



1 - PREVENTION ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS ET DEFAILLANCES: APPROCHE MECANIQUE

Jacky LESAGE, Eric MARKIEWICZ



OBJECTIFS

Analyse et conception de matériaux et de structures robustes selon deux objectifs

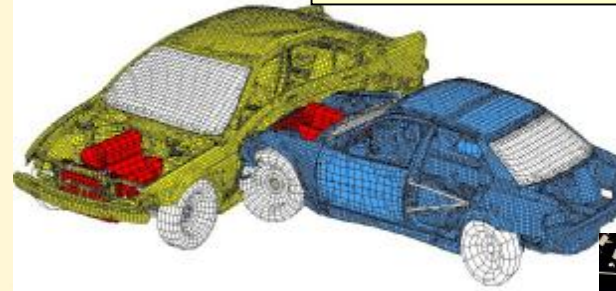
Sécurité préventive
pour réduire les risques d'accident
FATIGUE

Conception sécuritaire
pour limiter les effets de ces accidents
CRASH

Fatigue rupture des
matériaux et
structures

INTERACTION

Ruine des matériaux et des
structures en dynamique
non linéaire



→ Étude de l'endommagement à toutes les échelles, du micro jusqu'au macro, aux différentes étapes de la durée de vie.

→ Étude des hétérogénéités et altérations matérielles depuis le procédé d'élaboration du matériau ou de la structure, jusqu'à sa ruine.



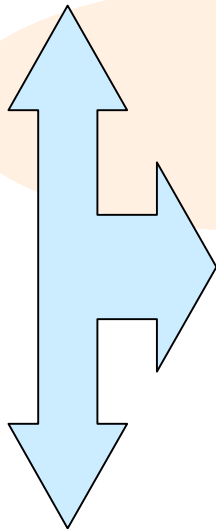
1 - PREVENTION ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS ET DEFAILLANCES:
APPROCHE MECANIQUE

ACTEURS

Unités associées au CNRS

LML : Laboratoire de Mécanique de Lille
UMR CNRS 8107
Université Lille 1, EC Lille, ENSAM Lille

LAMIH : Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et
d'Informatique industrielles et Humaines
UMR CNRS 8530
Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis



Laboratoire commun DRSC LAMIH/ONERA-Lille
Dynamique Rapide des Structures et Collision
31 personnes physiques (dont 19 permanents)
19,2 personnes équivalent temps-plein
Ø Mise en commun de ressources et de moyens d'essais lourds

