

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) features the lowercase letters 'cea' in a white, rounded, sans-serif font. A horizontal green line is positioned below the letters.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

SEMINAIRE D'ENTREPRISE CEA/ENSE3: PRESENTATION DES ACTIVITES DU CEA, DE LA DEN ET DU LEAG

Frédérique PAYOT,
*CEA, DEN, Cadarache,
DTN, SMTA, LEAG
St Paul lez Durance, France*

- Le CEA, de la recherche à l'industrie
 - Historique, statut et gouvernance
 - Les missions du CEA
 - Le CEA en quelques chiffres
- La Direction de l'Energie Nucléaire (DEN)
 - Les missions de la DEN
 - Support à l'industriel
 - Expériences, simulation, démantèlement
 - La DEN en quelques chiffres
- Le laboratoire LEAG
 - Historique et phénoménologie AG
 - Les missions du LEAG
 - Les installations du LEAG (VULCANO, MERELAVA, KROTOS, VITI)
 - Le LEAG en quelques chiffres

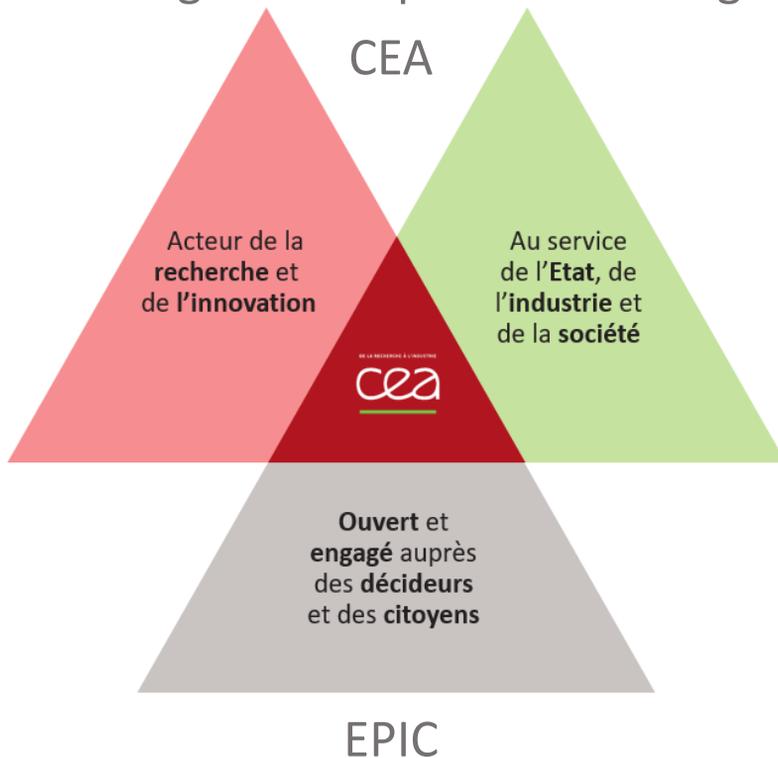
Texte fondateur: ordonnance du 18 Octobre 1945

CE QUE DIT L'ORDONNANCE DU 18 OCTOBRE 1945

Le texte définit clairement le rôle du CEA, qui doit poursuivre « les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. Il étudie les mesures propres à assurer la protection des personnes et des biens contre les effets destructifs de l'énergie atomique. Il organise et contrôle (...) la prospection et l'exploitation des gisements de matières premières nécessaires. Il réalise, à l'échelle industrielle, les dispositifs générateurs d'énergie d'origine atomique. Il fournit au gouvernement toutes les informations concernant l'énergie atomique et ses applications et, notamment, l'éclaire dans la négociation des accords internationaux. Et en général, il prend toutes les mesures utiles pour mettre la France en état de bénéficier du développement de cette branche de la science ».



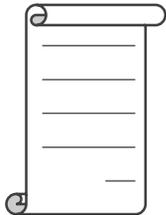
Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives



Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial

Organigramme fonctionnel

Premier Ministre



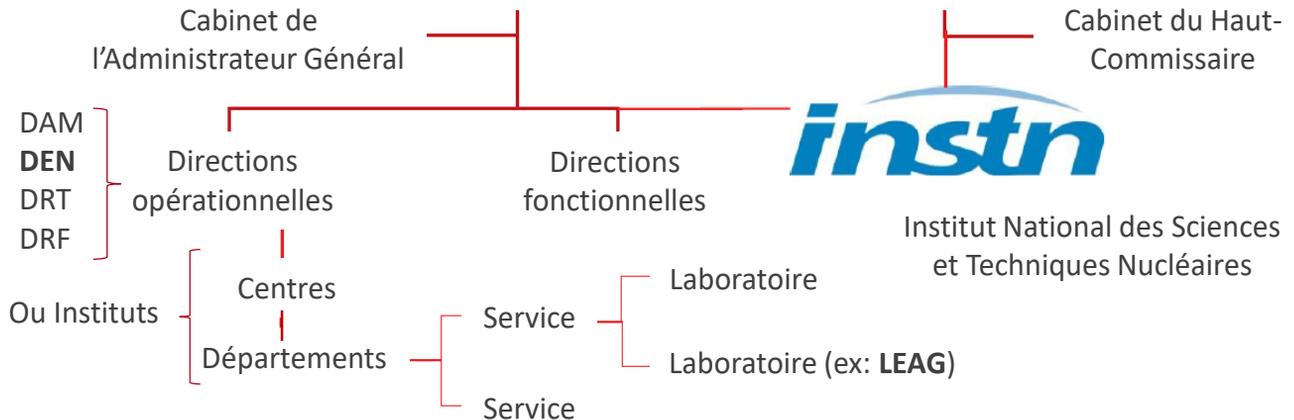
Lettre de mission



Administrateur Général
François Jacq



Haut Commissaire
Patrick Landais



Des missions stratégiques pour l'avenir



**Défense
et sécurité**
du pays



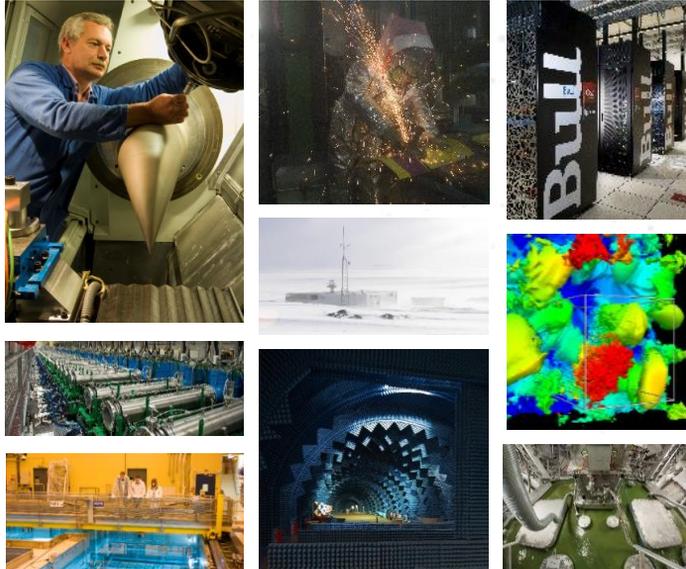
Énergies nucléaire
et renouvelables



**Recherche
technologique**
pour l'industrie



**Recherche
fondamentale**



Les missions de **Défense**



Armes nucléaires

- ▶ Conception, développement, fabrication et maintien en condition opérationnelle des armes
- ▶ Programme Simulation de garantie de la fiabilité et de la sûreté des armes



Propulsion nucléaire

- ▶ Chaufferies embarquées (*SNLE, SNA, PACdG*)
- ▶ Moyens d'essais à terre (*RES*)



Matières

- ▶ Approvisionnement
(armes et propulsion)



