

intersol'2009

Analyse, Méthodologies de Traitement et Réhabilitation des Sols et Eaux Souterraines Pollués
Analysis, Treatment Methodologies and Remediation for Polluted Soils and Groundwater

INTER SOL TECH & SCIENCES

SESSION E

Atelier R&D sites et sols pollués / **Thematic workshop : R&D for polluted soils and sites**



Cavhyte : Un procédé innovant de traitement de dépollution par la cavitation hydrodynamique / **Cavhyte: a new innovative process for decontamination by using hydrodynamic cavitation** - Claude Rebattet, **INPG / Institut National Polytechnique de Grenoble**

intersol'2009

Analyse, Méthodologies de Traitement et Réhabilitation des Sols et Eaux Souterraines Pollués
Analysis, Treatment Methodologies and Remediation for Polluted Soils and Groundwater

INTER SOL TECH & SCIENCES

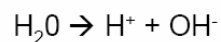
Contexte : restauration de la qualité des eaux naturelles ou industrielles (directive cadre européenne sur les eaux souterraines).

Polluants concernés : pesticides, fongicides, herbicides, solvants chlorés...

Méthodes d'oxydation classiques : peroxyde, O_3 , UV + TiO_2 .

Intérêt de la cavitation : méthode d'oxydation non consommatrice de produits chimiques et à rendement énergétique potentiellement élevé.

$T > 3000\text{ °C}$
 $p > 3000\text{ bar}$

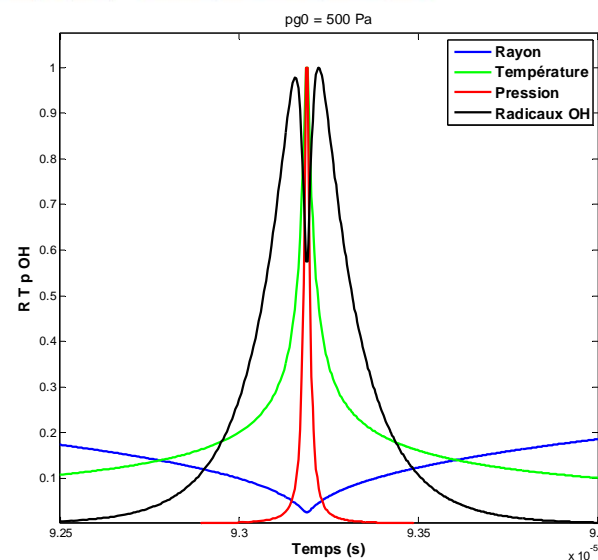
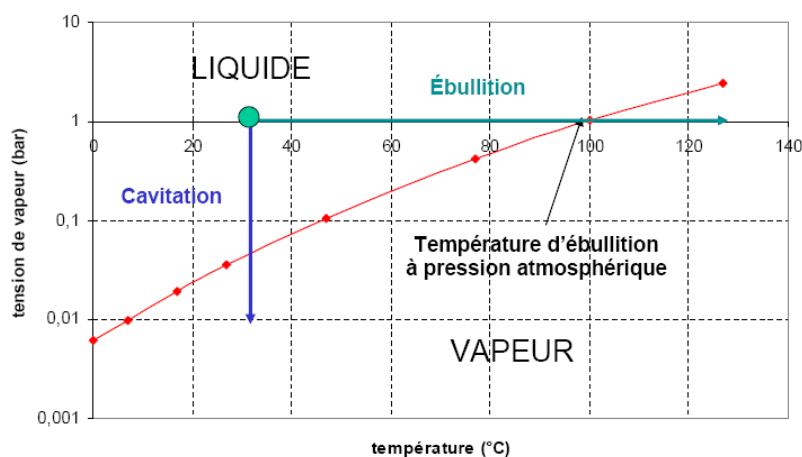


Radicaux hydroxyles = puissants oxydants

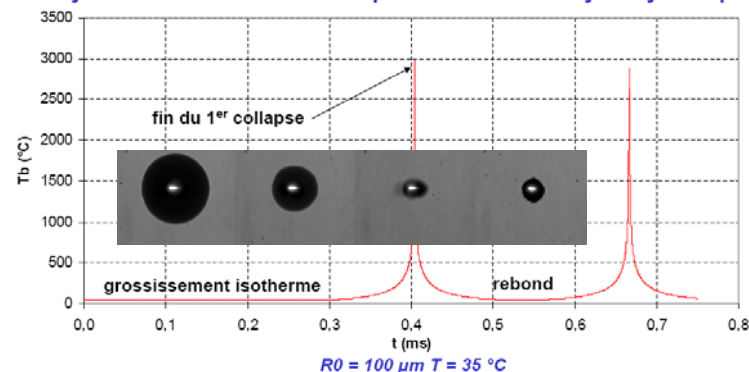
→ Oxydation possible des molécules
organiques

