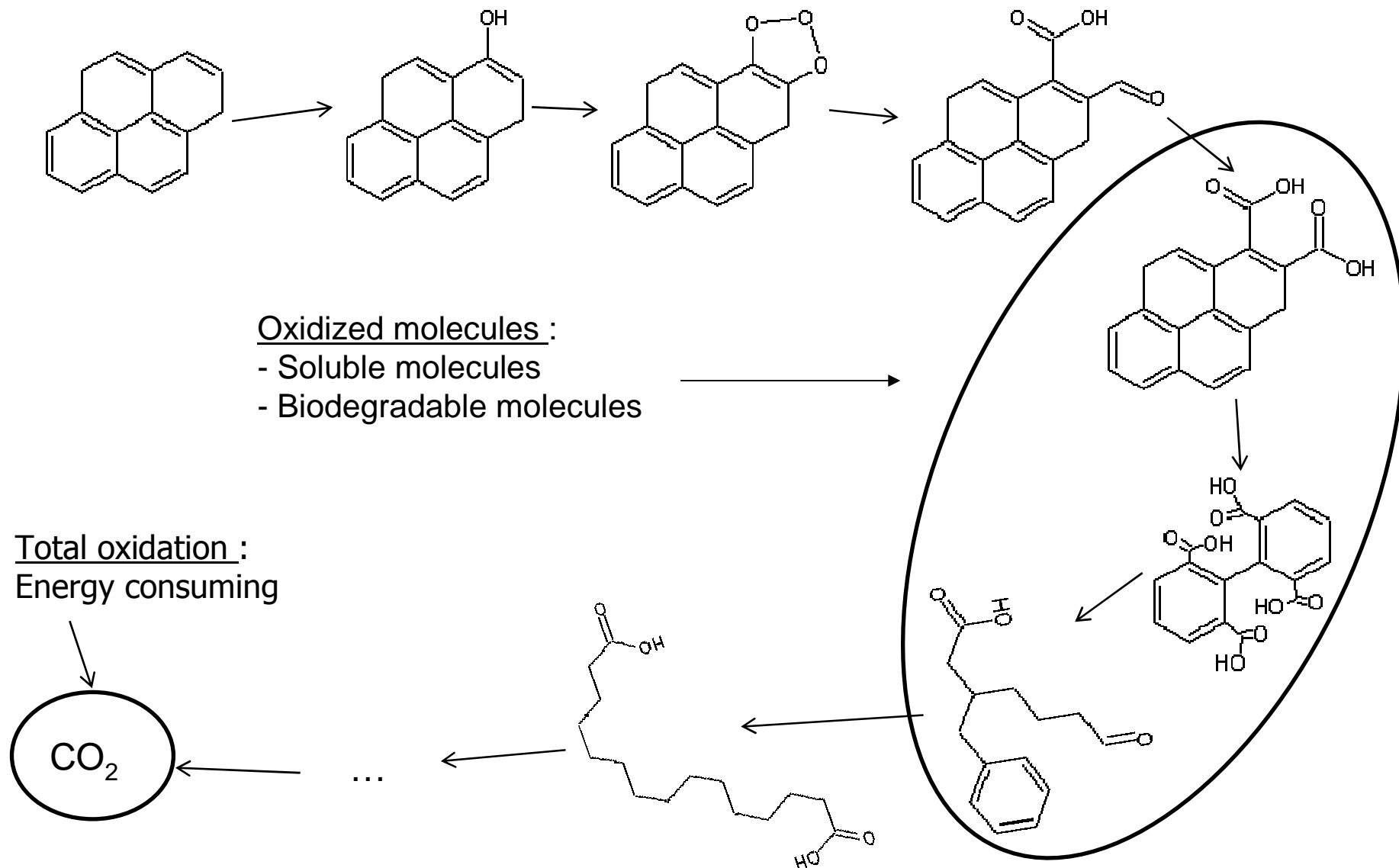
- Use of very reactive chemical species of short lifetime, electronic energy, radiation, heat energy
- All pollutants can be oxidized

- La matrice
 - Sable de quartz
 - Billes de verre



- Le polluant
 - Le pyrène, utilisé à 1000 ppm
 - HAP récalcitrant à la dégradation
 - 1 seule molécule pour ne pas multiplier les produits de réaction(s)





