HAL
open science

Fabrication et découpe laser de simulants des débris de corium de l'accident de Fukushima Dai-ichi

C. Journeau, J. Monerris, L. Brissonneau, C. Chagnot, E. Excoffier, V. Testud, D. Roulet

To cite this version:

C. Journeau, J. Monerris, L. Brissonneau, C. Chagnot, E. Excoffier, et al.. Fabrication et découpe laser de simulants des débris de corium de l'accident de Fukushima Dai-ichi. Journée SFT Matériaux et Fluides à Hautes Températures, Sep 2016, Paris, France. cea-02438356

HAL Id: cea-02438356

https://cea.hal.science/cea-02438356

Submitted on 14 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

FABRICATION ET DÉCOUPE LASER DE SIMULANTS DES DÉBRIS DE CORIUM DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA DAI-ICHI

C. JOURNEAU, J. MONERRIS, **L. BRISSONNEAU** CEA, DEN, CADARACHE, SMTA

C. CHAGNOT, CEA, DEN, SACLAY, SEMT,

E. EXCOFFIER, V. TESTUD, CEA, DEN, MARCOULE, SGCS

D. ROULET, ONET TECHNOLOGIES, PIERRELATTE

Journée SFT Matériaux et Fluides à Hautes Températures | Christophe Journeau et al