La cavitation

Équilibre liquide vapeur de l'eau



Cycle de vie d'une bulle de vapeur en cavitation hydrodynamique



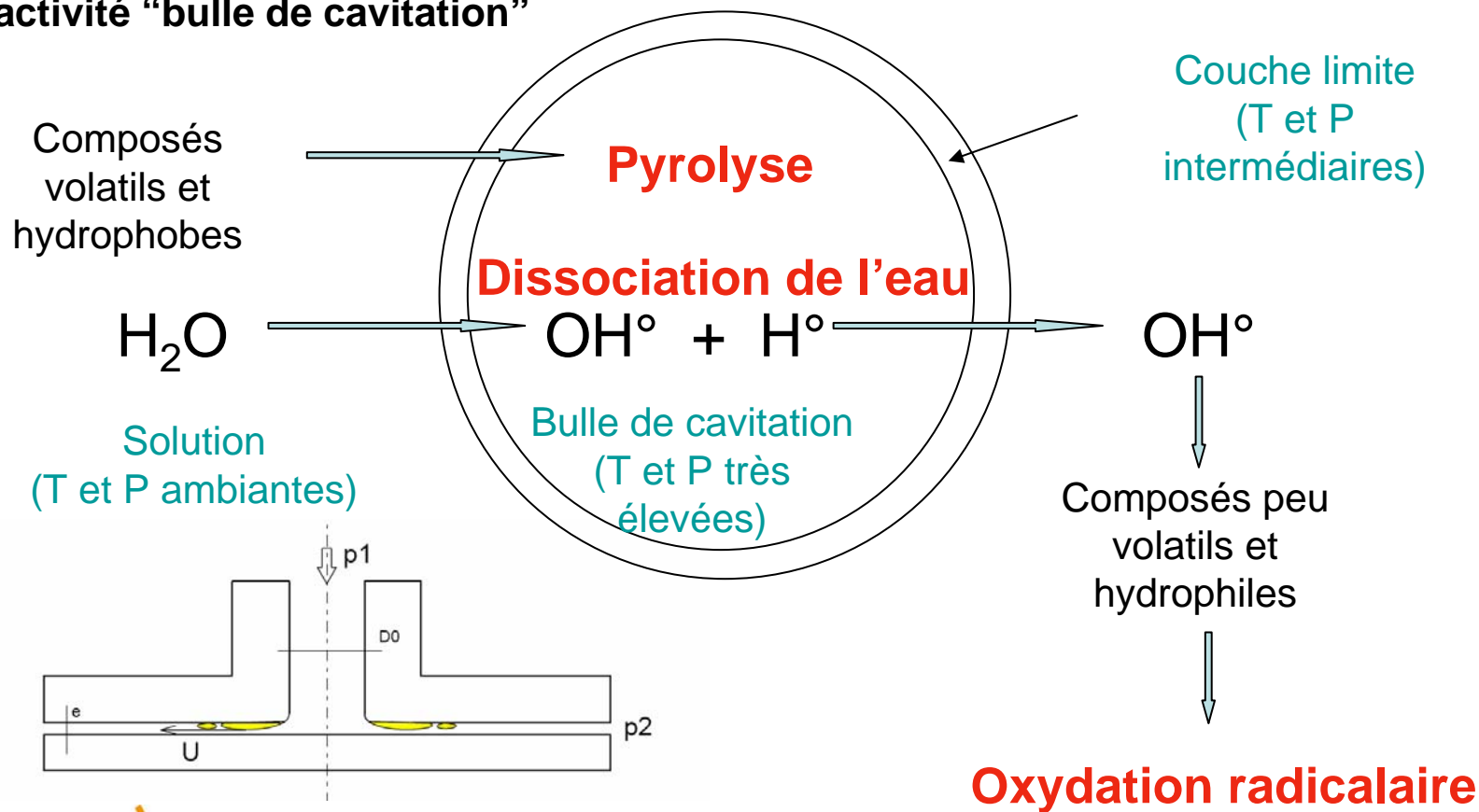
Durée : 3ans 2007-2009

Aide ANR : 390 kEuros

OBJECTIFS du projet ANR Precodd : procédé de cavitation hydrodynamique

1. Compréhension des mécanismes d'échange entre phase gaz liquide proche de la bulle => phénomènes de transfert masse-énergie à l'interface et dans la bulle
2. **Démonstrateur de laboratoire** => paramètres d'influence sur la réactivité chimique (pyrolyse et oxydation)
3. Molécules tests COHV -> TCE volatil & PCP non volatil ,
4. Domaine fonctionnel $Q=0.2 - 2 \text{ m}^3/\text{h}$ $V=100\text{l}$; $CP=10 - 100 \text{ ppm}$, cycle de 6-12 h
5. Qualification du procédé => démonstrateur/pilote, industrialisation