Sécurité et non prolifération

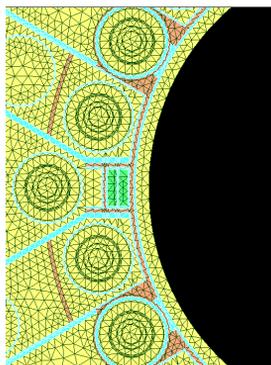
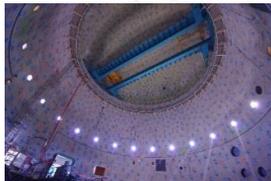
- ▶ Lutte contre la prolifération
- ▶ Lutte contre les risques et les menaces terroristes NRBC-E et cyber-sécurité



Défense conventionnelle

- ▶ Vulnérabilité des systèmes d'armes
- ▶ Maîtrise des effets des armes

Valorisation au profit de la défense et de l'industrie



La recherche sur **l'énergie** **nucléaire**

Soutenir l'industrie nucléaire

*(principaux partenaires :
EDF et ORANO)*

- ▶ Soutenir le parc des réacteurs de 2^e génération
- ▶ Maîtriser le vieillissement du parc
- ▶ Contribuer à l'émergence de nouveaux concepts de réacteurs de 3^e génération
- ▶ Optimiser et adapter les usines du cycle du combustible associées

Préparer le futur : nouvelles générations de systèmes nucléaires

- ▶ Maîtriser la fermeture du cycle par une combinaison réacteur-usine du combustible
- ▶ Etudes de conception pour de nouveaux démonstrateurs technologiques (SMR, Génération IV...)



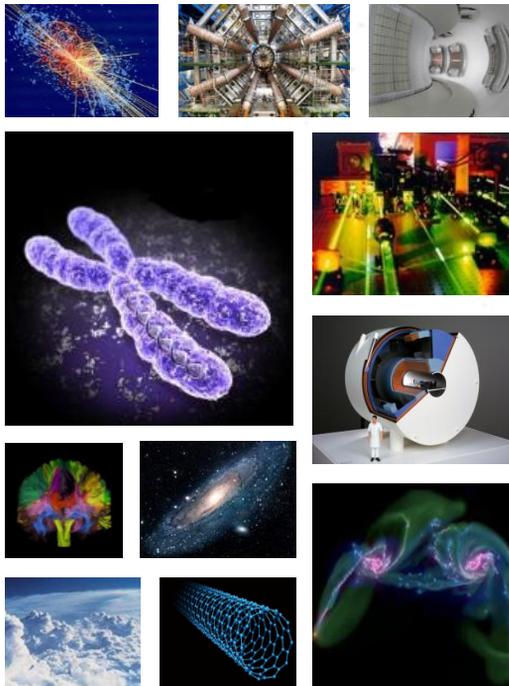
Développer la simulation en exploitant des outils expérimentaux et des codes de calcul spécifiques

- ▶ Un parc d'installations cohérent (*plateformes, labos chauds, réacteurs expérimentaux*)
Construction du RJH à Cadarache
- ▶ Des codes de calcul dans tous les grands domaines du nucléaire

Assainir et démanteler ses installations en fin de vie

- ▶ Expertise de haut niveau dans la maîtrise d'ouvrage des opérations
- ▶ Une R&D de pointe en soutien
- ▶ Marcoule : plus grand chantier de démantèlement en Europe





La recherche **fondamentale**

CONNAISSANCES

- ▶ Physique
- ▶ Chimie
- ▶ Science des matériaux
- ▶ Biologie et biotechnologies
- ▶ Santé
- ▶ Climat et environnement

SAVOIR-FAIRE

- ▶ Cryomagnétisme
- ▶ Lasers
- ▶ Nanotechnologies
- ▶ Détecteurs
- ▶ Imagerie
- ▶ Simulation numérique



« Fabrique de savoirs » : missions du CEA



La recherche **technologique**

Un accélérateur d'innovations au service de l'industrie

Un large portefeuille de **technologies** « génériques »



TIC



Technologies pour la santé



Énergies renouvelables



Systèmes numériques intelligents



Matériaux et procédés

900 partenaires industriels dans tous les domaines d'activités



Transport et mobilité



Filière agro-agri



Santé et environnement



Sécurité et défense



IoT

32 plates-formes technologiques au meilleur niveau mondial



Plate-forme nanoélectronique 300mm



Plate-forme solaire photovoltaïque



Plate-forme robotique collaborative



Plate-forme Clinatéc



Plate-forme Nano-caractérisation

Institut national des sciences et techniques nucléaires



- ▶ Formation initiale et professionnelle continue pour toutes les disciplines associées au domaine des énergies bas carbone : nucléaire et renouvelables : 29 000 heures d'enseignement par an
- ▶ Accompagnement à l'exportation des formations : 7 400 étudiants et stagiaires (*dont 30 % nationalité étrangère*)
- ▶ Partenariats avec les universités, entreprises, autorités de sûreté étrangères, réseaux de formation européens...

Premier centre collaborateur européen de l'AIEA pour l'éducation et la formation



IAEA

International Atomic Energy Agency



Répartition géographique

9 centres

Cadarache (nucléaire fission, fusion, propulsion, nouvelles technologies de l'énergie)

Cesta (architecture et garantie des têtes nucléaires, Laser Mégajoule)

DAM Île-de-France (physique des armes nucléaires, simulation numérique, lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme, Très Grand Centre de Calcul, Centre d'alerte aux tsunamis)

Gramat (vulnérabilité des systèmes d'armes et efficacité des armements)

Grenoble (nouvelles technologies pour l'énergie, la santé, l'information et la communication, nanosciences, cryogénie, biosciences et biotechnologies)

Le Ripault (matériaux non nucléaires pour la dissuasion, pile à combustible, stockage de l'hydrogène),

Marcoule (nucléaire : cycle, déchets)

Paris-Saclay (nucléaire, climat et environnement, sciences de la matière, recherche technologique, sciences du vivant et de la santé)

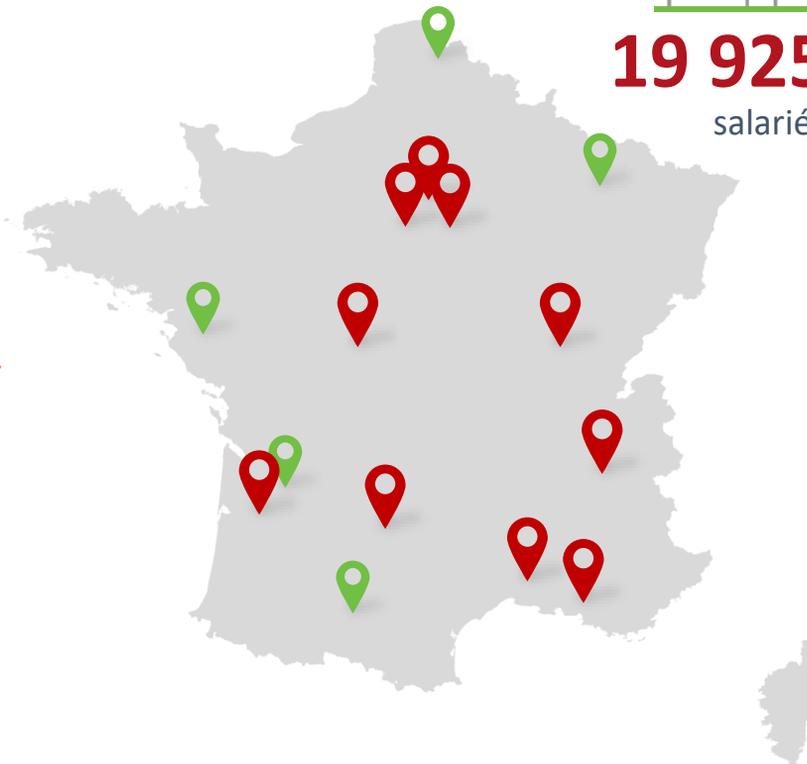
Valduc (matériaux nucléaires pour la dissuasion, installation radiographique Epure)

5 plates-formes régionales de transfert technologique

Nantes, Bordeaux, Toulouse, Metz, Lille



19 925
salariés



Dynamique universitaire

Participation aux **grands pôles** universitaires



1 351

doctorants
et post-
doctorants

Répartition des moyens



Ressources financières externes des activités civiles (réalisé 2018)