Laboratoire dépendant d'autres organismes

ONERA : Office National d'Etudes et de Recherches
Aérospatiales, Centre de Lille

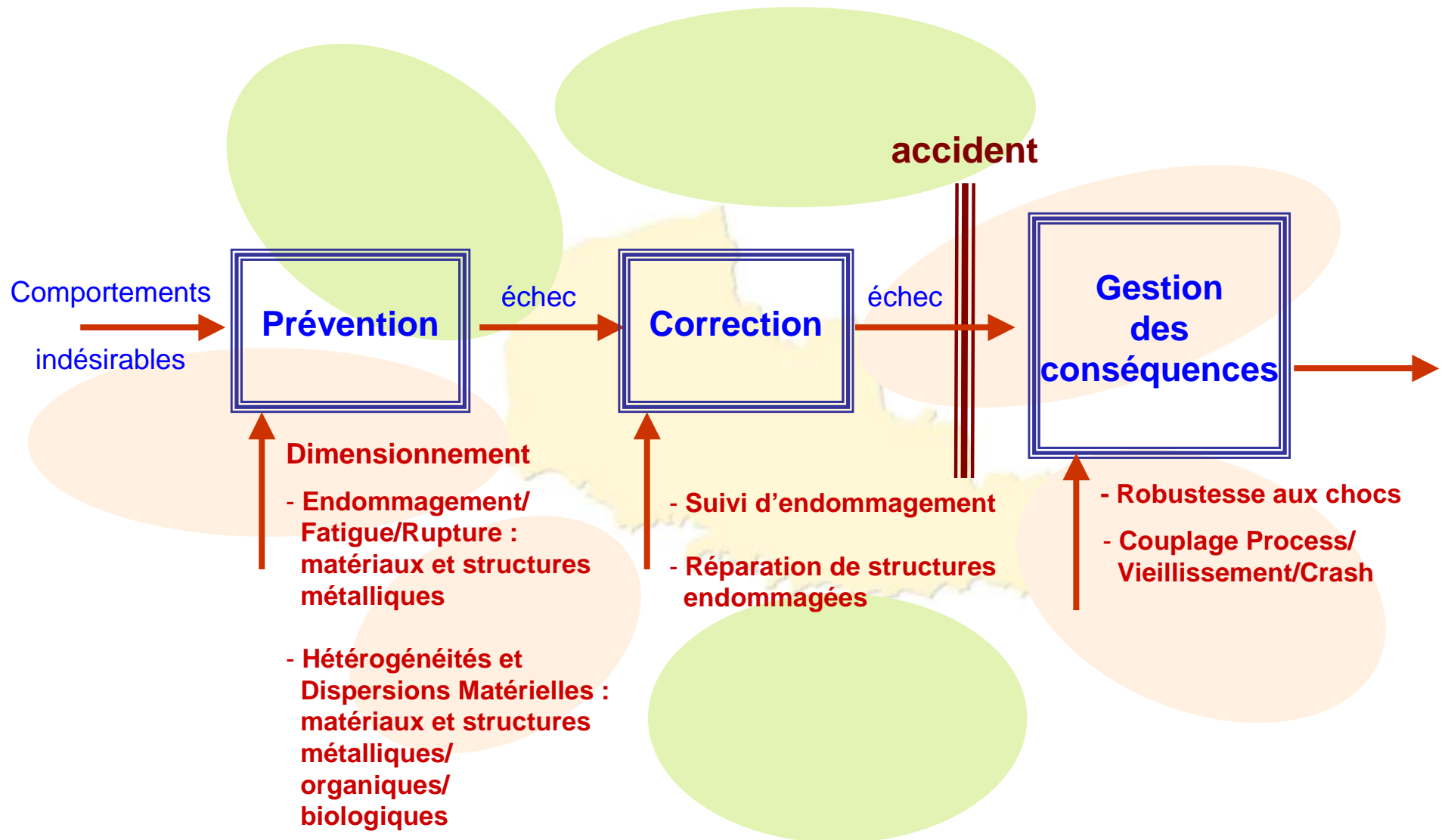


POSITIONNEMENT:

Prévention,

Correction,

Gestion des conséquences



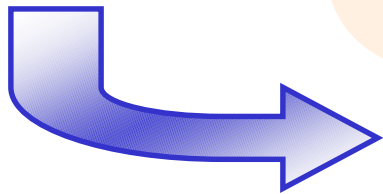
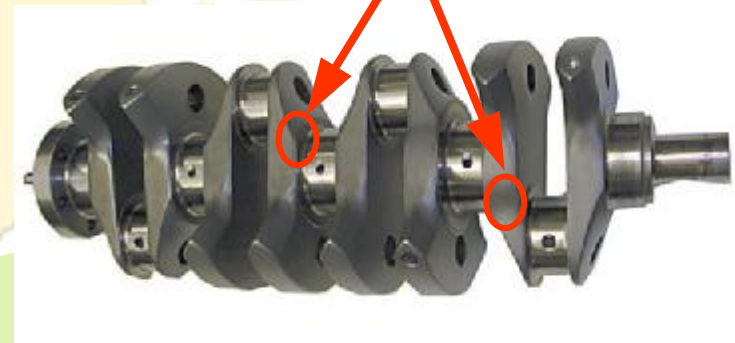
CONTEXTE 1. Fatigue