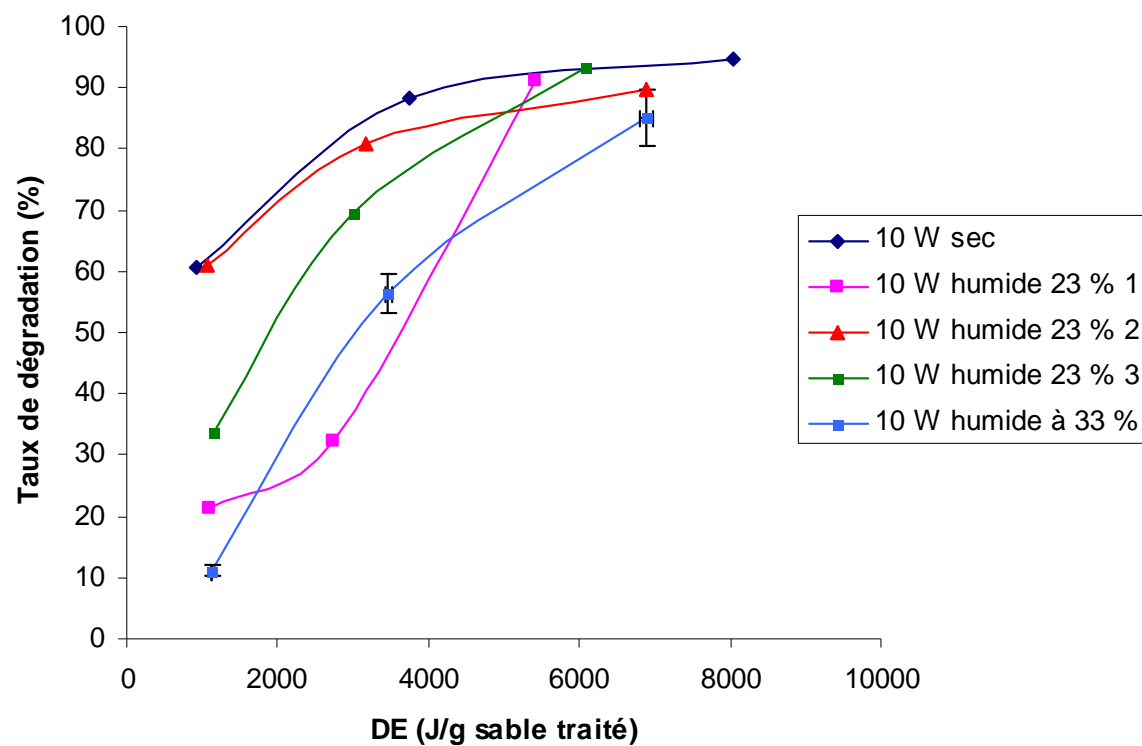


SOMMAIRE – DEPOLLUTION PLASMA

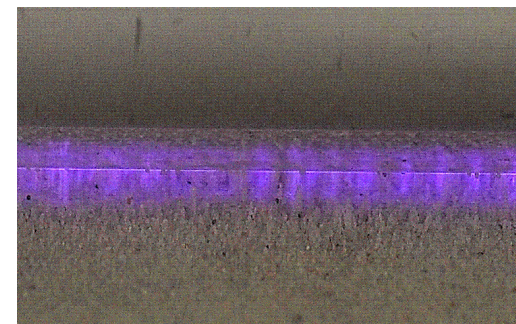
- Le plasma définition et usage
- Principe et Méthodologie de l'étude
- Essais et résultats
- Conclusion et perspectives

- Effet de l'humidité

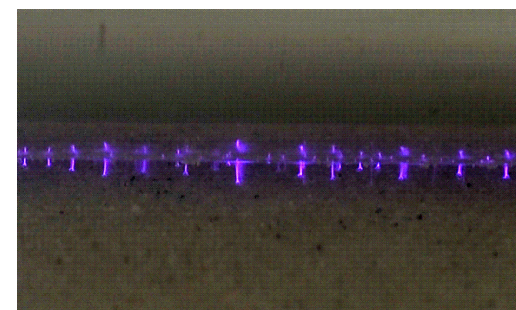
Traitement d'un sable humide et sec à 10 W sans air