6. **Démonstrateur de terrain "simplifié"** => données de terrain
7. Mesures de performances sur indicateurs:
 énergétique, écologique
 cout, temps, domaine fonctionnel
 efficacité abattement polluants et réactivité chimique
 séparation des effets par pyrolyse et oxydation

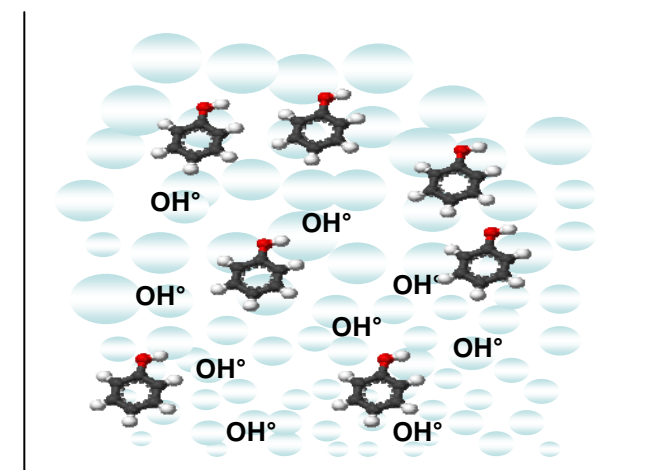
Réactivité "bulle de cavitation"



Production de
radicaux
hydroxyles OH^\bullet

Dosage des radicaux
hydroxyles OH^\bullet

Mesure de l'oxydation
du milieu



Dépollution des
polluants
organochlorés

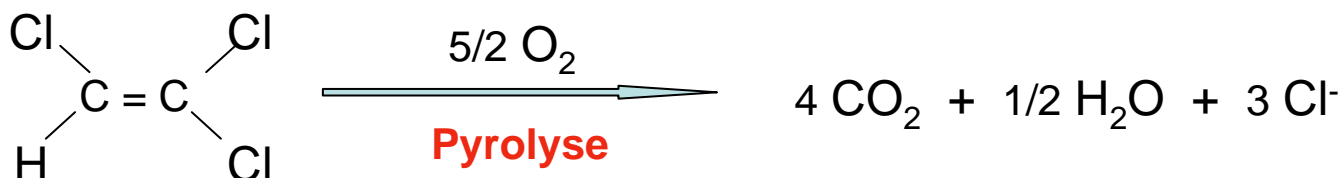
Dosage des composés
organiques

Dosage des ions
chlorures

Oxydation Polluants

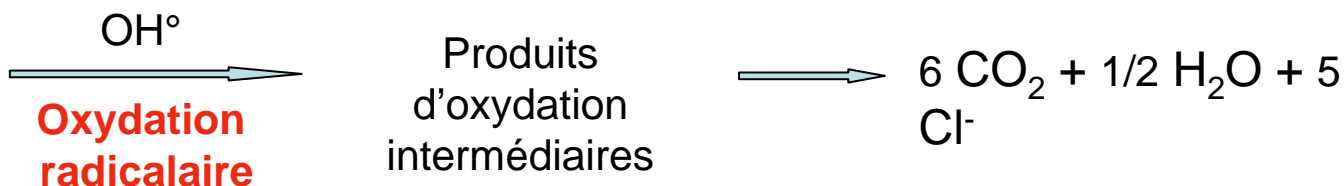
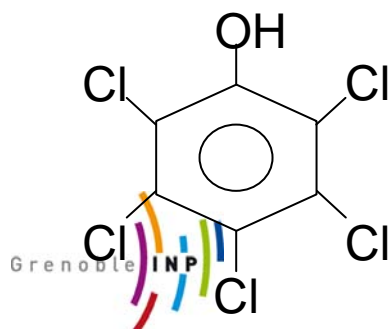
INTER SOL TECH & SCIENCES