20 SEPTEMBRE 2016

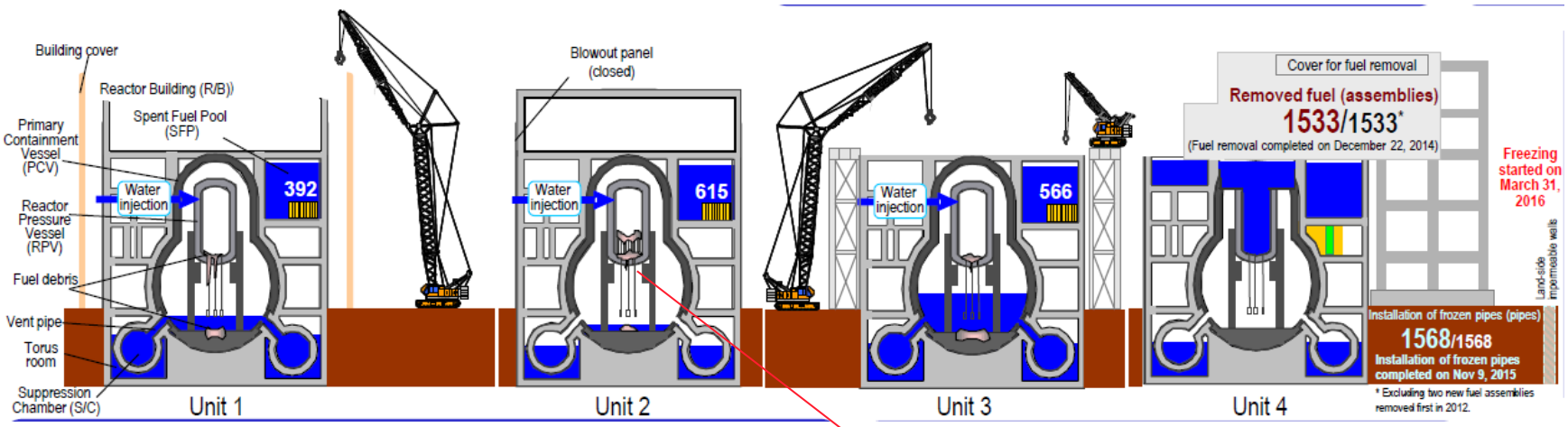
SOMMAIRE

1. Contexte: Démantèlement de l'accident de Fukushima Daiichi

2. Fabrication d'échantillons simulants les débris de combustible fondu (corium)

3. Découpe Laser

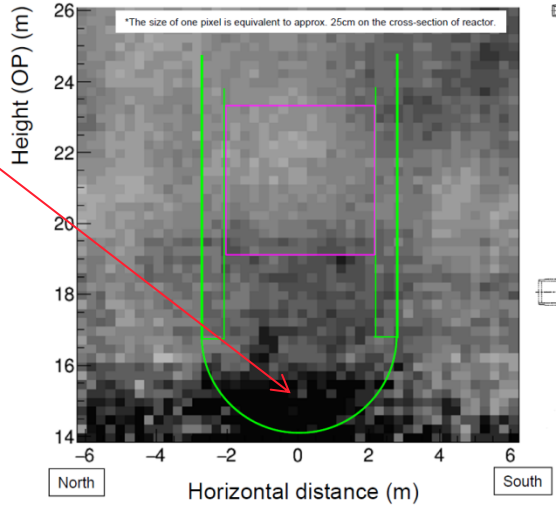
ETAT SUPPOSE DES RÉACTEURS DE FUKUSHIMA DAIICHI



NDF, Progress Status and Future Challenges of the Mid- and Long-Term Roadmap toward Decommissioning of TEPCO Holdings' Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4, 07/2016

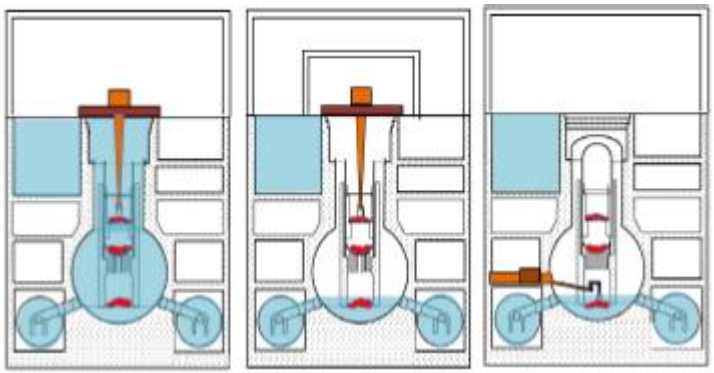
- Fusion du combustible des tranches 1, 2 et 3
- Formation d'un magma appelé *corium*
- Relocalisation vers le fond de cuve puis vers le béton de l'enceinte de confinement.
- Pas d'observations directe:
  - Résultats de calculs
  - Imagerie par transmission muons a détecté masse importante en fond de cuve tranche 2.
- Objectif: Préparer le démantèlement des réacteurs accidentés pour fin 2021.

Inter-Ministerial Council for Contaminated Water and Decommissionning Issues, Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Decommissioning Issues, 6/12/2015



TEPCO handout, Locating Fuel Debris inside the Unit 2 Reactor Using a Muon Measurement Technology at Fukushima Daiichi NPS, 28/6/2016

DÉMANTÈLEMENT DE FUKUSHIMA DAIICHI



- Objectif du gouvernement japonais:
  - Récupérer les débris des cœurs endommagés (total estimé 600-650 t)
    Télé-opération
    - Enceinte noyée, accès par le haut
    - Enceinte partiellement noyée, accès par le haut
    - Enceinte partiellement noyée, accès latéral
  - Conditionnement-stockage
  - 30-40 ans de travaux à partir de 2021
- Appels d'offres internationaux du gouvernement japonais pour mettre au point les meilleures techniques pour les différents aspects de ce défi

- Consortium COMEX Nucléaire (ONET), CEA, IRSN retenu par le METI pour étudier procédé de découpe laser du corium.
  - Pas de contact outil – débris : facilité pour télémanipulation
  - Moins de fumées/scories que les autres techniques de découpe thermique
  - Possibilité de transporter sur 100 m le faisceau laser via fibre optique
  - Expérience issue du démantèlement d'installations nucléaires en France
    - Découpe d'aciers > 50 mm d'épaisseur

