



Etat de l'art sur le brûlage *in situ*

Dr. Ronan JEZEQUEL,
Cedre
Journée d'information du Cedre,
10 mars 2015
Paris

Contexte

Deepwater Horizon

- 20 avril 2010, 80 km de littoral impacté
- 780 000 m³ de **Light Louisiana Sweet**
- Dispersion, récupération mécanique, et **ISB** mis en oeuvre (**approuvés dans les PU locaux**)
- **40 jours** d'ISB pendant 2,5 mois (28th Avril – 19 juillet)
- 35 – 49 000 m³ traité par ISB (**≈ 5%**)
- 411 confinements et mise à feu , 376 brûlage recensés (taille, durée)
- Durée d'un brûlage : **quelques minutes à près de 12 heures.**



Théorie du brûlage

3 éléments fondamentaux (le triangle du feu):

- 1 - un produit produisant suffisamment de vapeurs inflammables
- 2 - un mélange air – vapeur adéquat
- 3 - une énergie d'activation



HC

Théorie du brûlage

3 éléments fondamentaux (le triangle du feu):

- 1 - un produit produisant suffisamment de vapeurs inflammables
- 2 - un mélange air – vapeur adéquat
- 3 - une énergie d'activation



Une partie de la chaleur émise par les flammes ($\approx 3\%$) vaporise les hydrocarbures et entretient l'incendie.

Le brûlage de nappes

Un élément supplémentaire → l'eau

- étalement / dérive du produit,
- nécessité d'une épaisseur minimale d'HC pour ignition (transfert de chaleur vers l'eau)
- difficulté de récupération des imbrûlés flottant ou coulant



HC

Pré requis pour l'ISB

- Pétrole inflammable
- 2paisseur de nappe
 - > 2 mm pour un brut frais
 - 2 – 5 mm pour un brut vieilli
 - > 5 mm pour les fiouls lourds
- Emulsification : < 25 – 50 % (selon la stabilité de l'emulsion)
- Viellissement: 20 – 35% d'évaporation
- Paramètres océaniques:
 - vagues < 1,5 m
 - vent < 10-12 m/s
 - courant < 0,5 m/s

Equipements spécifiques et personnels formés

- Barrage anti feu:
 - Contrôle de la nappe pendant le brûlage (épaisseur, dérive et étalement)
 - Contrôle du feu



Hydrofireboom



Pyroboom



American 3M

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



DWH: Alimentation en continu de la nappe en feu

From Allen A. A., Jaeger, D., Mabile, N. J. and Costanzo, D. 2011. "The Use of Controlled Burning during the Gulf of Mexico Deepwater Horizon MC-252 Oil Spill Response". IN *Proceedings of the 2011 International Oil Spill Conference*. Portland USA, vol. 2011, n° 1, pp. 194.

Specific Equipment and Staff required for ISB

- Fireboom:
 - Control the slicks during burning (thickness, drifting, spreading)
 - Control the fire



Hydrofireboom



Pyroboom



American 3M

- Ignition devices: gelled light refined oil (gasoline, diesel)

From helicopter

From boat



Helitorch



Hand held igniter



www.elastec.com

www.cedre.fr
contact@cedre.fr

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



1700 igniteurs utilisés pendant DWH

Avantages

- moins d'équipement que la récupération mécanique
- Moins de déchets à stocker et traiter
- Moins de contamination de l'eau que par dispersion
- Résidus moins toxiques car débarrassé des HAP légers
- Rapide et efficace:
 - 1 – 4,5 mm/min,
 - ≈ 80% disparaît de la surface de l'eau

Inconvénients

- Le feu lui même (risque de feu secondaire)



(Allen, 2011)

Avantages

- Moins d'équipement que la récupération mécanique

- Moins de déchets à stocker et traiter

- Moins de contamination de l'eau que par dispersion

- Résidus moins toxiques car débarrassé des HAP légers

- Rapide et efficace:

- 1 – 4,5 mm/min,
- ≈ 80% disparaît de la surface de l'eau

Inconvénients

- Le feu lui même (risque de feu secondaire)