Composés volatils et hydrophobes



Trichloroéthylène
TCE

Composés peu volatils et hydrophiles



intersol'2009

Analyse, Méthodologies de Traitement et Réhabilitation des Sols et Eaux Souterraines Pollués
Analysis, Treatment Methodologies and Remediation for Polluted Soils and Groundwater

Analyses chimiques

INTER SOL TECH & SCIENCES

Dosage des radicaux OH^\bullet par fluorimétrie ou colorimétrie

Contrôle du degré d'oxydation du milieu par mesure du potentiel redox

- **Les radicaux libres** sont des espèces chimiques comportant un seul électron célibataire non apparié. Par conséquent, ils sont instables et donc très réactifs. Pour retrouver leur équilibre, les radicaux captent un électron. Ils sont donc des oxydants puissants.
Potentiel d'oxydation des radicaux OH^\bullet : 2.80 V/ENH
- **Le fluorimètre** mesure le rayonnement de fluorescence produit par le milieu en présence d'un réactif, c'est-à-dire la photoluminescence émise par la substance lorsque elle est soumise à un rayonnement électromagnétique. L'intensité de la lumière émise est fonction de la concentration.
- **La sonde Redox** mesure le potentiel d'oxydo-réduction d'une solution : suivi des teneurs de la solution en substances oxydo-réductrices.

Analyses chimiques

INTER SOL TECH & SCIENCES

Dosage des ions chlorures par sonde de conductivité

- Le **relargage des ions chlorures** éliminés par les polluants organochlorés au cours de leur dégradation se traduit par une augmentation de la **conductivité** de l'eau.
- Cette relation entre la concentration en ions et la capacité de conduire le courant électrique permet de déterminer la **concentration en sels dissous**.
- Dans les solutions aqueuses, ce sont les ions qui effectuent le transport des charges. Les ions résultent de la dissolution de sels, acides et bases. Plus le liquide contient d'ions, mieux il conduit le courant.

Dosage des polluants organochlorés par chromatographie gazeuse et détecteur à ionisation de flamme

- L'étape séparative est réalisée sur une **colonne** contenant une phase stationnaire liquide ou solide.
- Un flux de **gaz vecteur** réalise l'élution des composés et les entraîne vers **un détecteur**.
- Après introduction, les molécules vont se répartir entre la phase stationnaire et la phase gazeuse.
- Dans des conditions prédéfinies de chromatographie (**CPG-FID**), chaque **composé** sera caractérisé par un **temps de rétention caractéristique**.

Analyses chimiques

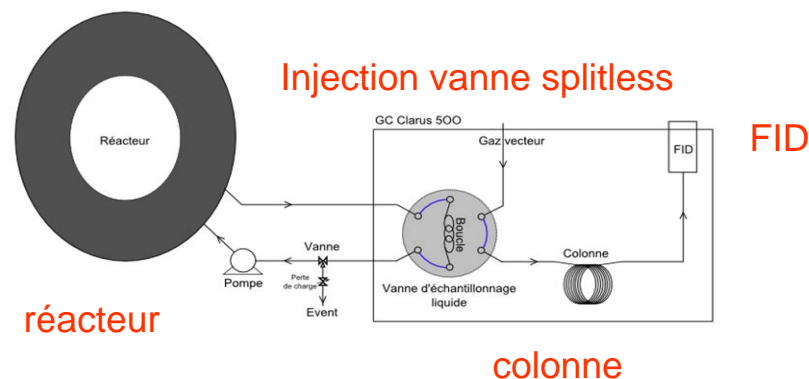
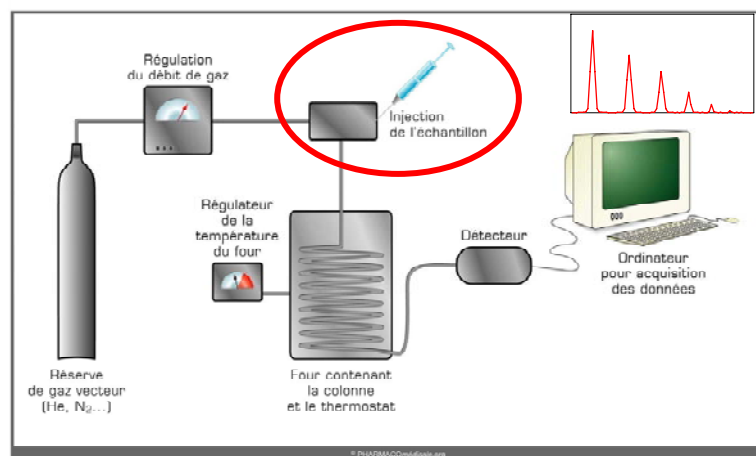
INTER SOL TECH & SCIENCES