DÉMARCHE MISE EN ŒUVRE

- Pré-étude
  - Mise au point de la méthode sur :
    - Echantillons simulant le corium issus d'essais du CEA antérieurs à Fukushima.
    - Zircone électrofondue : dense, point de fusion ~ $(U,Zr)O_2$
  - Estimation des aérosols pouvant être générés
  - Etudes d'intégration

- Phase 1
  - Fabrications de simulants non radioactifs des débris
  - Essais de découpe en air et sous eau
    - Etudes paramétriques avec zircone électrofondue
    - Essais avec simulants de corium
  - Préparation de mesures des aérosols/scories générés lors de la découpe

- Phase 2
  - Débute en septembre 2016

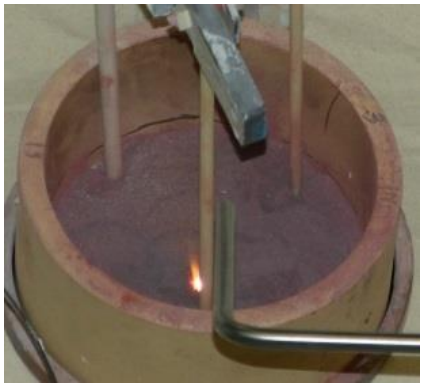
FABRICATION DE SIMULANTS DE CORIUM

DEFINITION DES SIMULANTS DE CORIUM

- Simulation de la progression de l'accident avec les outils de calcul des scénarios d'accidents graves
- Grand éventail de compositions possibles
  - 3 réacteurs accidentés = 3 scénarios différents
  - Incertitudes des calculs
  - Variabilité spatiale de la composition
- 2 situations principales différentes:
  - En cuve: principalement $(U,Zr)O_{2-x}$ et acier
  - Hors cuve: mélange avec du béton, oxydation plus importante
- Choix retenus:
  - En cuve, tranche 2 : moyenne des compositions issues du benchmark OCDE/BSAF.
  - Hors cuve: configuration la plus riche en béton issue de l'étude américaine de Robb et al.
  - Prise en compte des produits de fission (sources d'aérosols radioactifs) 10 ans après l'arrêt de la réaction de fission nucléaire.
- Simulants de corium (facilité opérations à court terme):
  - Remplacement, mole par mole, de l'uranium par le hafnium
    - Conserve approximativement températures liquidus/solidus et propriétés thermiques
    - Ne possède pas d'oxydes volatils contrairement à U
  - Remplacement du Pu par Ce
  - Suppression du Ru (poison sous forme RuO_4)

COMPOSITION DE L'ÉCHANTILLON SIMULANT UN MELANGE HORS CUVE (CORIUM-BÉTON)

- Fusion par induction sous azote (inertage = enceintes confinement)
  - Couplage initial sur billes acier inox
- ~8 kg fondu à plus de 2000°C

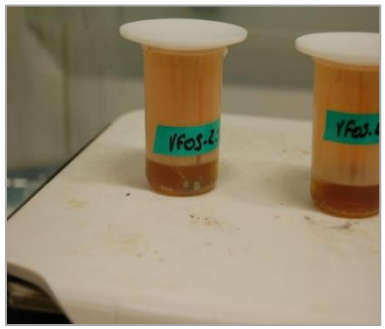


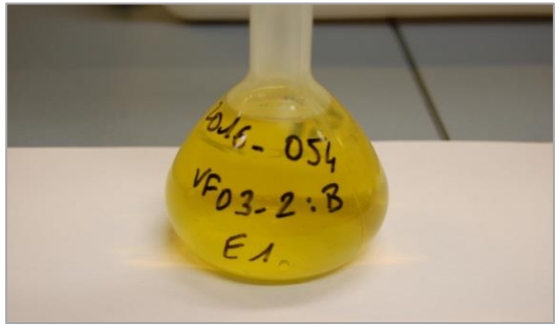
HfO_2	2037 g	Fe_2O_3	287 g
ZrO_2	1240.5 g	Nd_2O_3	8.93 g
CeO_2	18.47 g	MoO_2	8.46 g
SnO	15.85 g	Cs_2O	5.04 g
B_4C	17.37 g	Ba	3.43 g
Cr_2O_3	58.24 g	La_2O_3	2.67 g
Fe	72.09 g	PdO	2.60 g
Billes acier inox	558 g	Pr_2O_3	2.65 g
FeO	1177.5 g	Sm_2O_3	1.86 g
SiO_2	3040 g	Sr	1.56 g
Al_2O_3	758.7 g	Y_2O_3	1.11 g
CaO	617 g	TeO_2	1.20 g