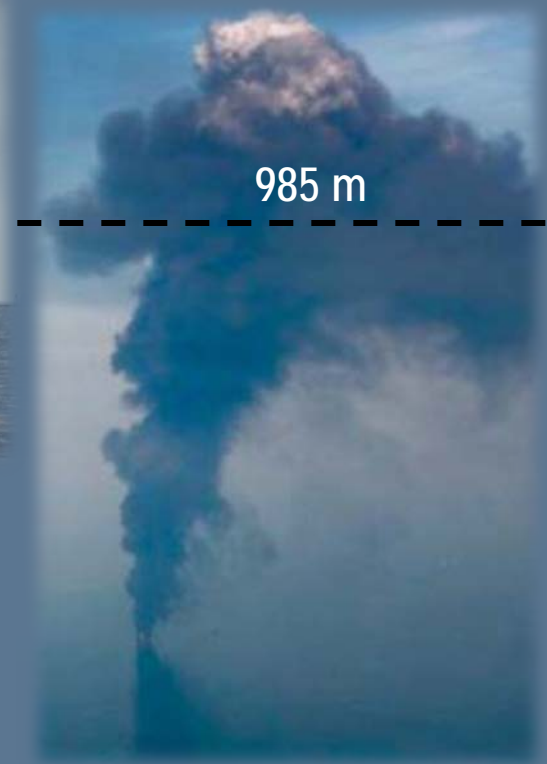
- la fumée

www.cedre.fr
contact@cedre.fr

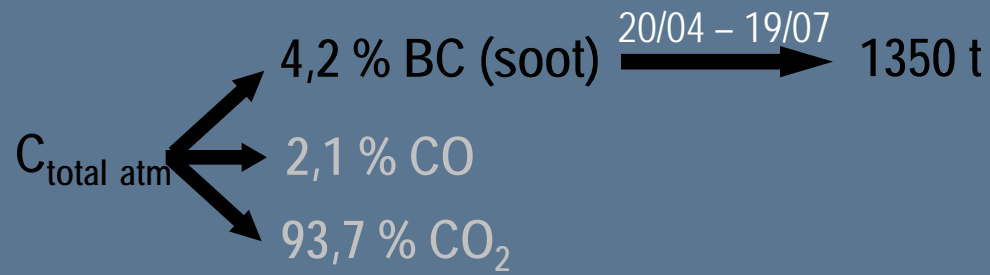


www.elastec.com

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



(Allen, 2011)



Avantages

- Moins d'équipement que la récupération mécanique
- Moins de déchets à stocker et traiter
- Moins de contamination de l'eau que par dispersion
- Rapide et efficace:
 - 1 – 4,5 mm/min,
 - ≈ 80% disparaît de la surface de l'eau

Inconvénients

- Le feu lui même (risque de feu secondaire)
- la fumée
- Pas ou peu de récupération des résidus: devenir, comportement, toxicité ?

Activités du Cedre sur l'ISB

- 2011-2012: état de l'art sur l'ISB (pour le MEDDE et Total)
 - Résumé des développements entre 1990 to 2010
 - Retour d'expérience sur DWH
- Participation à des essais de terrain d'un produit améliorant l'ISB (Ecopomex)



Cedre activities on ISB

- 2011-2012: State of the art on ISB (for MEDDE and Total)
 - summary of development between 1990 to 2010
 - DWH feedbacks
- **2013 - 2015:**
 - ➔ *Préparation d'un document d'information sur l'impact des fumées et résidus de brûlage (for OGP IPIECA JIP5-WP2)*

The logo for INERIS, featuring the word "INERIS" in white capital letters on a dark blue rectangular background.

INERIS



Cedre activities on ISB

- 2011-2012: State of the art on ISB (for MEDDE and Total)
 - summary of development between 1990 to 2010
 - DWH feedbacks
- **2013:**
 - *Preparation of an information document on Combustion plumes and Residues from ISB (for OGP IPIECA JIP)*
 - **Developpement d'un outil experimental:**

Le Banc de Brûlage



Le Banc de Brûlage

Objectif: selon la nature de l'hydrocarbure et de son degré de vieillissement (avec des échantillons provenant d'expérimentation en polludrome)

Intérêt de l'ISB?

- Inflammabilité des l'HC
- Efficacité de l'ISB (quantification du résidu)

Impact potentiel?