Energie nucléaire **37 %**



Technologies pour l'industrie et la communauté scientifique **75 %**



Socle de recherche fondamentale **17 %**



Autres dépenses (support, sécurité, sûreté, enseignement) **18 %**

C'est grâce au CEA qu'ils existent

La dissuasion
nucléaire française



La première thérapie génique
contre la maladie de Parkinson
et la bêta-thalassémie
(maladie héréditaire du sang)



Le parc électronucléaire français
Le retraitement des combustibles
(1^{ère} mondiale)
La vitrification des déchets nucléaires
(maîtrise du stockage)



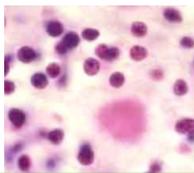
La technologie des écrans plats

Le système de déclenchement des airbags

Le contrôle des pièces automobiles,
aéronautiques et nucléaires par ultra-son



Le 1^{er} scanner français
Maladie de la vache folle :
test européen de dépistage
1^{er} test rapide de dépistage d'Ebola



Les aimants supraconducteurs et les
expériences Atlas et CMS au CERN
(pour la découverte du Boson de Higgs)

La technologie de dépollution par fluides
supercritiques *(chimie verte)*



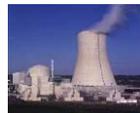
- Le CEA, de la recherche à l'industrie
 - Historique, statut et gouvernance
 - Les missions du CEA
 - Le CEA en quelques chiffres
- La Direction de l'Energie Nucléaire (DEN)
 - Les missions de la DEN
 - Support à l'industriel
 - Expériences, simulation, démantèlement
 - La DEN en quelques chiffres
- Le laboratoire LEAG
 - Historique et phénoménologie AG
 - Les missions du LEAG
 - Les installations du LEAG (VULCANO, MERELAVA, KROTOS, VITI)
 - Le LEAG en quelques chiffres

R&D Nucléaire

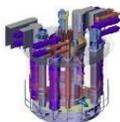
Assainissement/Démantèlement

Support à l'industriel

Préparer le futur



2ème et 3ème
génération



4ème
génération



Amont du
cycle



Recherche
fondamentale et
technologique



Aval du cycle



- Marcoule
- Cadarache
- Fontenay-aux-Roses
- Saclay

Matériaux et effluents
liquides

Exutoire (CIGEO)

Matériau nucléaire

Transport - colisage

R&D

Sources radioactives

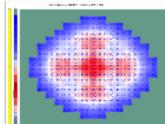
Expériences et simulations

Valorisation



Maintien
d'installations
spécifiques

Promotion
industrielle



Simulation
numérique



RJH

Fusion



Défense

TGIR (Orphée)

D'une génération à une autre

1950

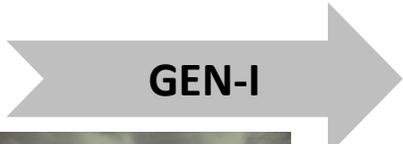
1980

2010

2040

2070

2090



GEN-I



GEN-II



GEN-III



GEN-IV

Réacteurs *EDF / Framatome / IRSN*

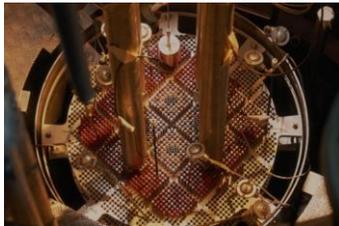
- Extension de la durée de vie
- Amélioration des performances
- Renforcement du niveau de sûreté
- Innovation pour GEN-III

Cycle du combustible *Andra / EDF / Framatome / Orano*

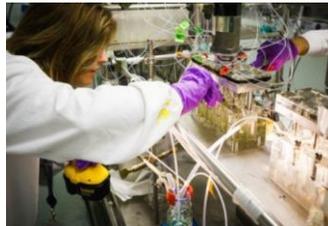
- Besoin industriel sur un marché compétitif
- Support à la filière recyclage (La Hague, Melox), aux producteurs de déchet et à l'Andra
- Préparer des nouveaux procédés haute performance
- Promouvoir un développement à l'international



Etudes sur matériau irradié à Saclay



Réacteur Eole à Cadarache pour prolongement durée de vie



Plateforme de validation du processus d'extraction de l'uranium



Vue générale du prototype de vitrification en creuset froid à Marcoule

Fermeture du cycle

- Gestion vertueuse de la ressource naturelle
- Multi-recyclage du combustible utilisé
- Réduire quantité et radiotoxicité des déchets

GEN-IV (réacteurs et cycle du combustible)

- Design du démonstrateur GEN-IV
- Veille technologique multi-filière

Démonstrateur technologique

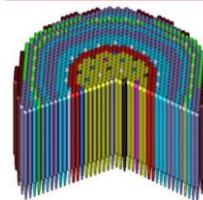
- Réacteur à neutrons rapides
- Innovations pour l'amélioration de la sûreté
- Projet en collaboration internationale (Japon)
- Capitalisation technique et scientifique (expériences, simulation, maintien et renouvellement des compétences)



Vue CAO du démonstrateur



Pompe électromagnétique



Cœur rapide

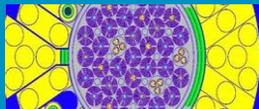
Installations expérimentales de la DEN



Combustible et étude des matériaux : LECI, LECA



Combustible et procédé de traitement : ATALANTE



Réacteur de recherche et d'irradiation : CABRI



Maquette critique : MASURCA

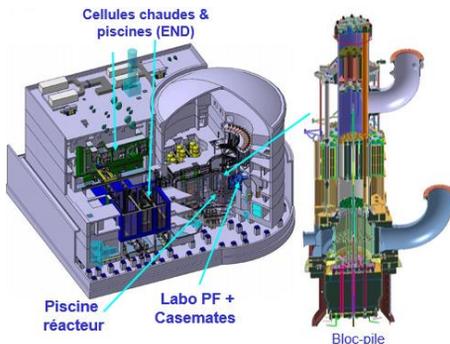


Plateformes technologiques : TAMARIS, RESEDA,
JANNUS, AMETHYST, **PLINIUS**, MISTRA, HERA

Objectifs :

- Programmes R&D du CEA pour les besoins de l'Etat et de l'industrie nucléaire (performance, sûreté, innovation)
- Pérenniser les capacités expérimentales sous irradiation (comportement des matériaux et combustible sous irradiation)
- Produire les radioéléments pour la médecine (25 à 50% des besoins européens)