EXAMENS POST FUSION

- 1,2 kg de croûtes non fondues
- bloc de corium fondu
  - Bulles solidifiées à la surface
  - Traces de bulles de volatiles
- Petite fuite en partie basse
  - Inclus 200 g de métal
- Prise d'échantillons pour analyses
  - Éclaboussures oxyde et périphérie du bloc oxyde
  - Partie du bloc métallique
  - Aérosols sur filtres
  - Contrainte: ne pas découper le simulant avant la fin des essais laser

ECHANTILLON PHASE MÉTALLIQUE HORS CUVE

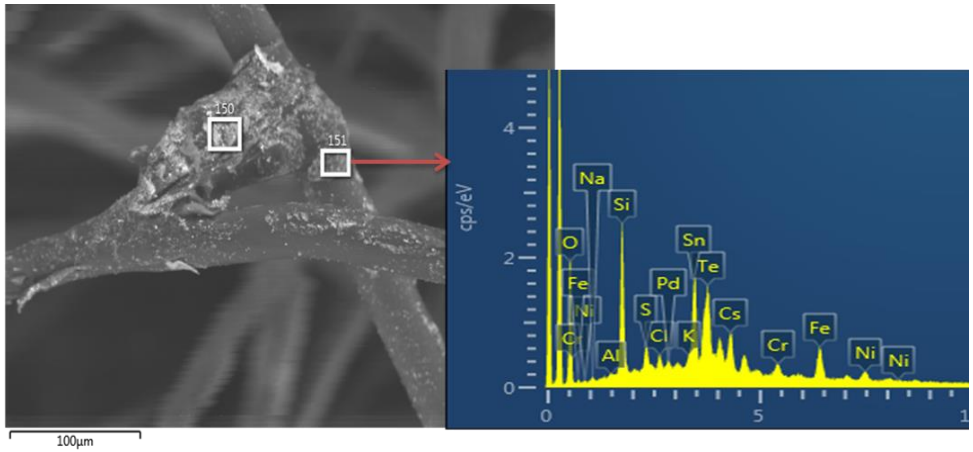


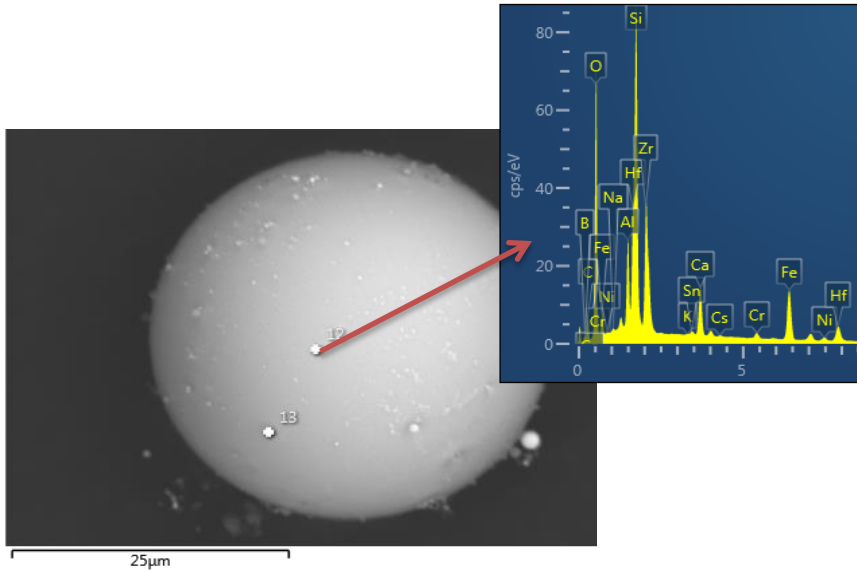


Dissolution dans mélange HNO_3-HF
Analyses chimiques par ICP-AES et ICP-MS
Al, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Hf < 0,002 wt.%