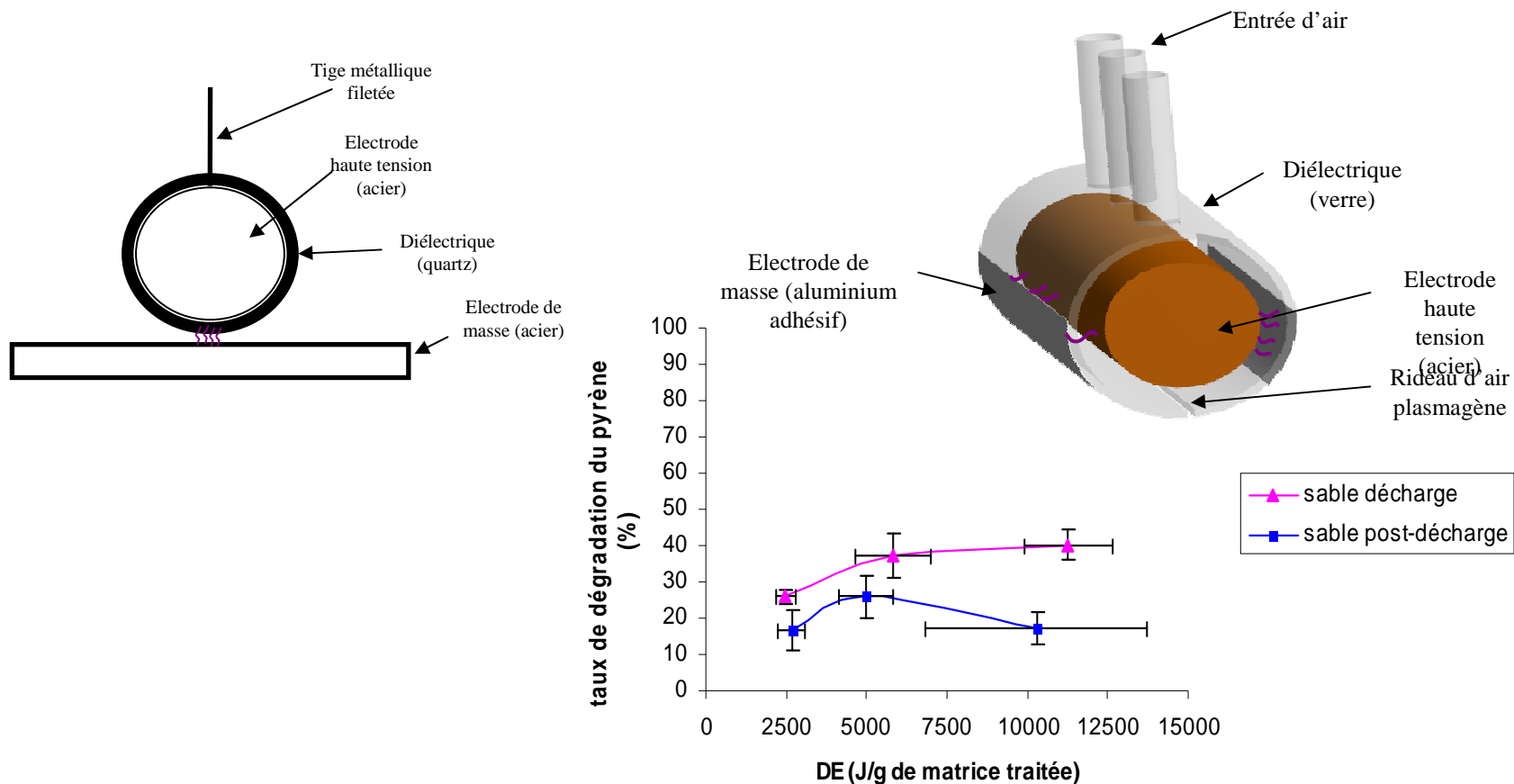
Décharge sur sable sec



Décharge sur sable humide

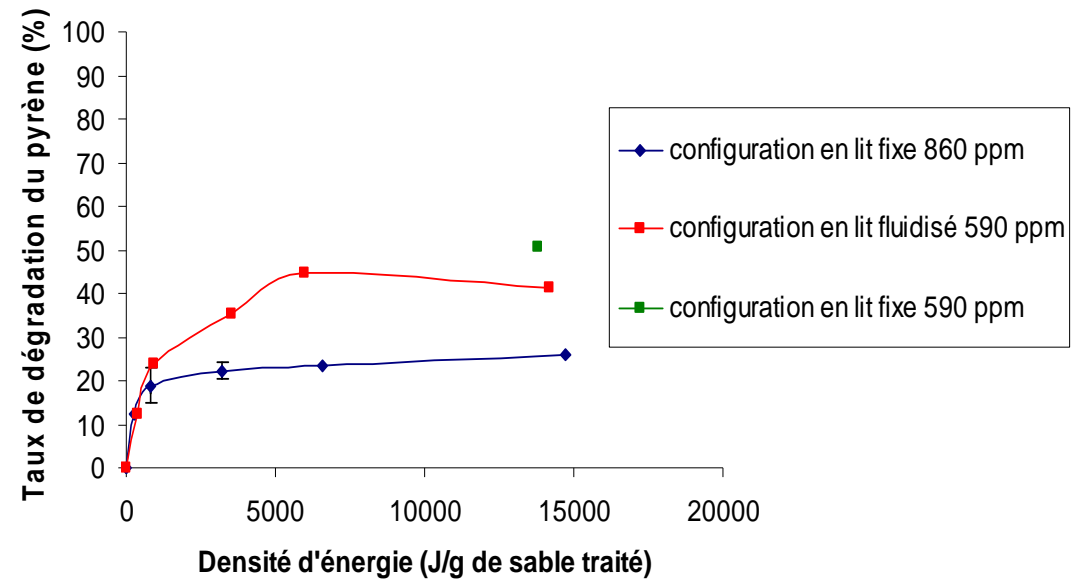
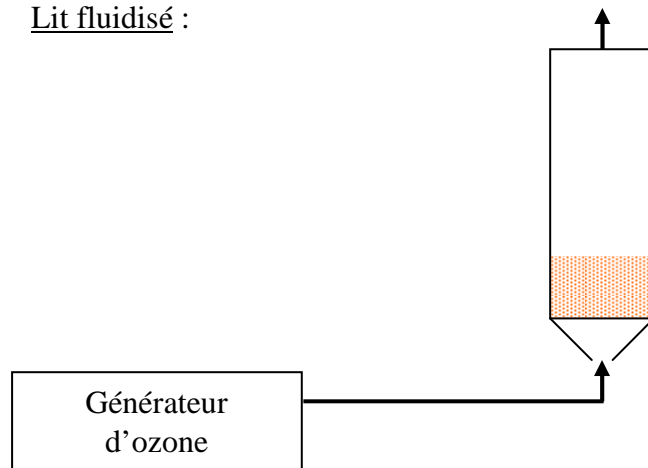