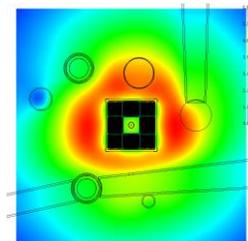
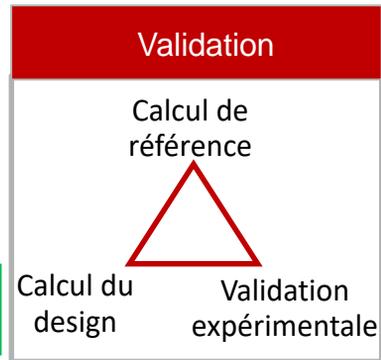
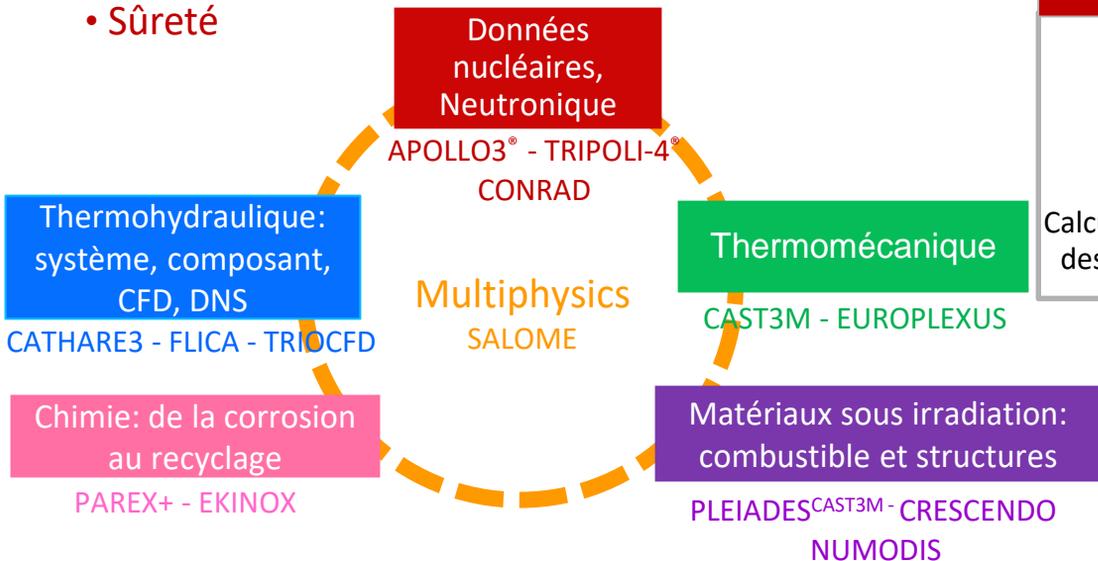
Members of the JHR Consortium	Contribution
EDF (France)	20%
EURATOM/JRC (UE)	5,15%
FRAMATOME (France)	5%
Technicatome (France)	3,5%
DAE (India)	3%
SCK•CEN (Belgium)	2%
NRI (Czech Republic)	2%
CIEMAT (Spain)	2%
VTT (Finland)	2%
Studsvik (Sweden)	2%
IAEC (Israel)	2%
NLL (United Kingdom)	2%
AREVA (France)	1,5%
CEA (France)	Balance



Site de construction, Cadarache

Simuler de manière prédictive les systèmes nucléaires

- Design / Exploitation / Durée de vie
- Sûreté



Architecture logicielle
Outils génériques
Incertitudes

SALOME, URANIE

Génie Informatique,
Calcul haute performance

Experimentation

Applied Mathematics

Les projets du démantèlement



1 hot lab, 2 reactors,
2 service units,
1 RCD project

Fontenay-
aux-Roses

2 hot labs,
1 service unit,
1 RCD project



Saclay

1 enrichment plant,
1 hot lab

Decommissioned:
1 hot lab, 3 reactors, 1
service unit
In decommissioning :
1 service unit



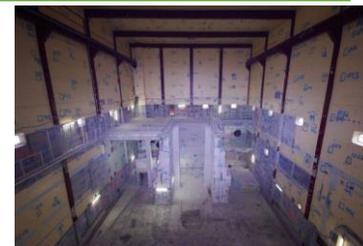
Pierrelatte

Grenoble

1 pilot workshop, 1 hot lab,
6 reactors, 1 reprocessing plant,
3 RCD projects, 2 service units

Marcoule

Cadarache



2 hot labs, 3 reactors, 2 service
units,
2 storage facilities, 1 RCD project,
3 critical mock-ups





4 186*
salariés

2 798 hommes et 1388 femmes



301*
PhD

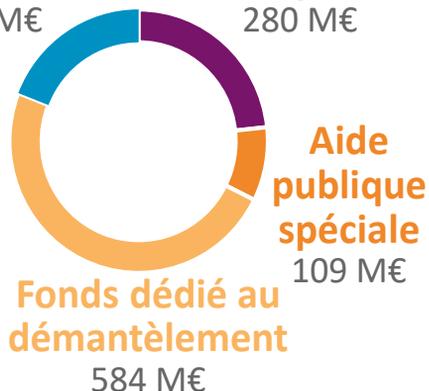
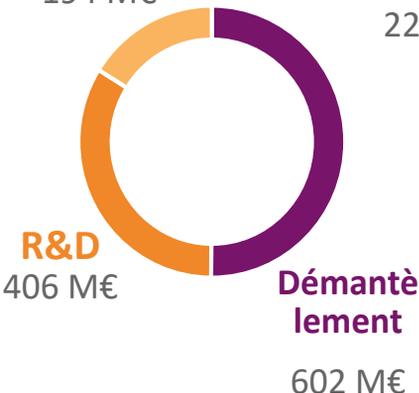
25*
post-doc

Budget 2018: 1 202 M€

Support
194 M€

**Financement
externe**
229 M€

Fonds publics
280 M€



485
publications



43
Brevets déposés

- Le CEA, de la recherche à l'industrie
 - Historique, statut et gouvernance
 - Les missions du CEA
 - Le CEA en quelques chiffres
- La Direction de l'Energie Nucléaire (DEN)
 - Les missions de la DEN
 - Support à l'industriel
 - Expériences, simulation, démantèlement
 - La DEN en quelques chiffres
- Le laboratoire LEAG
 - Historique et phénoménologie AG
 - Les missions du LEAG
 - Les installations du LEAG (VULCANO, MERELAVA, KROTOS, VITI)
 - Le LEAG en quelques chiffres

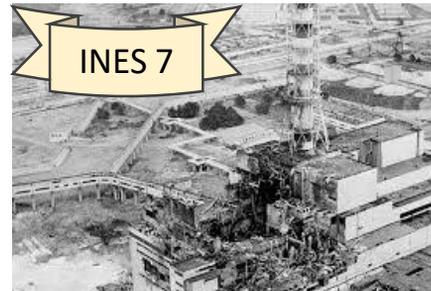
Transitoire de puissance par insertion de réactivité



Essais BORAX (années 50)

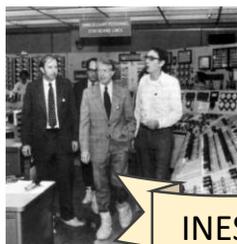


SL-1 (1961)
400kW → pic de 20GW

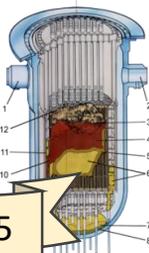


Tchernobyl (1986)
Réacteur 4 (RBMK)

Perte de refroidissement



INES 5



Three Mile Island (1979)
TMI-2 (PWR)



Saint-Laurent-des-Eaux (1969
et 1980)
Réacteurs 1 et 2 (UNGG)



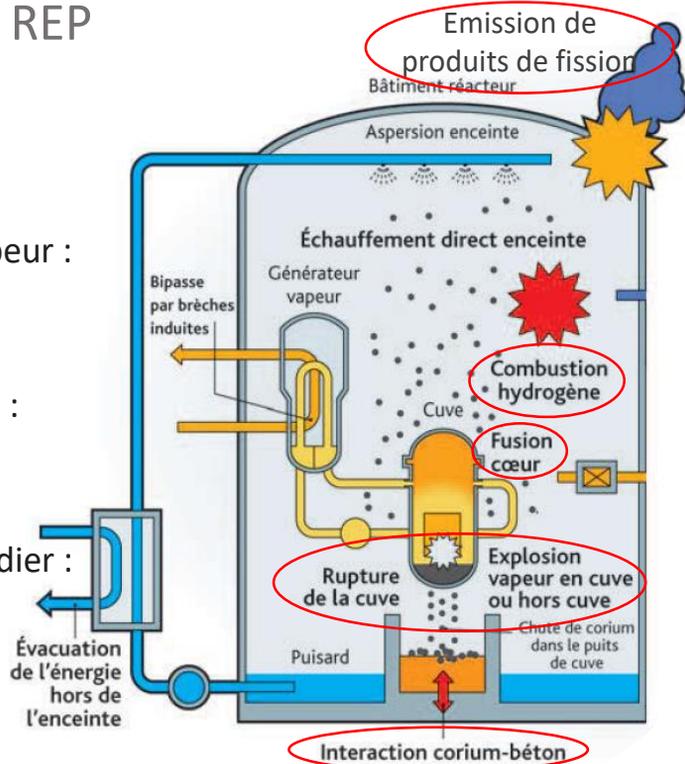
Fukushima Daiichi (2011)
Réacteurs 1, 2 et 3 (BWR)

Phénoménologie de l'AG pour les REP

- Perte réfrigérant → cœur fondu (corium) :
1^{ère} barrière (gaine)
- Interaction corium-eau (ICE) → explosion vapeur :
2^{ème} barrière (cuve)
- Explosion hydrogène → surpression enceinte :
3^{ème} barrière (enceinte)
- Interaction corium-béton (ICB) → ablation radier :
3^{ème} barrière (enceinte)

➔ Dispersion radioactive.