Dosage des polluants organochlorés par chromatographie gazeuse et détecteur à ionisation de flamme (CPG-FID)

La **séparation des molécules** va reposer sur un gradient de température appliquée à la colonne. Les molécules ayant le plus d'affinité pour la phase stationnaire y séjournent plus longtemps, atteignant **le détecteur** plus tardivement. Celui-ci produira alors un signal proportionnel à la quantité de molécule à doser.



Implantation CPD-FID
CREMHYG



Paramètres chimiques

Trichloroéthylène
Molécule volatile

Pentachlorophénol
Molécule non volatile

Sonde redox

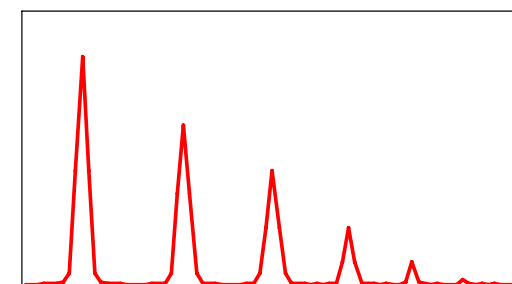
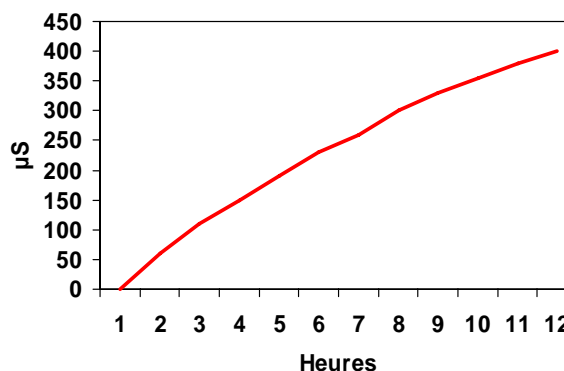
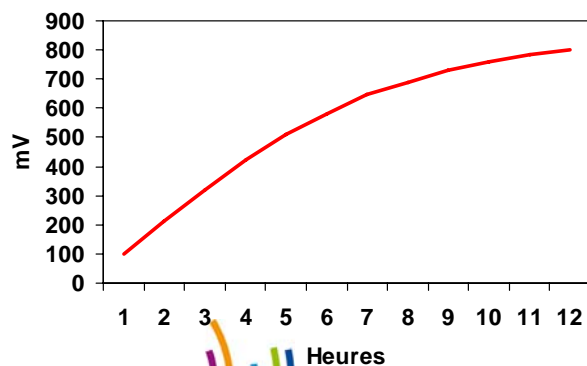
Sonde de conductivité

CPG-FID

Suivi de la tendance
oxydative du milieu

Suivi de l'augmentation
de la conductivité de l'eau
par suite du relargage des
ions chlorures éliminés par
la molécule organochlorée
au cours de sa dégradation

Mesure de la disparition
du pic des composés
organochlorés



Paramètres physiques

INTER SOL TECH & SCIENCES

PRESSION

REGLAGE

- Circuit pressurisé par ballon à vessie
- Vannes anticavitante



MESURES

- capteur absolue (contrôle de vide)
- capteur différentiel (contrôle veine cavitante)



PARAMETRES

- Pression partielle de vapeur
- Niveau dans les cuves
- Paramètre de cavitation
- Pression du réacteur cavitant

DEBIT

REGLAGE

- Pompe à vitesse variable
- Vanne de régulation



MESURES

- Débitmètre électromagnétique
- Débitmètre ultrason mesure dans eau desionisé



PARAMETRES

- Débit du circuit degazeur
- Débit circuit engazeur
- Débit du circuit principal & réacteur cavitant