Masse sous-échantillon (mg)	**Fe** wt.%	**Ni** wt.%	**Cr** wt.%	***Mo*** wt.%	***Pd*** wt.%	**Sn** wt.%	***Te*** wt.%	**Si** wt.%	**B** wt.%	**Ca** wt.%
466.2	80.62	13.69	0.72	0.37	0.74	0.23	0.0141	< 0.06	< 0.06	< 0.06
812.2	80.38	13.90	0.76	0.37	0.70	0.23	0.0189	< 0.06	< 0.06	< 0.06
386.5	83.05	13.90	0.77	0.36	0.75	0.17	0.0168	< 0.06	< 0.06	< 0.06

ANALYSE DES AÉROSOLS



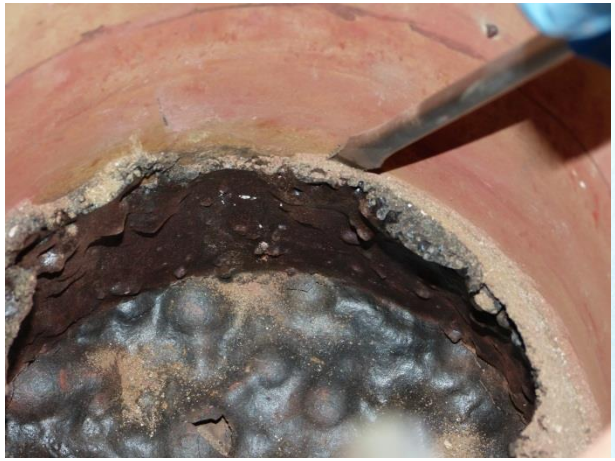


Constituants principaux:

Si, Sn, *Te, Cs*, Cr, Fe, Ni et O

Gouttes principalement HfO_2, ZrO_2, SiO_2 (i.e. bain fondu)

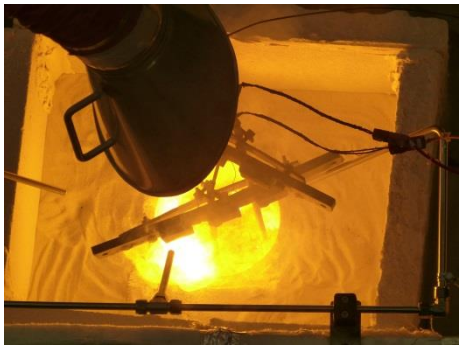
ECHANTILLON DE CORIUM OXYDE HORS CUVE



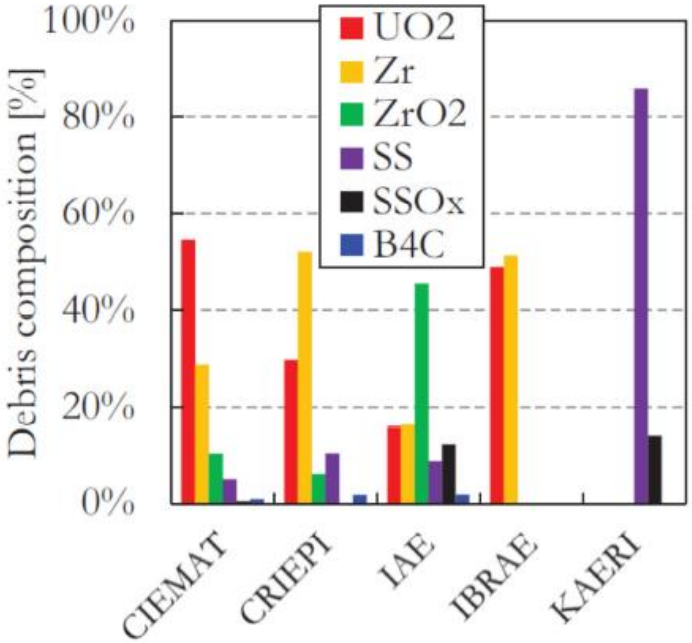
- Procédure complexe nécessaire pour la mise en solution de ces oxydes
- Importantes variations locales de composition
  - Le vrai corium sera hétérogène
  - Nécessaire de prévoir des analyses au plus près des surfaces de découpe.
- Composition estimée des phases oxydes:

  24% O, 21% Hf, 17% Si, 14% Fe, 11% Zr, 5% Ca, 2% Cr, 0.2% Ce, 0.2% B, 0.09% Nd, 0.04% Sn, 0.03% Ni, 0.03% Cs, 0.02% La, 0.02% Pr, 0.02% Sm, 0.02% Sr, 0.01% Y, 0.01% Mo, 0.01% Pd, 0.002% Te
  - Reste suffisamment de volatils pour prélèvements lors de futures découpes.

FABRICATION D'UN SIMULANT DE CORIUM EN CUVE



- Composition en cuve, moyenne de calculs fond de cuve 1F2
  - Zr oxydée uniquement à 24%
  - Point de fusion > 2400°C
- Fusion par induction dans un creuset en zircone stabilisée Mg
  - Couplage initial sur Zr et billes acier (placés près axe creuset)
- Bloc de ~10 kg transféré au CEA Saclay pour découpe laser



M. Pellegrini et al., Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPS Best Estimate Case Comparison, NURETH 16, Chicago, IL, 2015.

DECOUPE LASER

PRINCIPE DE LA DÉCOUPE LASER

2 mécanismes

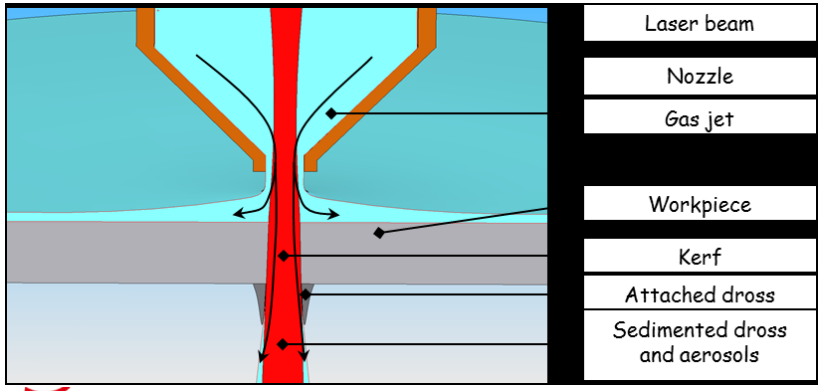
- Chaleur du laser (100 à 1000 kW/cm²) ⇒ fusion du matériau
- Pression de l'écoulement gazeux ⇒ éjection du matériau fondu