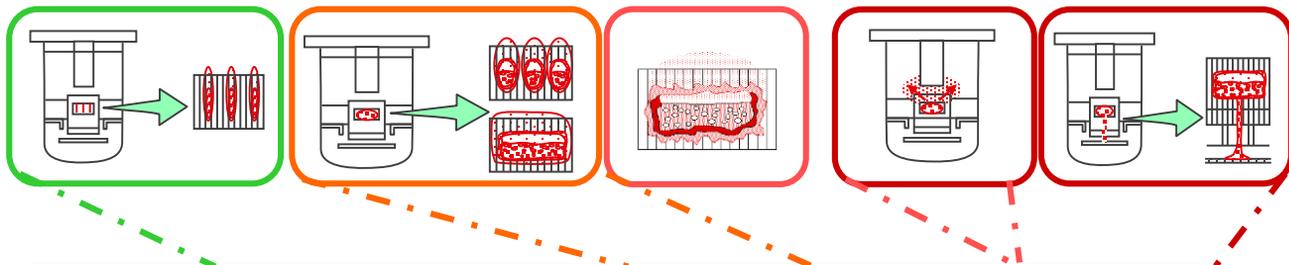
LEAG = Laboratoire d'Etudes et d'Expérimentations pour les Accidents Graves.



Phénomènes physiques & réacteur en accident grave

Accident Phases

- **Primary Phase**
 - From initiating event to Hexagonal Tube Failure
- **Transition Phase:**
 - From Hexagonal Tube Failure to formation of a unique corium pool
- **Secondary Phase :**
 - From corium pool formation to stabilized sub-critical state of the core region
- **Expansion Phase**
 - Violent expansion of a vapor bubble
- **Post-Accident Phase :**
 - Long Term cooling of core materials

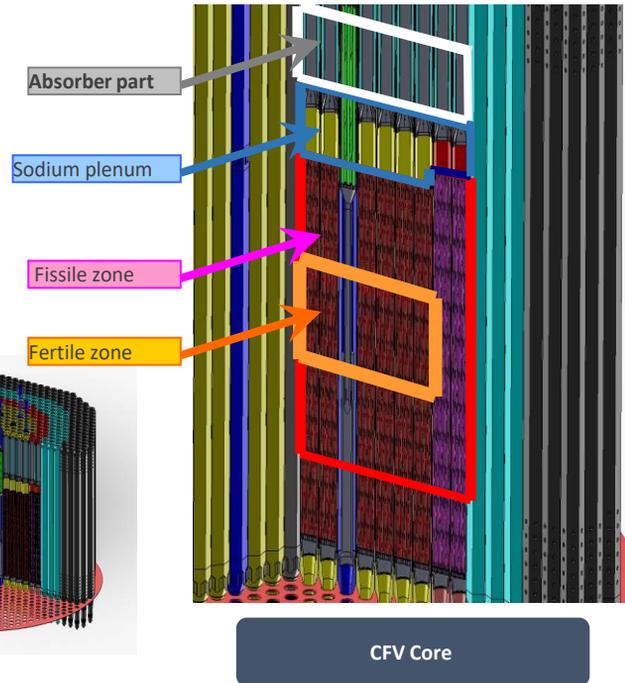
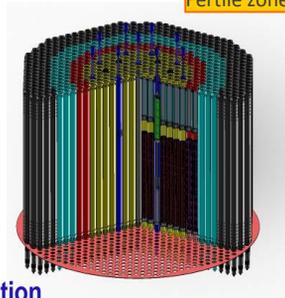


THE INNOVATIVE ASTRID CORE 'CFV' A Core with Low Na Void Worth The CFV CORE OBJECTIVES

- Favorable Inherent Behavior for Unprotected Loss of Flow and Loss of Heat Sink situations
- Na Void Worth < 0 (Mitigation)
- Favorable Inherent Behavior for complete control rod withdraw
- Improved Performances
Cycle Length, BU, breeding gain ≈ 0
- Complementary Safety Devices
- Extrapolability to higher power

■ CFV Characteristics (CEA-EDF-AREVA Patent)

- 2 enrichment zones
- Heterogeneous fuel pins
- 'Diabolo' core
- Complementary Safety Devices for SA prevention
 - Hydraulic actuated systems: (DCS-P)-H
 - Heat-actuated system based on Curie point electromagnet (DCS-P)-RBD-Curie



CFV Core

COMPLEMENTARY SAFETY DEVICES for MITIGATION (DCS-M)

Objectives: Second barrier integrity

Minimization of Mechanical Energy Releases

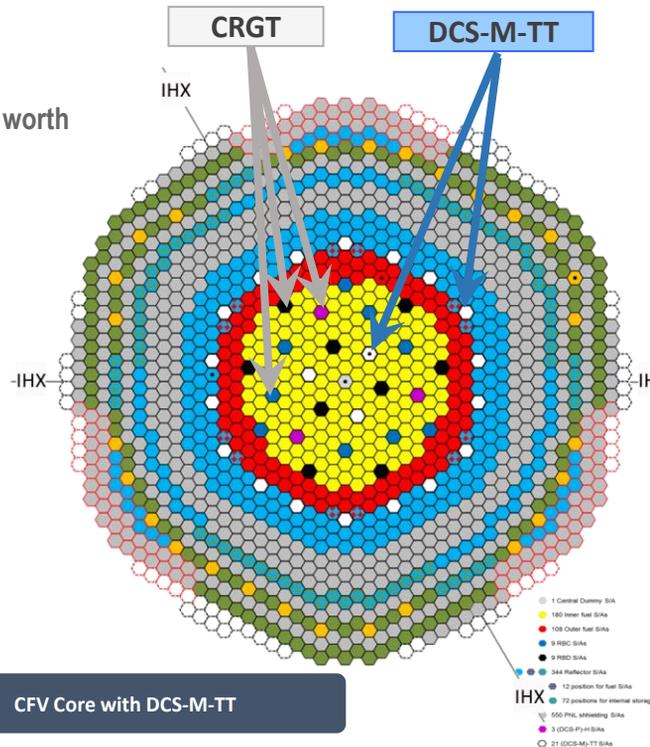
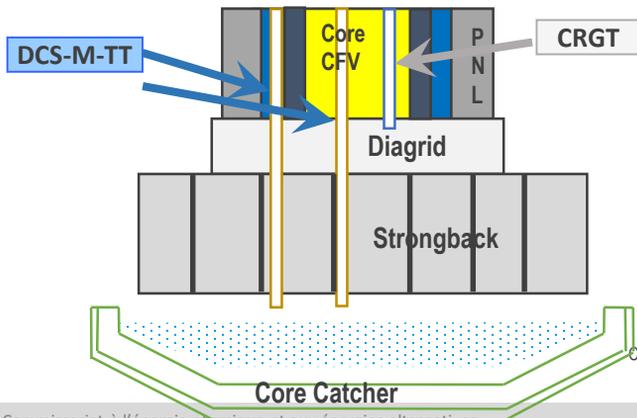
- Primary phase:

CFV: Mainly Thermal-driven degradation low Na void worth

- Secondary phase: Minimization of core melt mass in the core region to avoid recriticality

⇒ Corium relocation below the core region with on a core catcher

- 18 Control Rod Guide Tubes (CRGT)
- 18+3 Complementary Safety Device: dedicated Transfer Tubes (DCS-M-TT)



CEA-JAEA STC 1-3, Collaborative Meeting on Education & Training & Topical Seminar
30 January 2017, Cadarache, FRANCE