- Part des espèces à longue durée de vie dans la dégradation

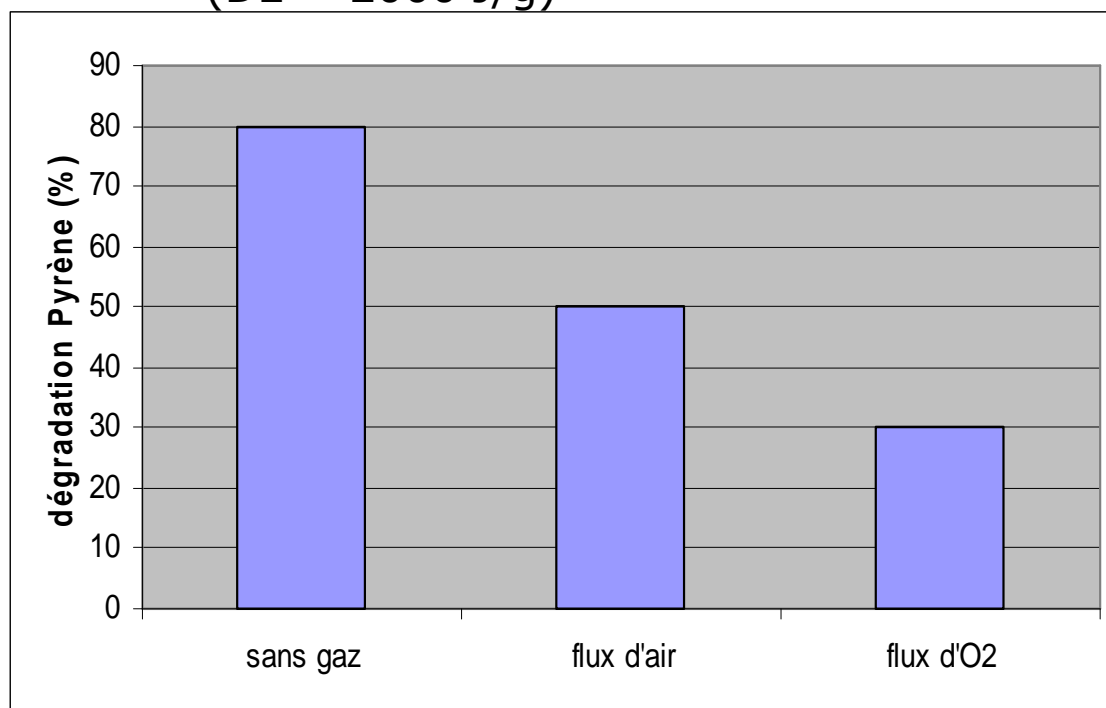


- Rôle de l'ozone dans la dégradation

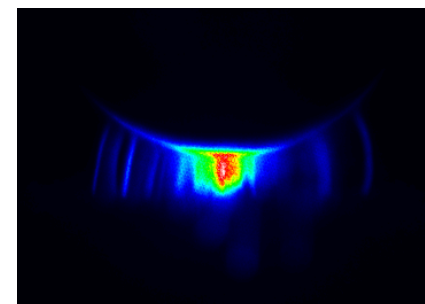
Lit fluidisé :



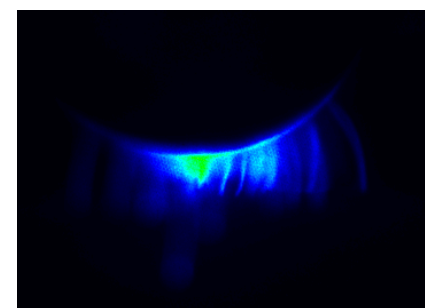
- Part des NOx dans la dégradation
 - Par comparaison de la dégradation sous flux d'O₂ et sous flux d'air (DE = 2000 J/g)



Décharges de 5 ms à 3 W en vue latérale :