- Caractérisation et comportement des résidus (viscosité, densité, PAHs, SARA, toxicité)
- Contamination de la colonne d'eau par HAP
- Caractérisation du panache de fumée (PM10, PM 2.5, PAHs)

Le Banc de Brûlage

Hotte d'aspiration (avec effet cyclone pour la récupération des suies)

Hotte de forgeron

Enregistreur de température (-1, 4, 8 and 12 cm)

Enceinte vitrée



La cellule de brûlage



Sondes de température

Anneau de confinement

Eau de mer (5L)

Agitateur magnétique @ vitesse minimale



Nécessaire pour simuler un mouvement d'eau sous la nappe d'hydrocarbure comme cela est réalisé en conditions réelles par le remorquage continu des nappes enflammées.

Nécessaire pour éviter le phénomène de "boilover" ou "phase vigoureuse" à la fin du brûlage caractérisé par une explosion violente et projection des hydrocarbures enflammés.

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr



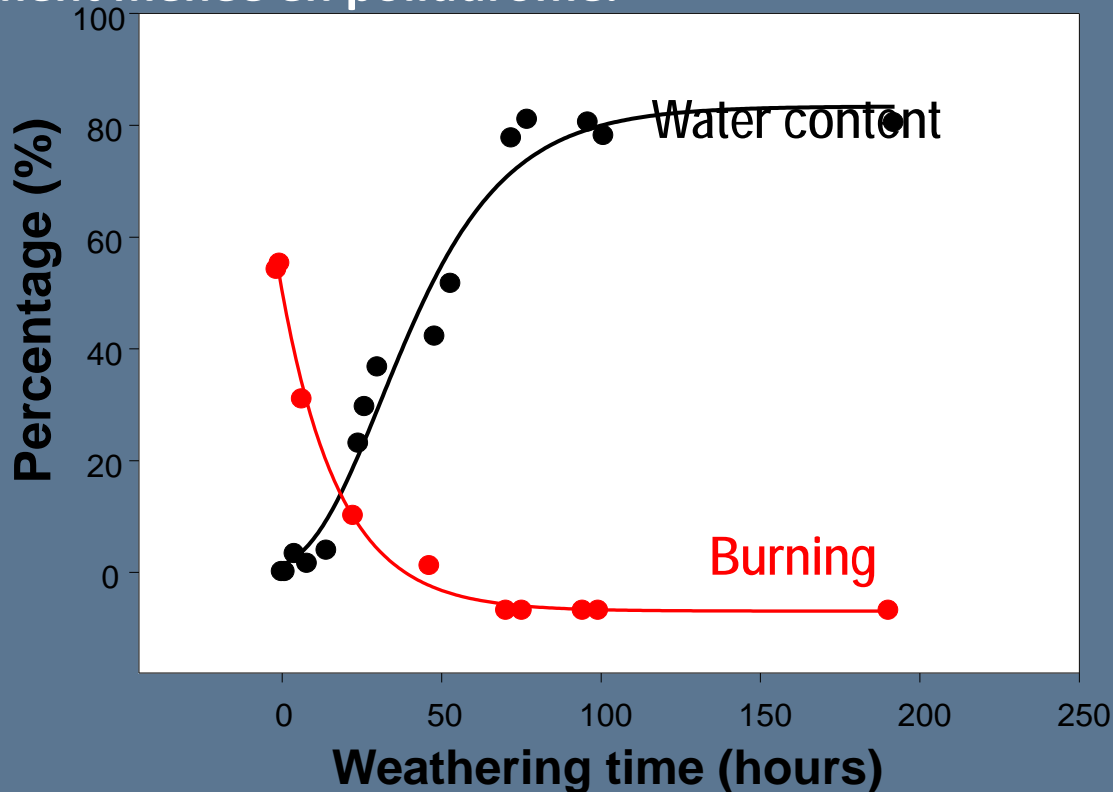
www.cedre.fr
contact@cedre.fr



Exemple de resultats

Influence du vieillissement du pétrole

Tests réalisés sur des échantillons de pétrole léger pendant un étude de vieillissement menée en polludrome.