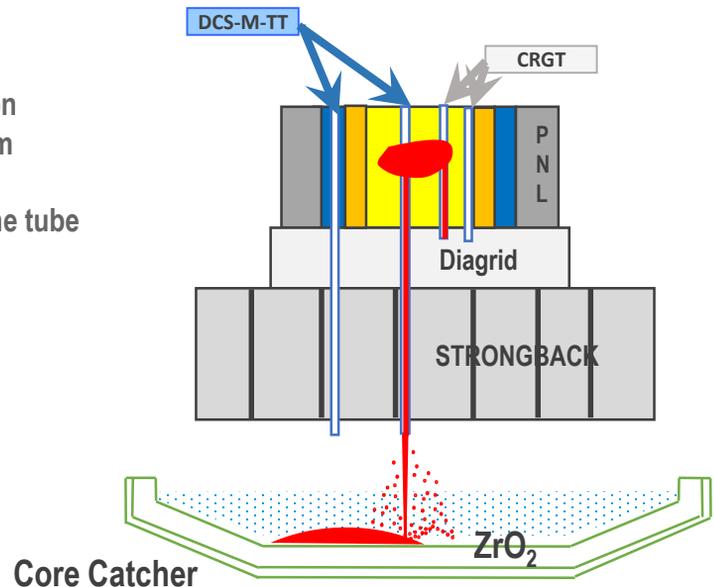
Main Issues for ASTRID Related to Severe Accidents Studies

Main Issues related to Severe Accidents Mitigation

- Confinement, Cooling and subcriticality of corium
- Minimization of energetic events
- In-vessel Core Catcher Design

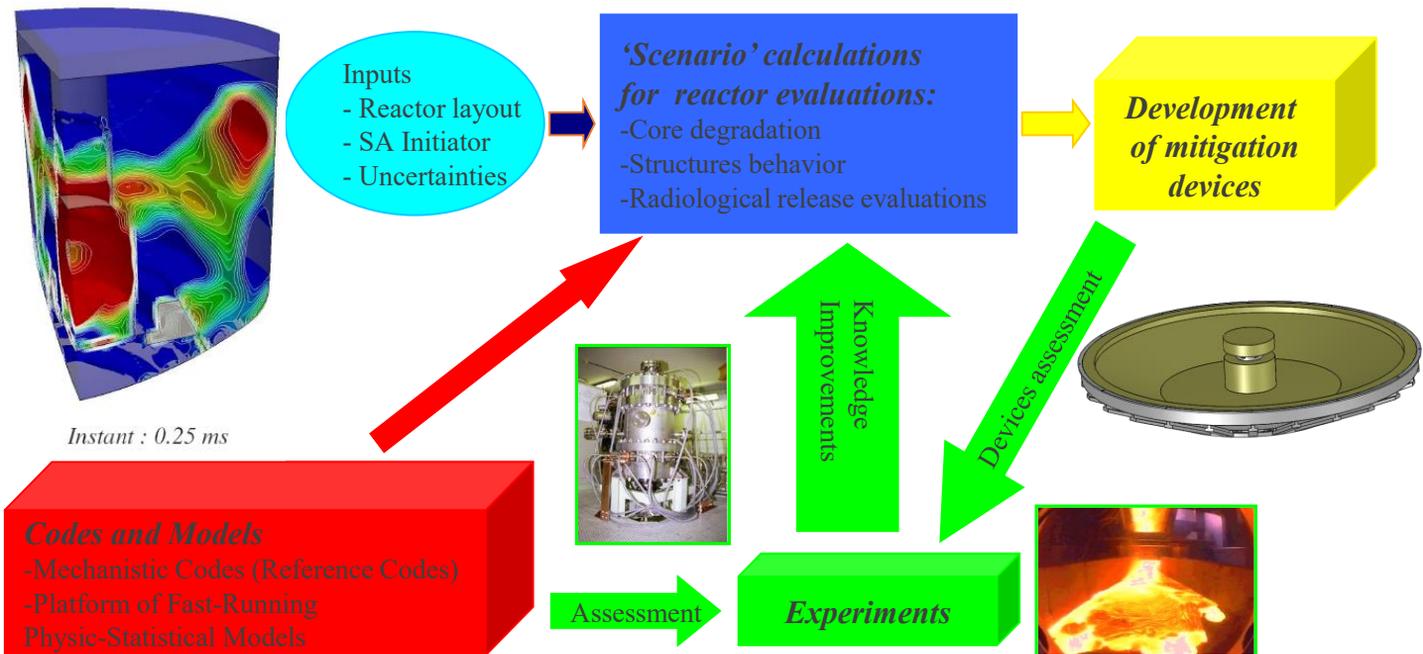
Associated Phenomena

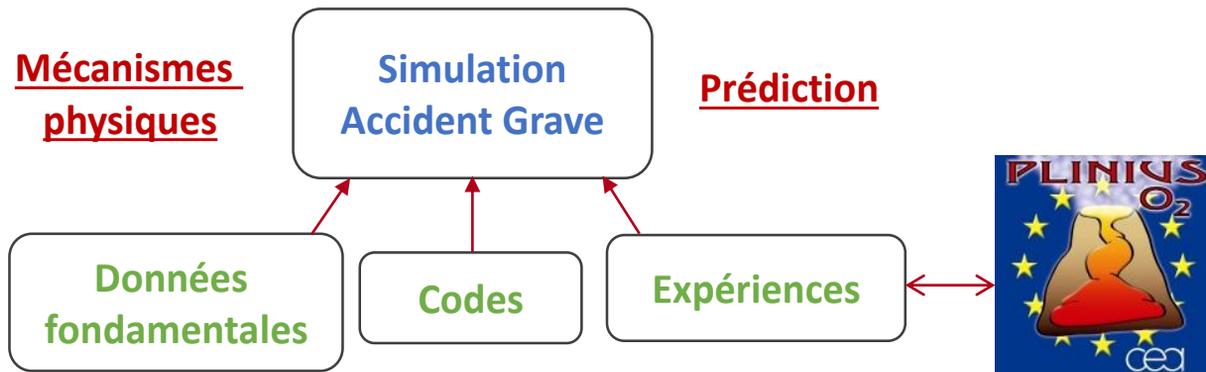
- CRGT and DCS-M-TT for Corium Dispersion
 - Opening of the device by corium
 - Corium progression
 - Corium characteristics out of the tube
- Fuel Coolant (sodium) Interaction (FCI)
 - Jet fragmentation
 - Vapor explosion
- Core Catcher Behavior
 - Jet impingement
 - Thermal ablation
 - Physico-chemistry
 - Coolability
 - Phase stratification



Corium Behavior in Severe Accident Situation

A COMPREHENSIVE R&D STRATEGY to SUPPORT DESIGN INNOVATIONS and SAFETY STUDIES of SFRs





- Plate-forme PLINIUS: VULCANO, VITI, KROTOS, MERELAVA
 - Données fondamentales: NUCLEA, TAF-ID, propriétés thermophysiques...
 - Codes: développement/validation/utilisation par le Laboratoire de Modélisation des Accidents Graves (LMAG): TOLBIAC, THEMA, MC3D, PROCOR, GEMINI...
- **Comprendre la phénoménologie AG par la connaissance du comportement du corium.**



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

Laboratoire de Modélisation des Accidents Graves

CEA/CAD/DTN/SMTA/LMAG

18/09/2019

CEA

Un large spectre de la physique avec de forts couplages spatiaux et/ou temporels :

- ▶ Domaines de physiques très variés et fortement couplés : thermohydraulique multiphasique (en convection forcée et naturelle) avec changement de phase (fusion/solidification) et fragmentation hydrodynamique et thermique, transfert radiatif, neutronique, thermomécanique, thermochimie (oxydation, dissolution), physique des aérosols, chimie des PFs....

Des problèmes multi-physiques avec de forts couplages et avec des échelles de temps et d'espace très différentes

Une séquence accidentelle constituée de plusieurs phases présentant des bifurcations :

- ▶ Notion de scénario, et de chaîne de calcul liant les différentes phases entre elles (temps et espace), interdépendance entre phases
- ▶ Chaque phase a sa physique particulière et doit être traitée spécifiquement (Corium en fond de cuve, ICE, ICB,...)