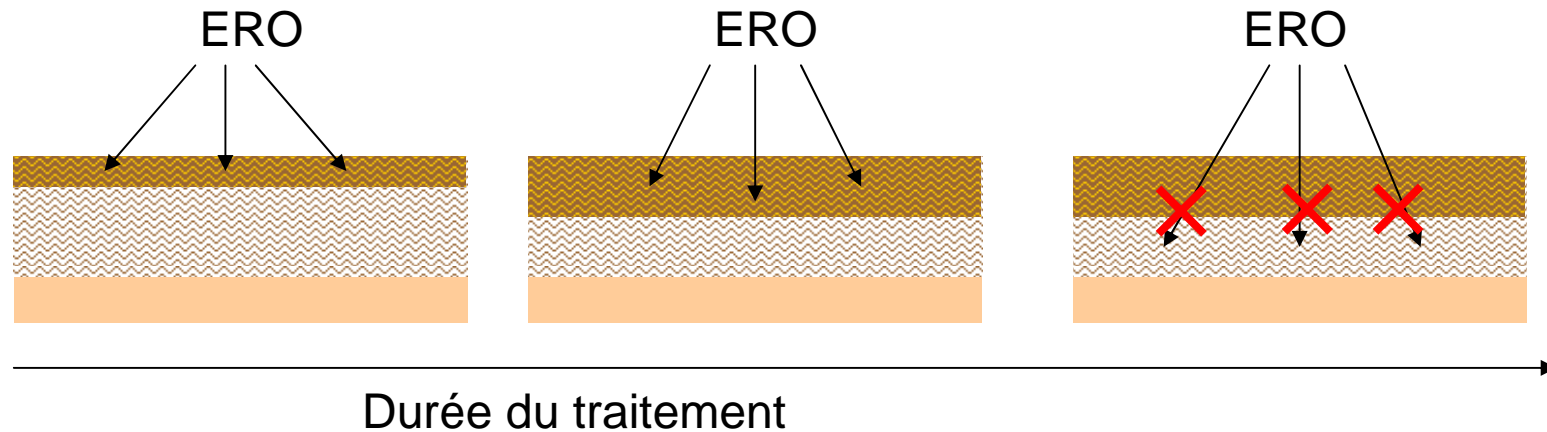
sans flux d'air



avec flux d'air

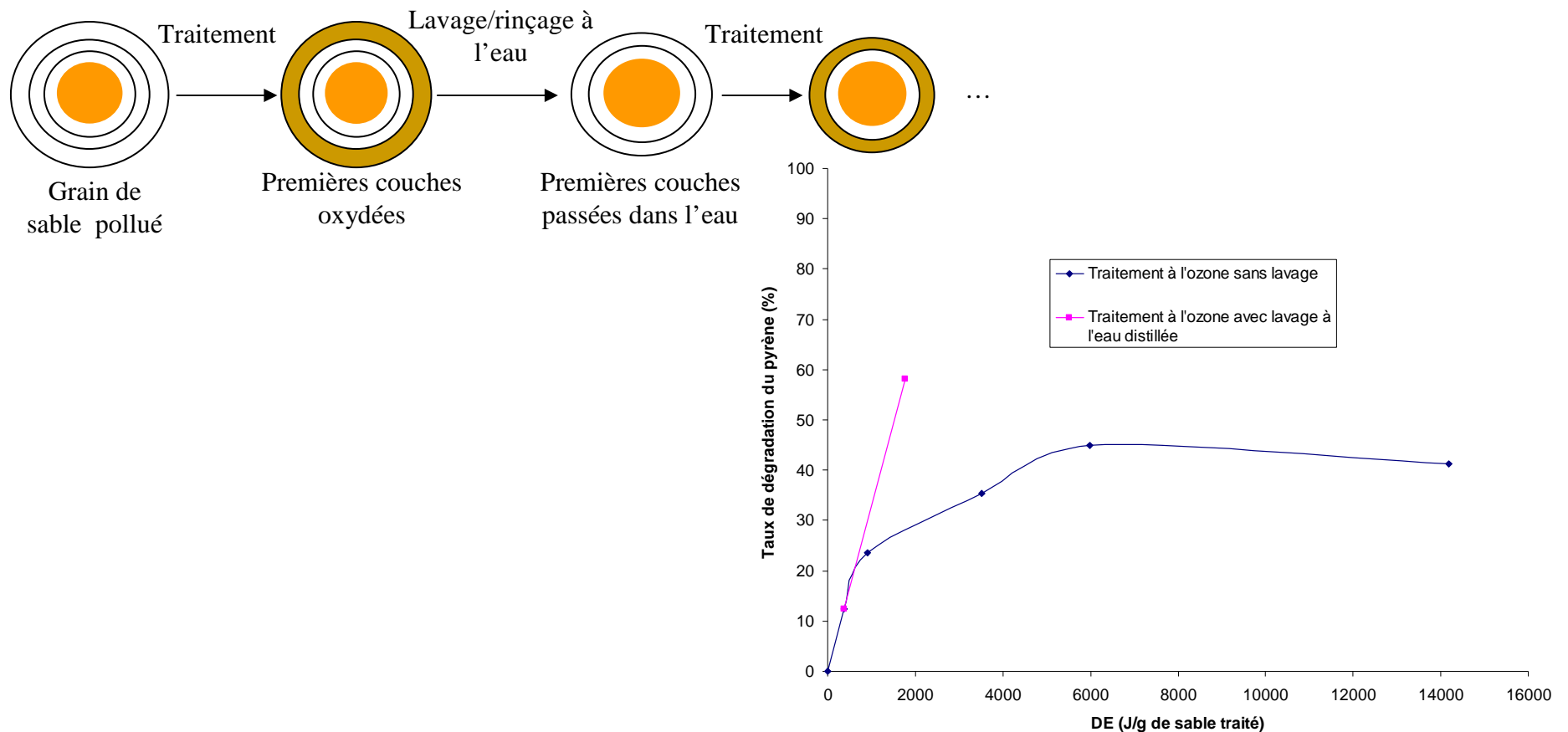
- L'hypothèse du recouvrement surfacique
- Quelles que soient les conditions utilisées, on observe toujours l'apparition d'un plateau dans la dégradation du pyrène
- Le fait que cela se produise aussi sur billes de verre et monocouche de sable écarte l'hypothèse d'une fraction de polluant masquée dans la porosité.
- Au contraire, le résultat, initialement surprenant, que le taux de dégradation augmente lorsque l'on travaille avec une fraction fine tend à montrer que la surface spécifique des particules est un paramètre prépondérant
- Quelques publications montrent que l'augmentation de la concentration en polluant diminue l'efficacité du traitement par l'ozone.
- **Avec les 1000 ppm de pyrène que nous utilisons, l'encombrement stérique permet de calculer que la couche de polluant a une épaisseur correspondant à 146 molécules**