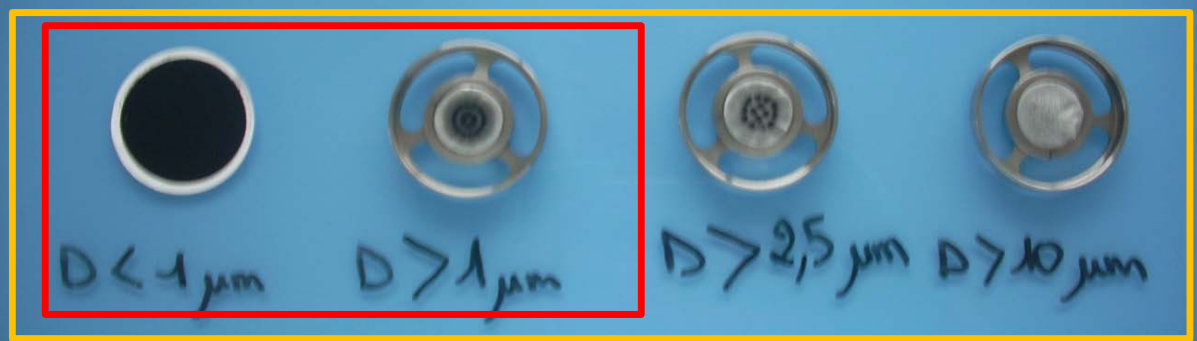
Pendant les 48 premières heures, l'efficacité de brûlage baissent avec le temps de vieillissement.

Après 48 heures de vieillissement, il est impossible d'initier le brûlage en raison de l'évaporation des fractions les plus légères et de l'emulsification à plus de 50% du produit.

Exemple de resultats

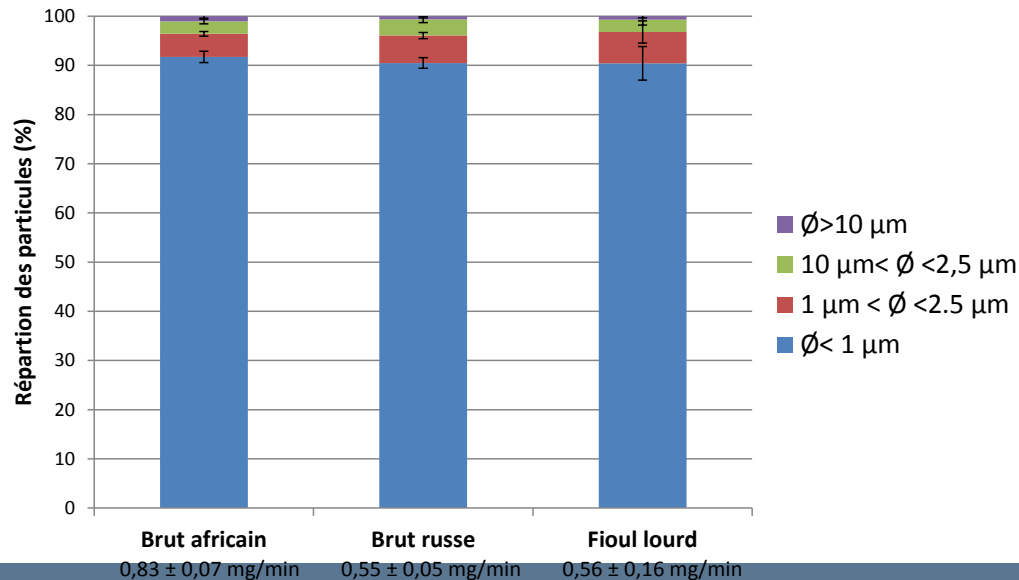
Caractérisation des suies

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



PM 2.5

PM 10



Cedre activities on ISB

- 2011-2012: State of the art on ISB (for MEDDE and Total)
 - summary of development between 1990 to 2010
 - DWH feedbacks
- 2013:
 - Preparation of an information document on Combustion plumes and Residues from ISB (for OGP IPIECA JIP) (Task 1)
 - Development of a tool dedicated to ISB:
The Burning Bench
- 2014
 - projet OGP IPIECA
 - *BB* development
 - ISB experimentation at pilot scale to validate *BB* results

www.cedre.fr
contact@cedre.fr

Cedre activities on ISB

- 2011-2012: State of the art on ISB (for MEDDE and Total)
 - summary of development between 1990 to 2010
 - DWH feedbacks
- 2013:
 - Preparation of an information document on Combustion plumes and Residues from ISB (for OGP IPIECA JIP) (Task 1)
 - Development of a tool dedicated to ISB:
The Burning Bench
- 2014
 - OGP IPIECA project
 - *BB* development (soot characterization)
 - **ISB experimentation at pilot scale to validate *BB* results**

www.cedre.fr
contact@cedre.fr

Expérimentation à échelle pilote

29/09 – 4 /10 – Verneuil en halatte - France

Installation de l'INERIS



Galerie incendie
(50 x 4 m)