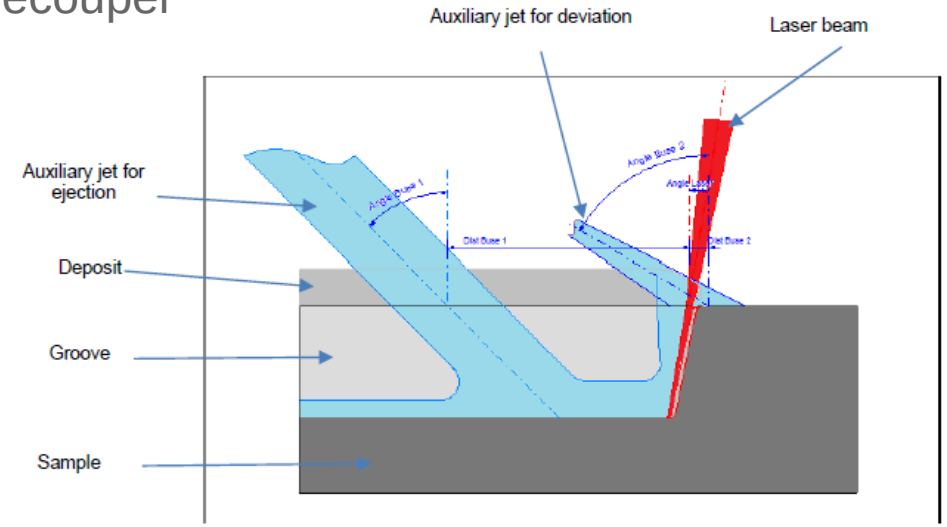
Configurations

- Découpe traversante (< 5-10 cm)
- Découpe non traversante

Principaux paramètres influant sur la découpe laser

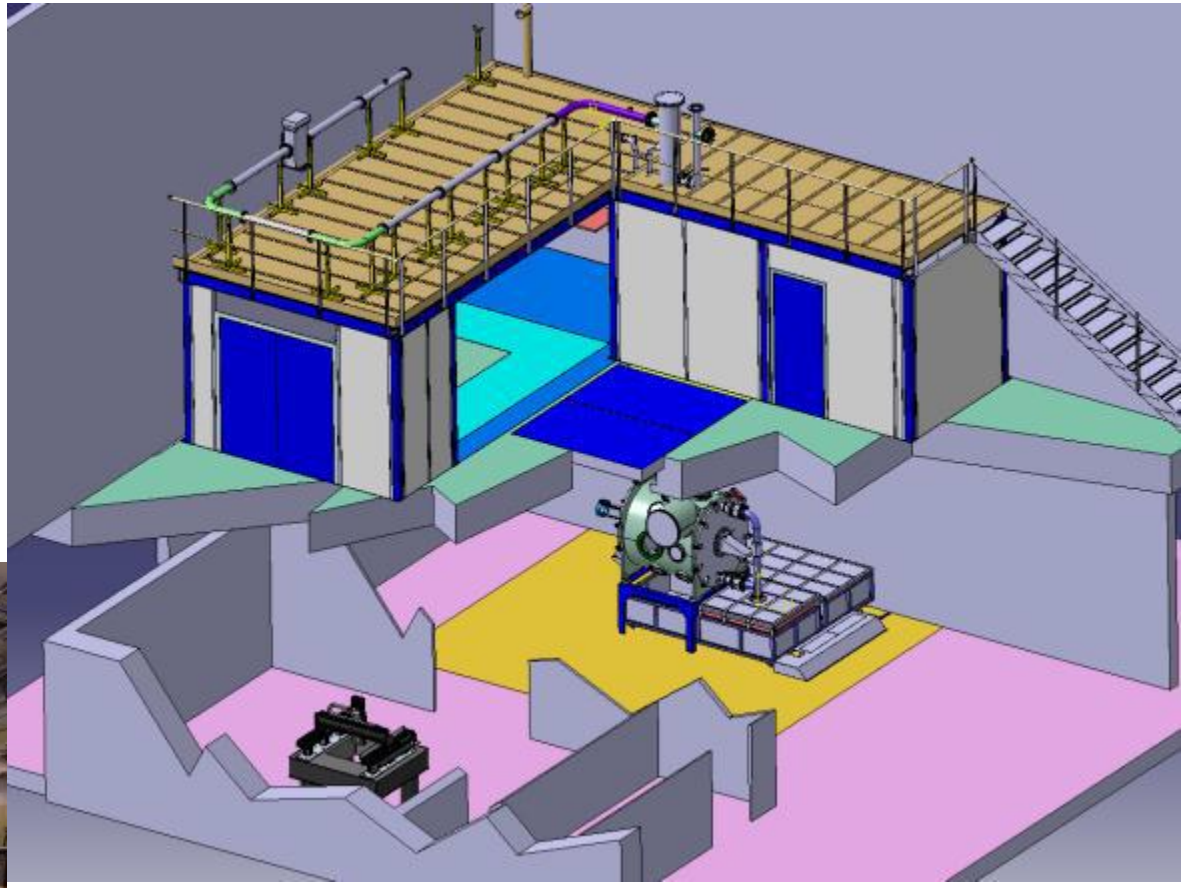
- Flux de chaleur généré par le laser de puissance
- Taille du spot laser sur la pièce à découper
- Vitesse de découpe
- Caractéristiques du jet de gaz