- L' effet du recouvrement surfacique

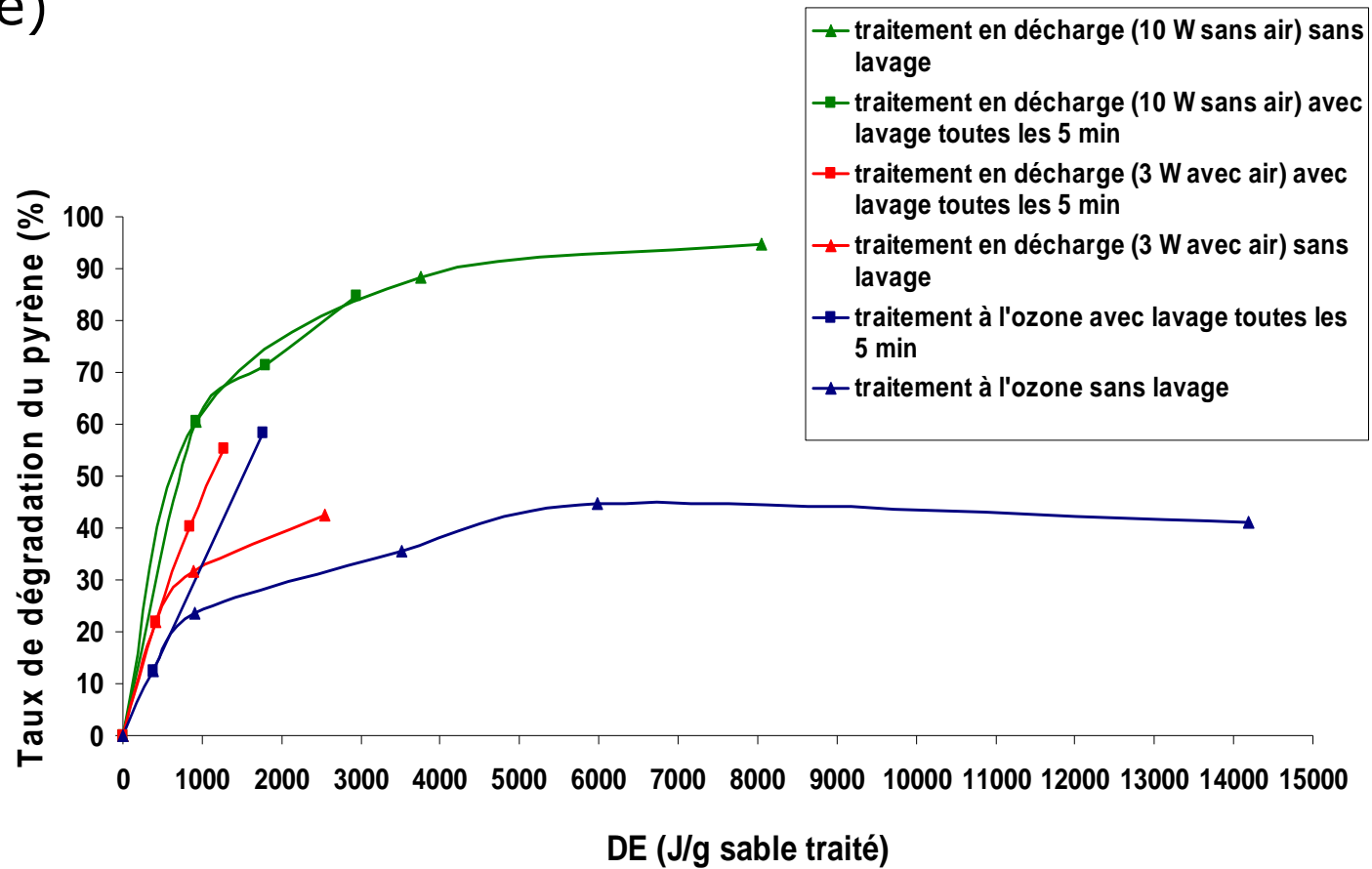


- Il est important de tenir compte de ce paramètre. Les sols réels à dépolluer en industrie sont en général fortement pollués, pouvant être de plusieurs milliers de ppm de HAP, les polluants se trouvent donc largement en multicouche