TEMPERATURE

REGLAGE

- Echangeur
- réchauffeur



MESURES

- Sondes Pt100

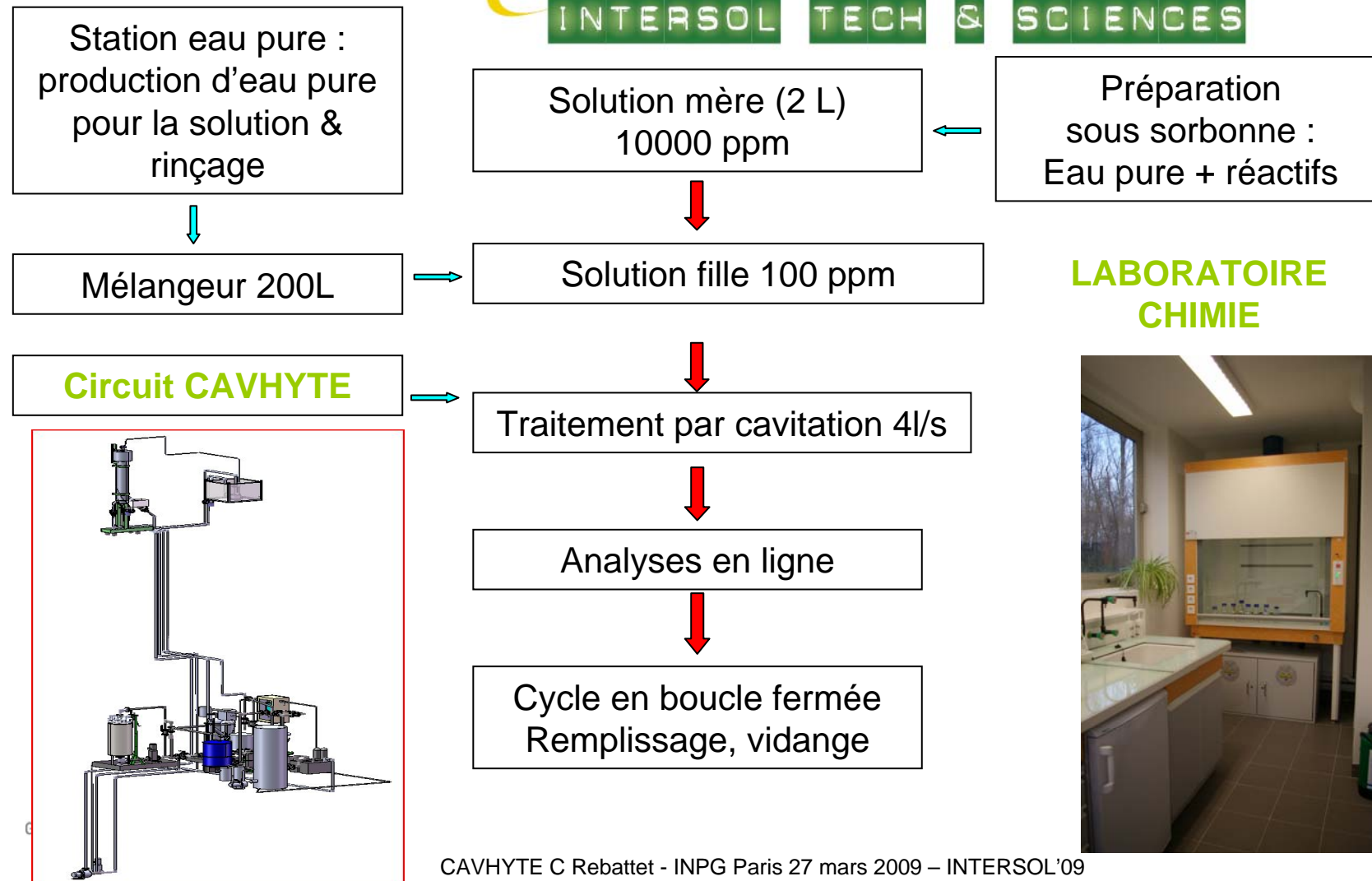


PARAMETRES

- Température du circuit d'échangeur thermique
- Température du circuit principal & réacteur cavitant