Des phénomènes mal connus et difficilement accessibles :

- ▶ Données limitées post mortem,
- ▶ Expérimentation prototypique : haute température, complexe, problème d'échelle
- ▶ Expérimentation simulante : problème de la physique fortement couplée, similitude?
- ▶ **Besoin de modélisation et de simulation numérique : possibilité d'expérimentation numériques en complément de l'expérimentation**

AG = Un environnement industriel (EDF, Framatome, MHI, CGN...), universitaire (AMU, IMFT, IRSTEA, LJK, LGR...), et très international (JAEA, KIT, Euratom H2020, ALISA, SARNET, NITI) complexe



La R&D du DTN à travers le LEAG et le LMAG se focalisent sur le comportement du corium et sa propagation du corium qui sont encore mal connus (pas de traitement des PFs (une partie au DEC) et du risque H2 (DM2S), le comportement des structures (DM2S), une partie de la thermochimie en soutien du DTN (DPC), neutronique RNRNa en soutien du DTN (DER, DM2S à termes))

Codes	Physique	Filière	Activités LPMA
SIMMER / SEASON	Dégradation des cœurs et cheminement du corium en cuve	RNR-Na	Développement, Qualification,
PROCOR-Na	Progression du Corium (chaîne de calcul physico-statistique)	RNR-Na	Développement
SCONE	Interaction corium sodium	RNR-Na	Développement
CONTAIN-LMR	Comportement PF et aérosol dans l'enceinte	RNR-Na	Maintenance
TOLBIAC-ICB	Ablation du béton du radier avec ou sans présence d'eau	REP, REB	Développement, Qualification, Etudes réacteur
PROCOR	Progression du corium dans la cuve et en fond de cuve	REP	Développement, Qualification, Etudes réacteur
MC3D	Interaction du corium et de l'eau Explosion de vapeur	REP, REB	Qualification, Etudes réacteur
THEMA	Étalement du corium en puits de cuve ou sur récupérateur	REP, REB	Développement

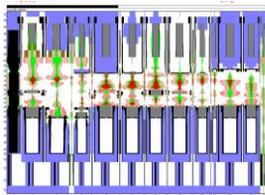
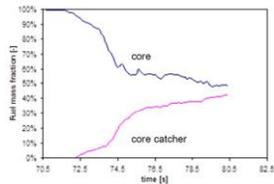
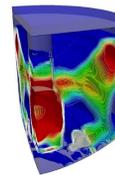


Figure 9: Discharge through DC5-M-TT during ULOF transient



Core degradation and corium relocation
SIMMER-V / SEASON



Instant : 0.25 ms



Expérience
Mars/Mara

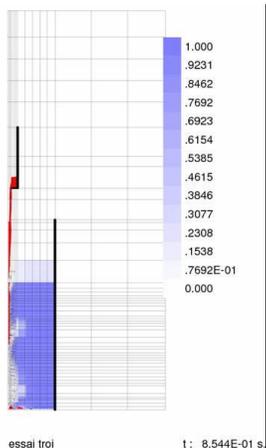
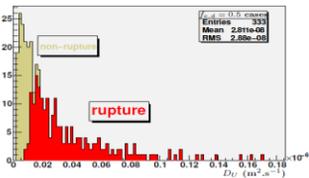
EUROPLEXUS (DM2S)
Mechanical Structures

SCONE
(FCI)



Expérience de fragmentation

PROCOR Na



PROCOR
In-Vessel corium behavior

Core degradation
(no code)

THEMA
Corium Spreading

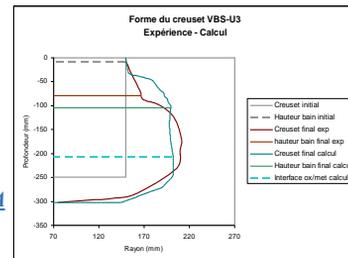
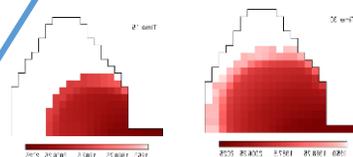
VITI
physical properties measurement

MC3D
Fuel Coolant Interaction (water)

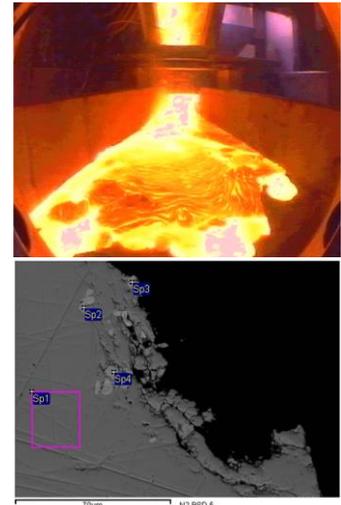
KROTOS
FCI

VULCANO-MERELAVA
MCCI and Corium spreading

TOLBIAC-ICB
Molten Core Concrete Interaction

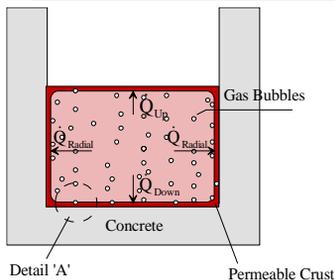


- Interaction Corium-Béton (ICB)
 - Expérience VULCANO (sec) et MERELAVA (renoyage)
 - Code TOLBIAC-ICB
 - Modélisation CFD
- Etalement du corium
 - Expérience VULCANO
 - Code THEMA
- Interaction Corium-Eau (ICE)
 - Expérience KROTOS
 - Code MC3D
- Propriétés physiques du corium
 - Expérience VITI
 - Code GEMINI et base de données NUCLEA
- Fukushima Daiichi
 - Débris prototypiques: fabrication et analyses
 - Support à la découpe et récupération du corium

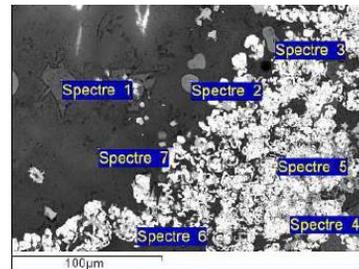


T > 2000K





Enjeux
 Protection de la 3^{ème} barrière
 Temps de perçage
 Vitesses d'ablation



Composition du béton

Bétons siliceux, silico-calcaires,
ferro-siliceux, basaltiques...

Composition du corium

Tout oxyde ou oxyde/métal

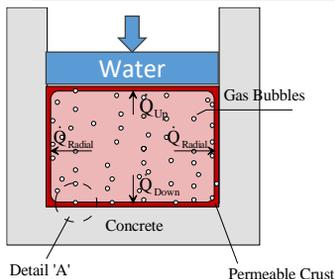


Interprétation
 Analyses post-test
 (MEB, DRX)
 Modélisation (TOLBIAC)



Instrumentation
 Section d'essais cylindrique
 Suivi du front par 100+ thermocouples
 Chauffage inductif du mélange





Enjeux

Protection de la 3^{ème} barrière
Vitesse d'ablation
Renoilage et refroidissement

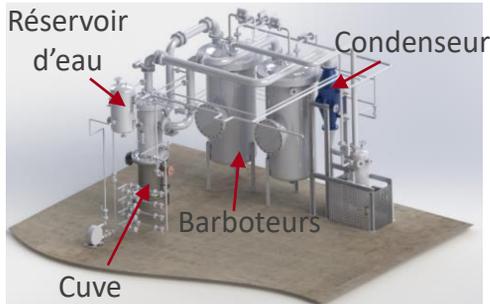


Composition du béton

Bétons siliceux, silico-calcaires,
ferro-siliceux, basaltiques...