Installation de
récupération
des suies et
gaz.

www.cedre.fr
contact@cedre.fr

Expérimentation à échelle pilote

29/09 – 4 /10 – Verneuil en halatte - France

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



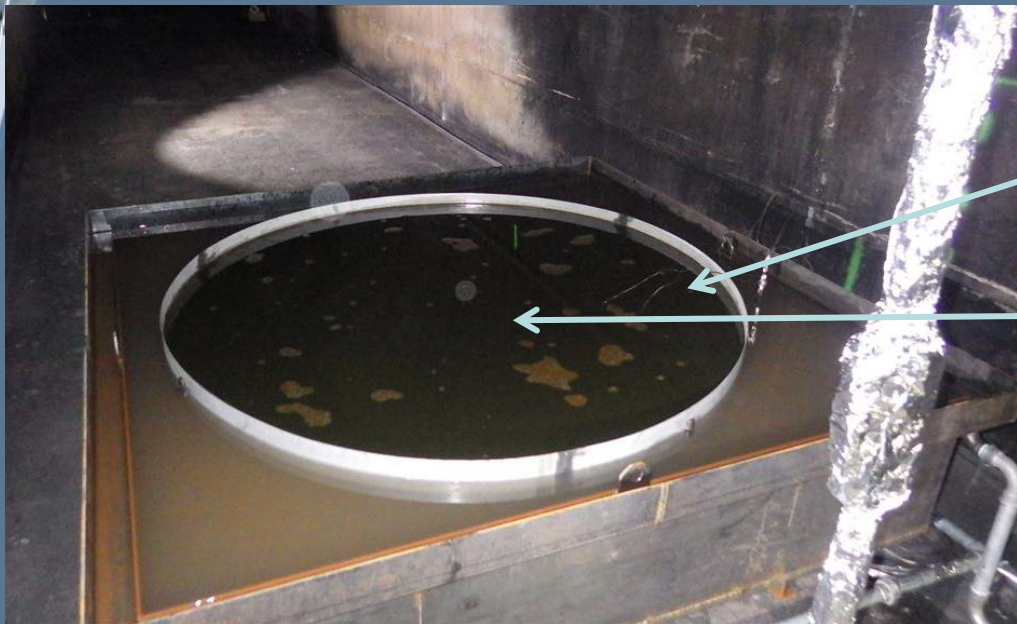
Camera (3+ 1 thermal)

Cuve (2 x 2 x 04 m)
avec eau
salée(circulation)

Expérimentation à échelle pilote

29/09 – 4 /10 – Verneuil en halatte - France

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



Anneau de confinement
(1,60 x 0,1 m)

HC (20L = 10 mm thick)