Banc cavhyte : principe

INTER SOL TECH & SCIENCES



**LABORATOIRE
CHIMIE**

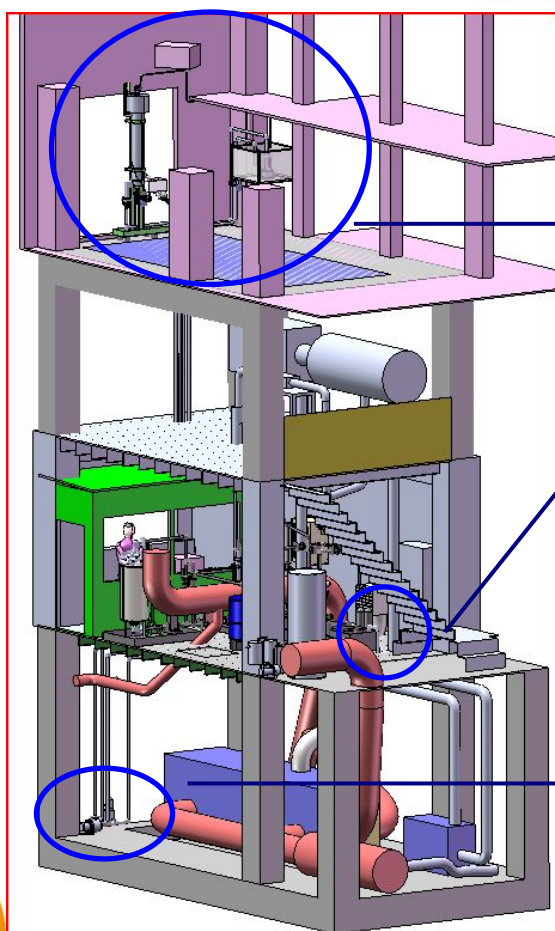


Banc cavhyte : implantation

INTER SOL TECH & SCIENCES

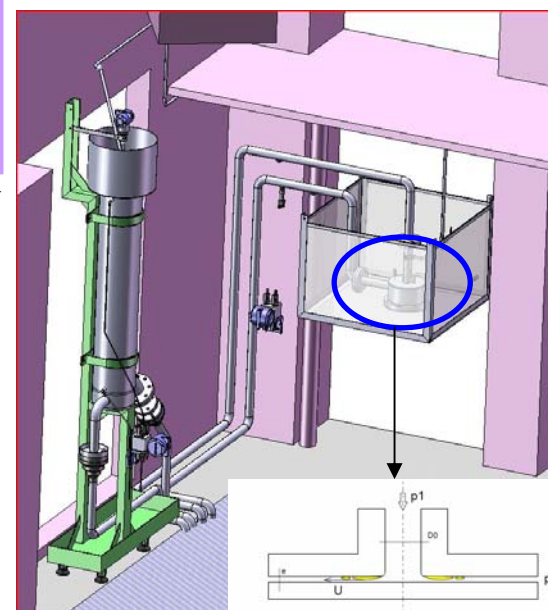
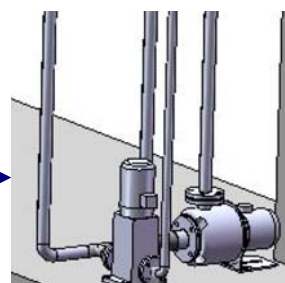
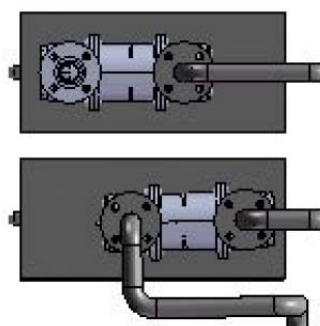
BP
Basse pression

HP
haute pression



REACTEUR CAVITANT

Veine cavitante « VDR »
Dégazeur (BP)



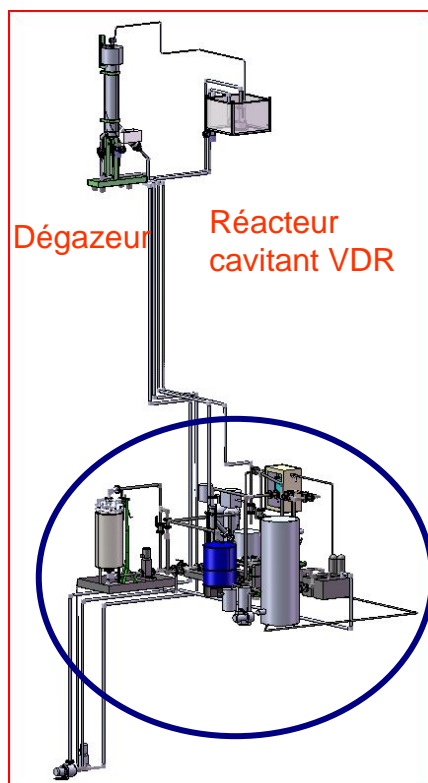
**Pompes & vannes
ANTICAVITANTES**

Pompes **circuit BP**

Vannes anticavitantes
liaison BP - HP

Banc cavhyte : fonctionnel

INTER SOL TECH & SCIENCES



COMPOSANTS HYDRAULIQUES

3 circuits (engazeur, dégazeur, réacteur)