Composition du corium

Tout oxyde ou oxyde/métal
+ influence acier/croûte



Interprétation

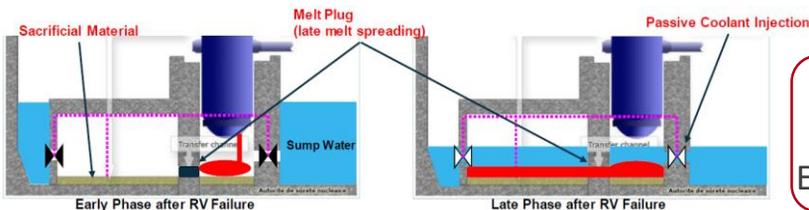
Analyses post-test
(MEB, DRX)
Modélisation (Python)



Instrumentation

Suivi du front par thermocouples
Estimation des flux de chaleur
Mesure hydrogène et spectrométrie
Chauffage thermitique du mélange





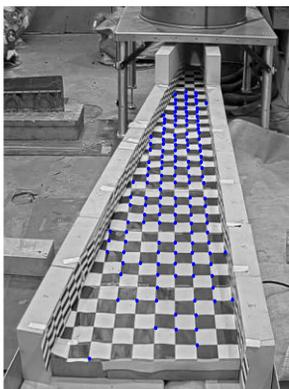
Enjeux
3^{ème} barrière
Etalement à sec



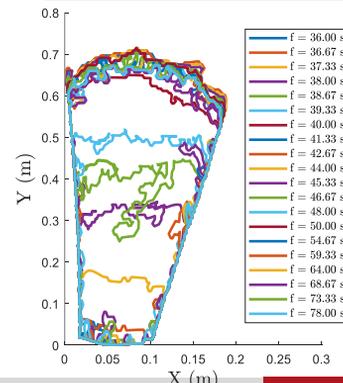
Différents substrats
Céramiques, bétons...
→ Matériaux sacrificiels
Composition du corium
Tout oxyde ou oxyde/métal

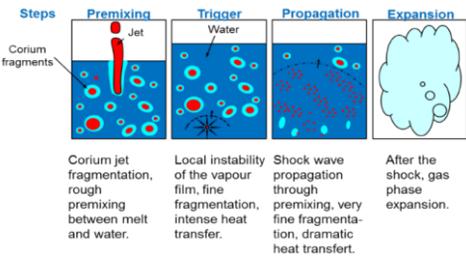


Interprétation
Analyses post-test
(MEB, DRX)
Modélisation (THEMA)



Instrumentation
Suivi du front par thermocouples
et imagerie
Chauffage thermitique du mélange





Time scale: seconds | 0.01 ms | 1-10 ms | seconds

Corium

Tout oxyde ou oxyde/métal
Diamètre/hauteur du jet

Eau

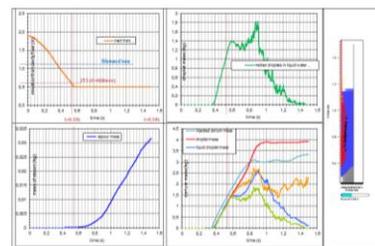
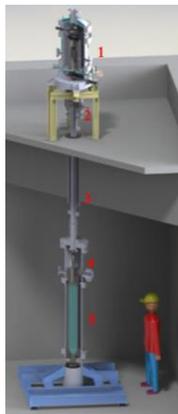
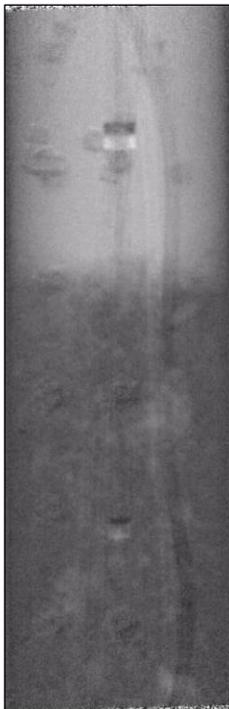
Ecart à la saturation
Hauteur de la colonne

Instrumentation

Capteurs de force et trigger
Pyrométrie et Linatron

Mesure hydrogène/spectrométrie
Chauffage résistif du mélange

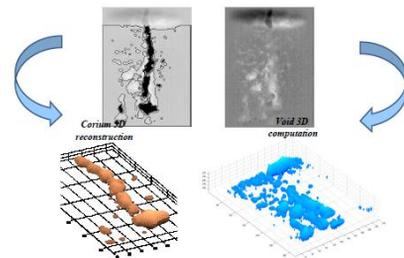
Enjeux
Protection 2^{ème} et 3^{ème} barrières
Explosion vapeur

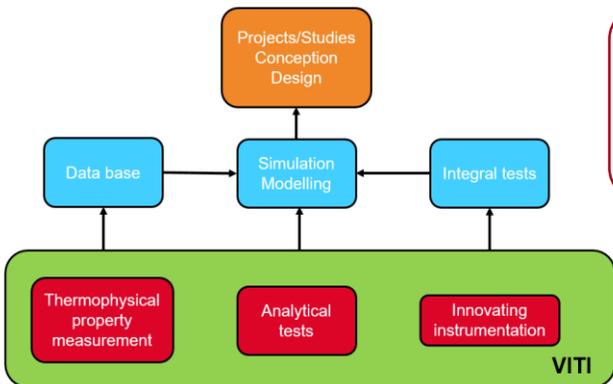


Interprétation

Imagerie X
Analyses post-test
(MEB, DRX)
Granulométrie
Modélisation (MC3D)

3D Reconstruction of void fraction and corium

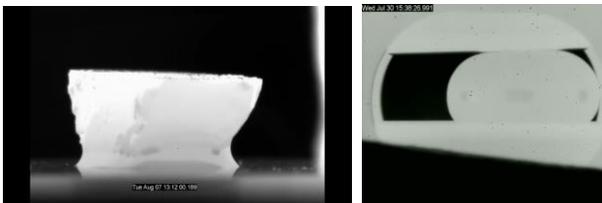




Enjeux
 Base de données
 Echelle locale (exp. analytiques)
 Instrumentation de pointe



Interprétation
 Imagerie et traitement du signal
 Analyses post-test
 Modélisation
 (MATLAB, COMSOL, THERMOCALC...)



Instrumentation
 Imagerie UHD et Ultrason
 Pyro(réfecto)métrie
 Spectrométrie de masse
 Chauffage par induction

Corium
 Toutes compositions
 Atmosphère
 Neutre ou réactive

Equipe

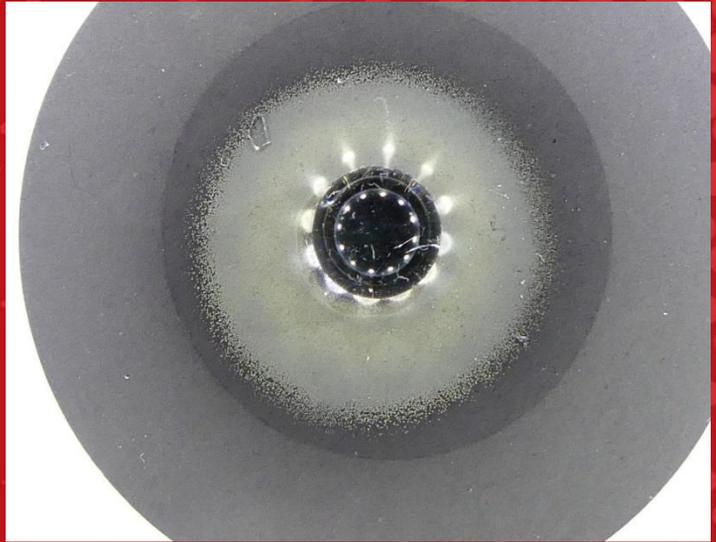


25
salariés

- 20 permanents (chercheurs, ingénieurs, techniciens)
- 2 experts internationaux, 2 HDR
- 4 PhD, 1 post-doc

Partenariats et projets

- EDF, IRSN, ENGIE, FRAMATOME
- Europe: SAFEST (European Network of Corium Facilities + JAEA/CLADS), NUGENIA
- OCDE: SERENA (9 countries) sur ICE, PreADES sur Fukushima
- Chine à travers le projet ALISA
- Inde pour expérience RNR NA
- Accords bilatéraux France Japon sur GEN-IV et Fukushima

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) is displayed in white lowercase letters on a red square background. A thin green horizontal line is positioned below the letters.

MERCI DE VOTRE ATTENTION