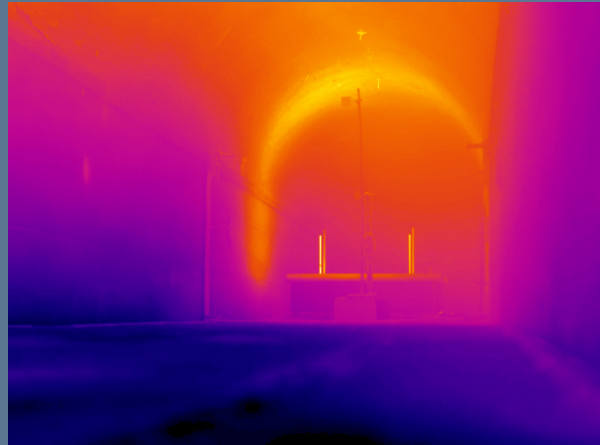
Expérimentation à échelle pilote

29/09 – 4 /10 – Verneuil en halatte - France



Environ minutes de brûlage pour 20 L d'hydrocarbures

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



Expérimentation à échelle pilote

29/09 – 4 /10 – Verneuil en halatte - France

Récupération des résidus et caractérisation



$2 / 3L = 85 \% \text{ burn}$



Quantification

Densité

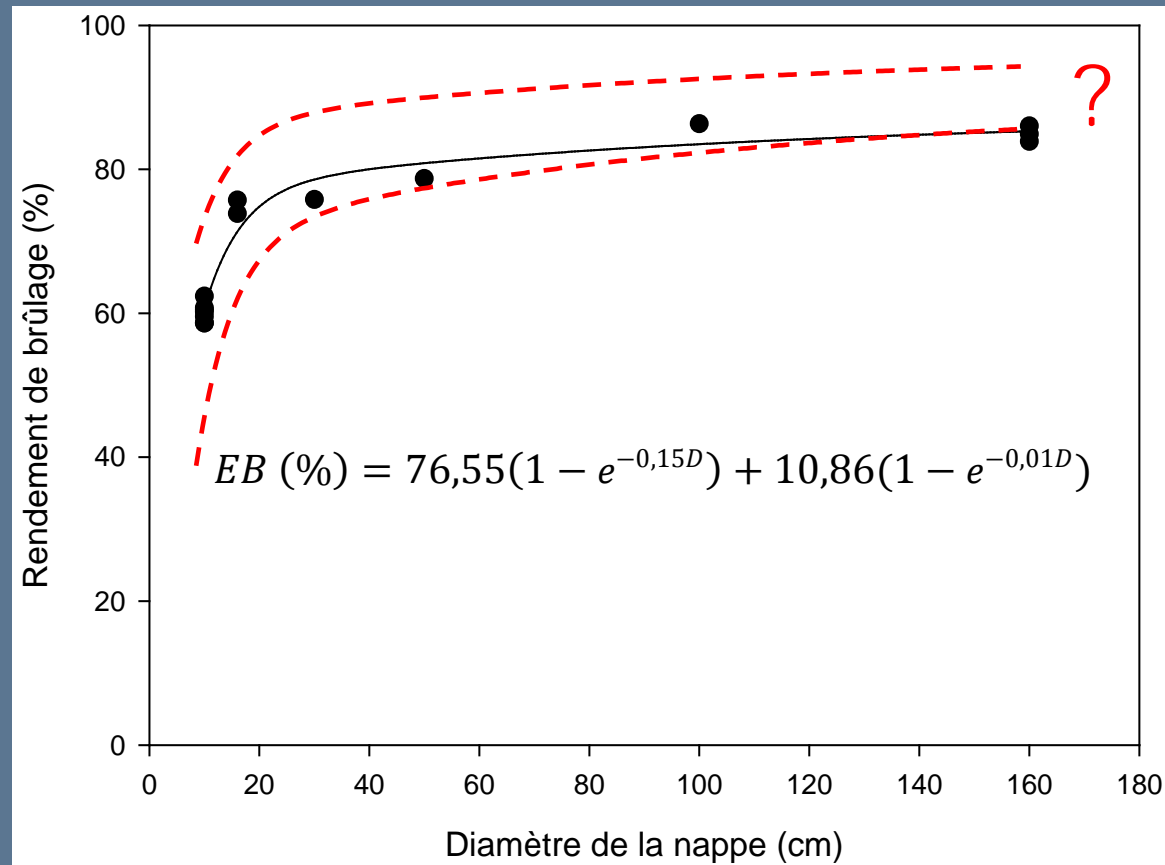
Viscosité

Alcanes, PAHs distribution

Echantillon d'eau (SBSE)



Comparaison des rendements entre BB essai pilote



- Rendement de brûlage augmente avec la taille de nappe
- Influence de la nature de l'hydrocarbure sur les paramètres de l'équation ?

Cedre activities on ISB

- 2011-2012: State of the art on ISB (for MEDDE and Total)
 - summary of development between 1990 to 2010
 - DWH feedbacks
- 2013:
 - Preparation of an information document on Combustion plumes and Residues from ISB (for OGP IPIECA JIP) (Task 1)
 - Development of a tool dedicated to ISB:
The Burning Bench
- 2015
 - OGP IPIECA project completion
 - report on BB development
 - “artic project”: analyses of burned residues after few months in ice condition

www.cedre.fr
contact@cedre.fr



www.cedre.fr
contact@cedre.fr

Thank you for your attention

Merci de votre attention