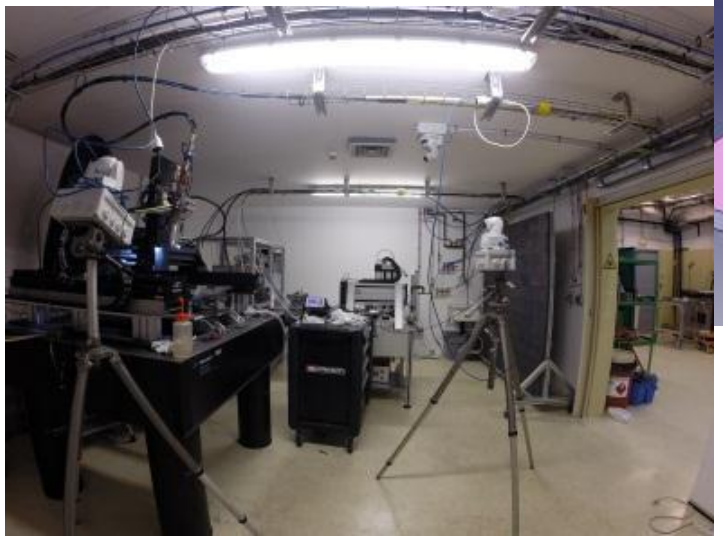




DISPOSITIF D'ESSAI CELENA

- Laser CW YAG
- Fibre optique
- Dispositif robotisé de positionnement
- Tête laser
  - dw = +/- 2mm
  - F2 > 200





DECOUPE DU SIMULANT DE CORIUM HORS CUVE

40 mm découpe à 15 cm/minutes – A optimiser

VIDEO DE LA DECOUPE DU SIMULANT DE CORIUM EN CUVE

40 mm découpe
à 15 cm/minutes

CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

- La découpe laser est une technique bien adaptée pour le démantèlement des débris de corium des réacteurs accidents de Fukushima Daiichi.
- Des échantillons simulant des coriums attendus à Fukushima ont été réalisés par fusion à haute température.
- Résultats satisfaisants de la découpe laser de ces échantillons.

Perspectives

- Poursuite des essais de découpe en air et sous eau
- Mesure des aérosols lors de futures découpes laser
- Fabrication et découpe de blocs de corium prototypique (avec oxyde d'uranium appauvri) pour améliorer la représentativité, en particulier vis-à-vis des relâchements de volatils.

- Objectif final : Industrialisation pour application sur site

Merci de votre attention

Ces travaux ont été financés par le Ministère japonais de l'Economie, du Commerce et de l'Industrie (METI) par l'intermédiaire de la Nuclear Safety Research Association (NSRA).

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Cadarache | DTN/SMTA/LPMA bt708
13108 Saint-Paul lez Durance
T. +33 (0)4.42.25.41,21 | F. +33 (0)4.42.25.77,88
Etablissement public à caractère industriel et commercial |
RCS Paris B 775 685 019

Direction de l'énergie nucléaire
Département de Technologie Nucléaire
Service de Modélisation, mesure,
Transferts et Accidents graves
Laboratoire de Physique et
Modélisation des Accidents graves