Pompes , cyclone

Echangeur thermique

Ballon à membrane de Pressurisation

STOCKAGE ALIMENTATION*

Réserve eau pure 500 L

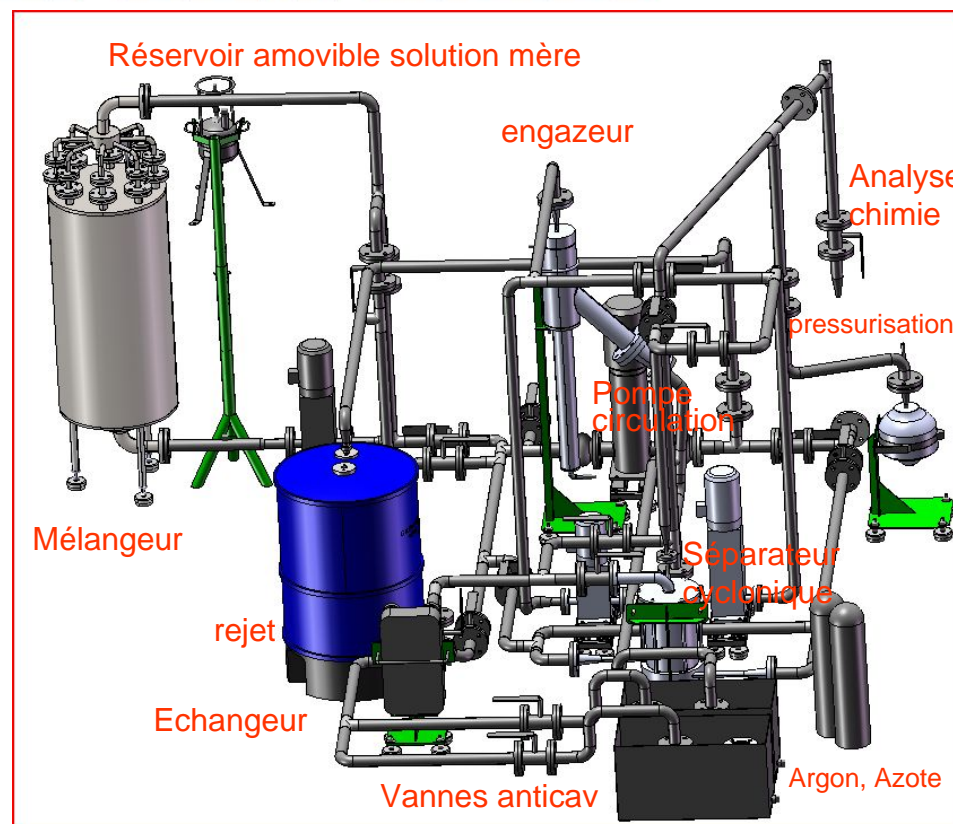
Cuve mélangeur de 200 L

Réservoir amovible de 2 L

* Eau desionnée + polluant

REJET

Filtre charbon actif 75 kg



Conclusion

- **Le banc CAVHYTE est un nouveau moyen d'expérimentation des techniques de dépollution installé dans le laboratoire public CREMHYG, de Grenoble Institut Polytechnique, avec financement ANR PRECODD.**
- **Il constitue un premier démonstrateur innovant de la technique de dépollution par pyrolyse et oxydation radicalaire induites par le collapse de bulles (cavitation hydrodynamique) conçu par Ylec/INP G.**
- **Il est adaptable à des techniques et à des polluants divers nécessitant des analyses en ligne sur des préparations à traiter.**
- **Il permet la circulation en boucle pour le suivi d'oxydation sur des réacteurs avec possibilité de séparation de phase liq-gaz.**
- **Il sera complété en 2009-2010 par un procédé de traitement des eaux & boues par tube à choc, dans le cadre du projet Valorsites soutenu par le pôle de compétitivité AXELERA et le FCE 2007.**
- **Le partenaire industriel est SITA Remediation, filiale de SUEZ Env.**