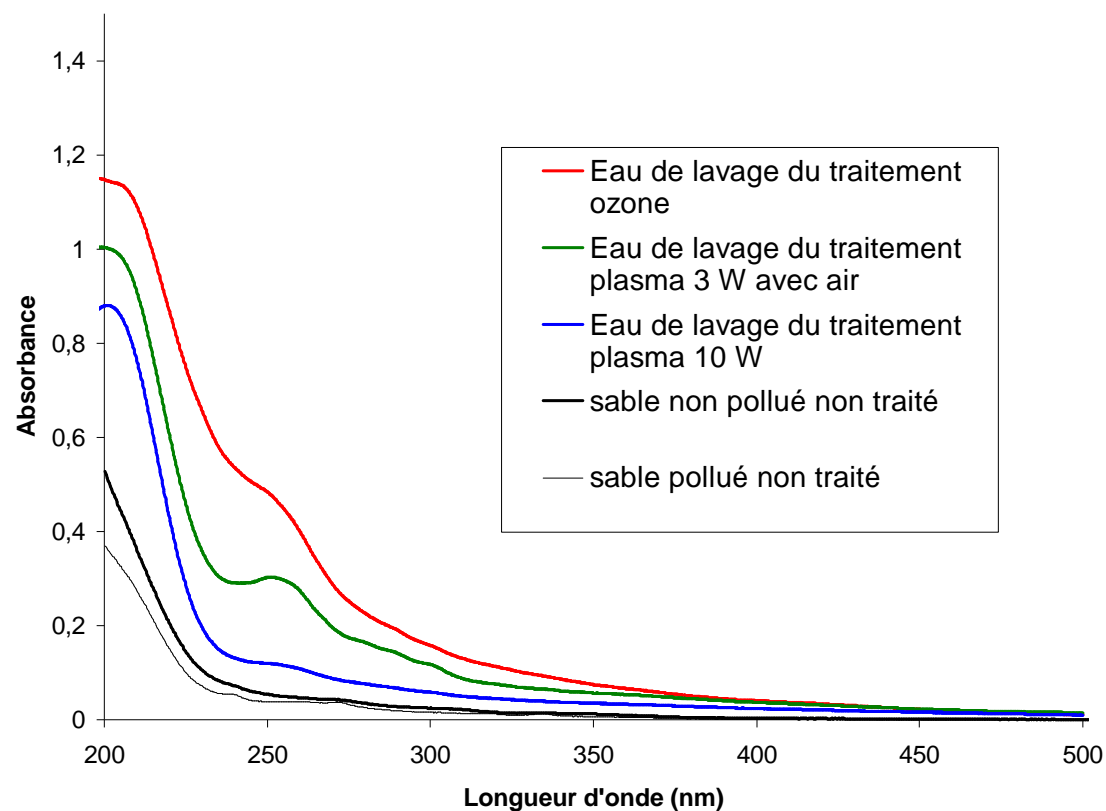
- L'effet du recouvrement surfacique



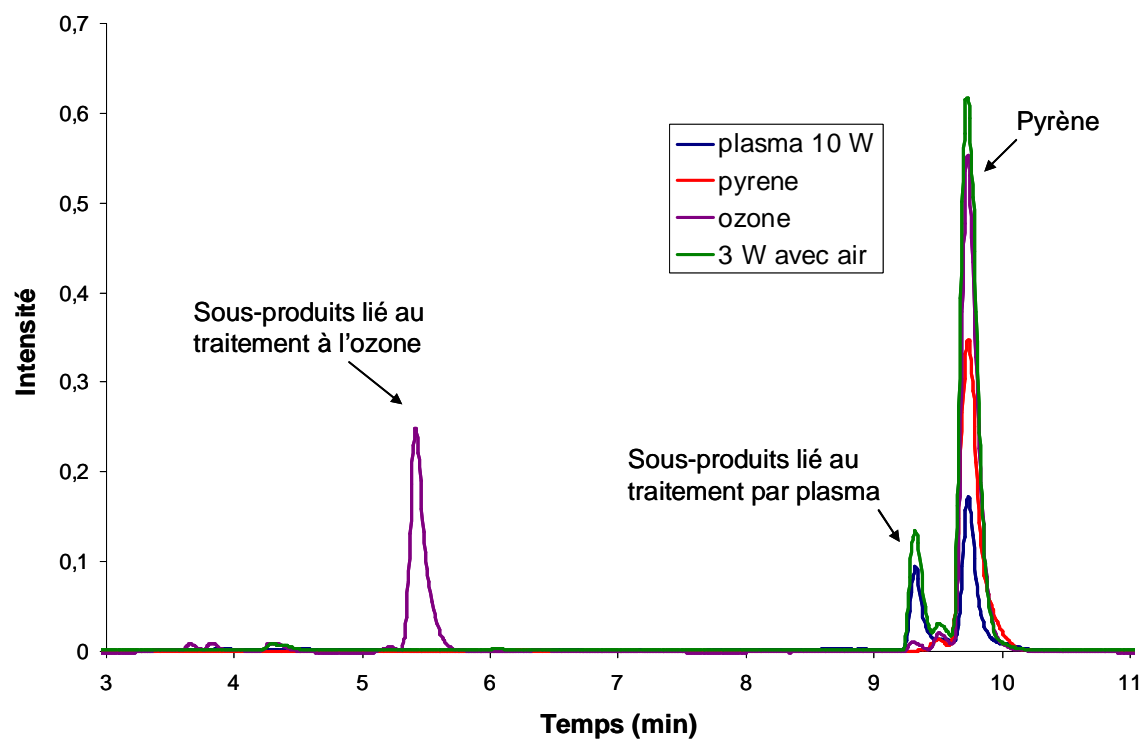
- L'effet du recouvrement surfacique, révélé par les rinçages (suite)



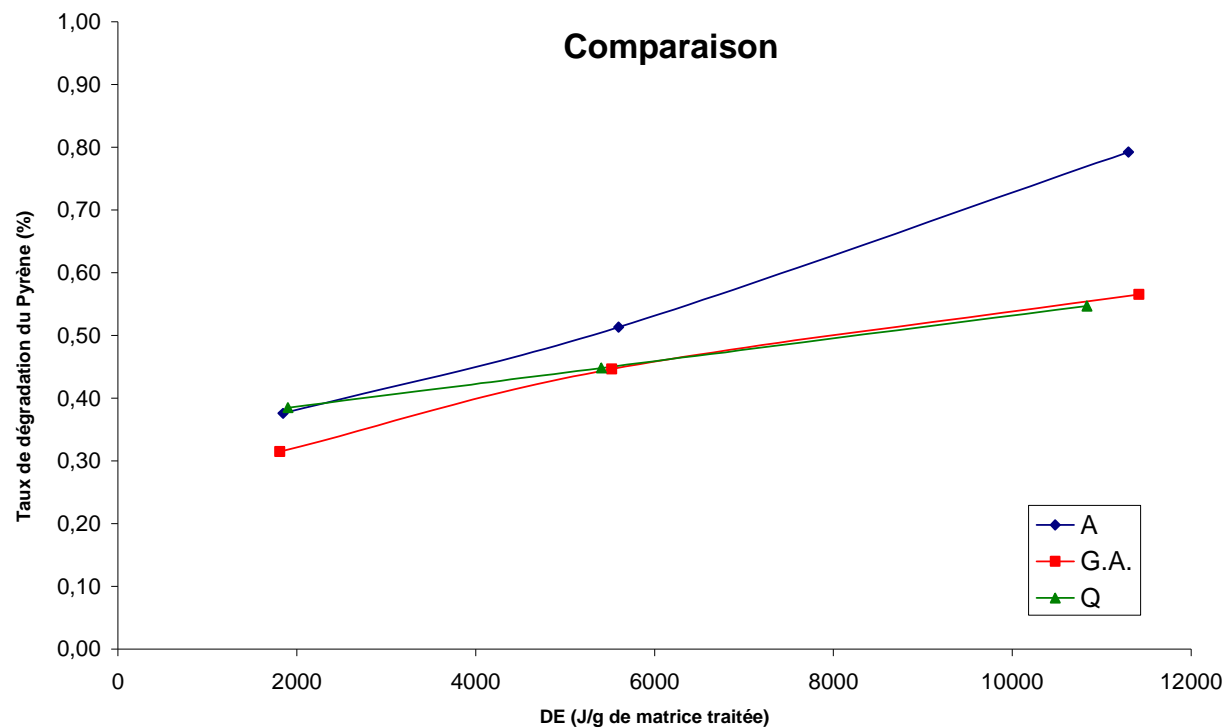
- Produits de dégradation
 - Mise en évidence par absorbance UV



- Produits de dégradation
 - Mise en évidence par HPLC



- Comparaison de différents types et matériaux pour les électrodes





ESSAIS ET RESULTATS

- Autres paramètres étudiés :
 - Influence de l'épaisseur de la couche de matrice à traiter (test en monocouche de grains de sable)
 - Effet de l'évaporation du pyrène localement chauffé : tests sous flux d'air
 - Qui ont permis de mesurer également les gaz émis lors du traitement (vapeur d'eau, CO₂, ozone, NO_x...)



SOMMAIRE – DEPOLLUTION PLASMA

- Le plasma définition et usage
- Principe et Méthodologie de l'étude
- Essais et résultats
- Conclusions et perspectives



CONCLUSIONS SCIENTIFIQUES

- Mû par une volonté de recherche appliquée, ce projet a soulevé plusieurs points fondamentaux, dont certains ont permis à l'équipe universitaire de faire progresser leur savoir :
 - Les parts relatives des différentes familles d'ERO et de NOx dans l'effet oxydant du plasma d'air
 - L'effet prépondérant de l'épaisseur du recouvrement surfacique et le rôle de l'eau pour résoudre ce verrou
 - Effets locaux de la température et des transferts d'énergie



BILAN TECHNIQUE

- Actuellement, nous savons abattre 90% du pyrène dans une matrice modèle
- Sont en cours des expériences de transition vers une matrice réelle et une pollution réelle (âge et diversité chimique)
- D'autres systèmes de génération de plasma sont aussi en test (générateur et réacteur)
- Ces travaux ont fait l'objet d'un brevet FR1160304



PERSPECTIVES

- Le coût énergétique de traitement actuel est de 250 €/T de sol traité
- Les travaux futurs porteront sur l'intégration de diélectriques beaucoup performants (céramiques de STREAMER-TECH) : facteur de gain escompté = x10
- Ainsi que sur l'optimisation du plasma : adéquation de la puissance appliquée avec le besoin, fréquence des excitations HF,... = un autre facteur x10 envisagé
- Applications à d'autres POP, ou autres familles de polluants



REMERCIEMENTS

- Ces résultats sont tous issus des travaux réalisés au cours d'une thèse de doctorat
 - Par Jeanne ROJO ; jeanne-rojo@chimie-paristech.fr 01 44 27 68 29
- Co-financement ADEME / VALGO
 - Suivi par Frédérique CADIERE
- Travaux réalisés à l'ENSCP – Université P&M Curie
 - Encadrement Stéphanie OGNIER
 - De l'équipe de Simeon CAVADIAS



ParisTech

Ecole nationale supérieure de chimie de Paris
Laboratoire de Génie des Procédés Plasmas et Traitements de Surface - EA 3492
11, rue Pierre et Marie Curie F75231 Paris Cedex 05
www.enscp.fr