Contact roue-rail :
Compression + cisaillement
non-proportionnels

Sollicitations cycliques de flexion-
torsion hors-phase

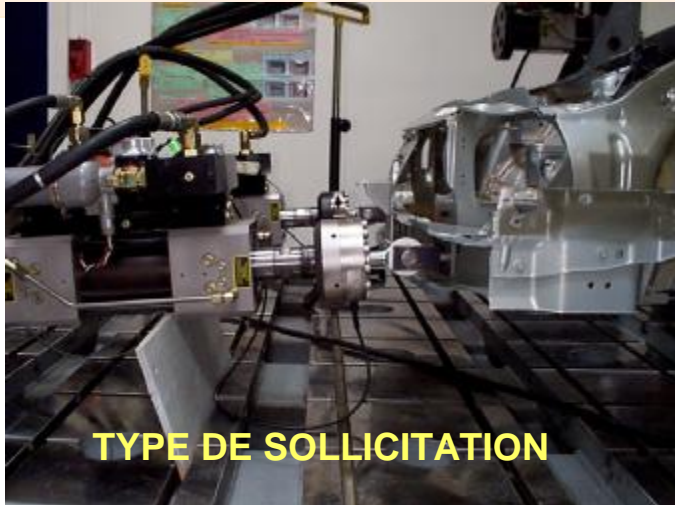
Zones les plus sollicitées



Sollicitations variables complexes

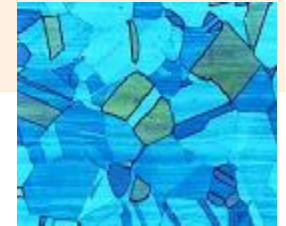
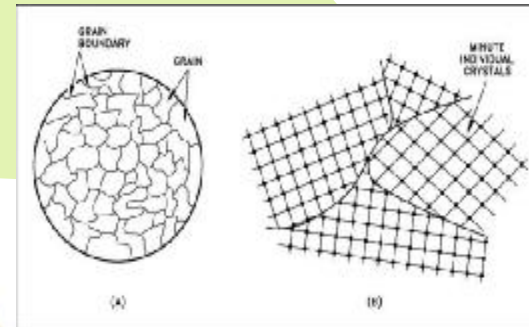


CONTEXTE 1. Fatigue



TYPE DE SOLLICITATION

De la STRUCTURE... au MATERIAU

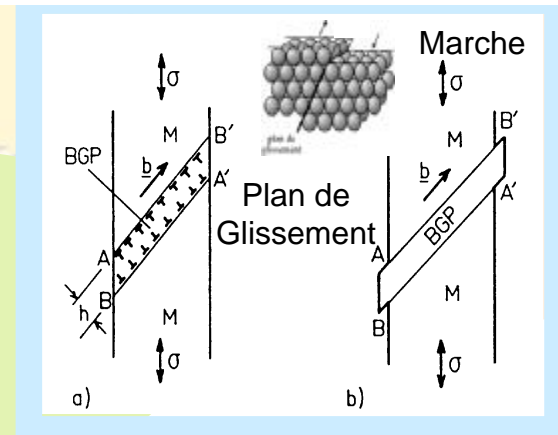
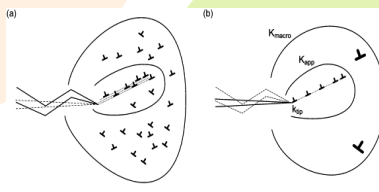


ENDOMMAGEMENT

Mécanisme d'endommagement par formation de Bandes de Glissement Persistantes



FISSURATION



RUPTURE

PROPAGATION

AMORCAGE



1 - PREVENTION ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS ET DEFAILLANCES:
APPROCHE MECANIQUE

DEMARCHE SCIENTIFIQUE 1. Fatigue

Du MATERIAU ... à la STRUCTURE

§ *Comportement mécanique*

- *du matériau : plasticité, endommagement*
- *des structures et assemblages*

§ *Recherche d'indicateur(s) d'endommagement* [*suivi d'endommagement*

§ *Réparation des structures endommagées*

DU MATERIAU SAIN AU MATERIAU REPARÉ



ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

Verrou 1: Comportement sous sollicitations cycliques complexes des matériaux et des structures

Compréhension et prédiction du comportement en fatigue d'un acier biphasé

_ Comportement monotone et cyclique non-linéaire multiaxial, déformation progressive, durée de vie

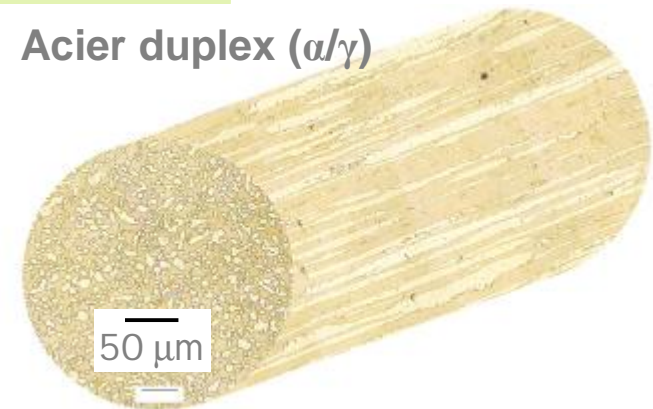
Approche macroscopique

- Interprétation par l'analyse de l'évolution des surfaces de plasticité
- Simulation par des lois de comportement macroscopiques

V. Aubin (2001)

F. Jaupitre (en cours)

Acier duplex (α/γ)



Transport de matières chimiques agressives

Approche microscopique

- Caractérisation de la morphologie de la microstructure
- Identification de la loi de comportement de chaque phase par essais de nano-indentation
- Intégration dans des modèles par changement d'échelle



ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

Questions ouvertes

Etude des comportements sous sollicitations complexes

Influence de l'effet d'entaille

O. Kotecky (en cours), co-tutelle Rép. Tchèque

Influence de revêtements et propriétés de surface

J. La Barbera (en cours), co-tutelle Venezuela, D. Mercier (CIFRE en cours)

Influence des modes d'élaboration, mise en forme et usinage

Durée de vie des assemblages

_ Développement de lois de comportement pertinentes
pour des chargements et des matériaux complexes

Actions ST2

Acquisition d'un système portable de diffraction X (2002) (*intéresse verrous 2 et 3*)

Demande d'équipement 2003-2004 :

- **extensométrie pour essais mécaniques à haute température** (*cf projet 5*)
- **vérin rotatif pour plate-forme d'essais sur structure**

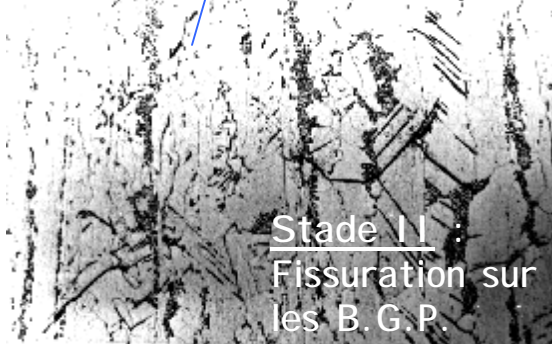
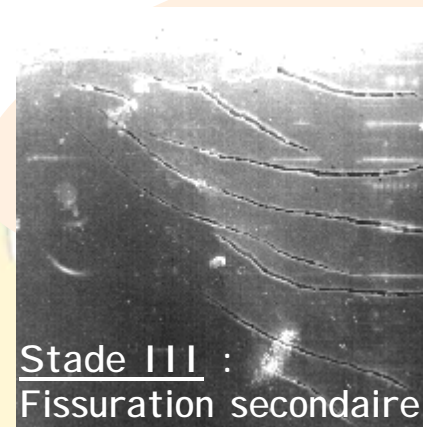
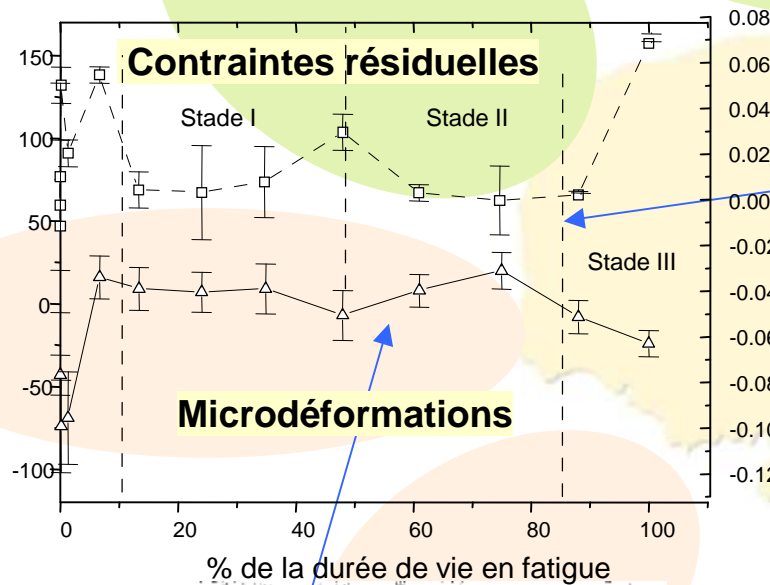
Demande de soutien : **2 thèses (2004, 2005) ; 1 post-doc (2005)**



ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

Verrou 2: Recherche d'indicateurs d'endommagement

Suivi d'endommagement par diffraction des rayons X :
contraintes résiduelles et micro-déformations en fatigue



O. Bartier (1996)
Y. Santana (en cours)



ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

Questions ouvertes

Endommagement et amorçage en fatigue multiaxiale d'un acier duplex

Observations à l'échelle micro

A. El Bartali (en cours)

Micro-déformations et contraintes résiduelles = indicateurs d'endommagement ?

D. Mercier (CIFRE en cours)

Approche multiéchelle en fatigue : apport des méthodes d'homogénéisation

V. Monchiet (en cours)

Actions ST2

Acquisition d'un système portable de diffraction X (2002) (*intéresse verrous 1 et 3*)

Demande d'équipement 2003-2004 :

**machine de flexion plane
moyens de préparation de surface
système d'analyse EBSD** (*verrou 1*)

Demande de soutien : **2 thèses (2004, 2005) ; 1 post-doc (2005)**

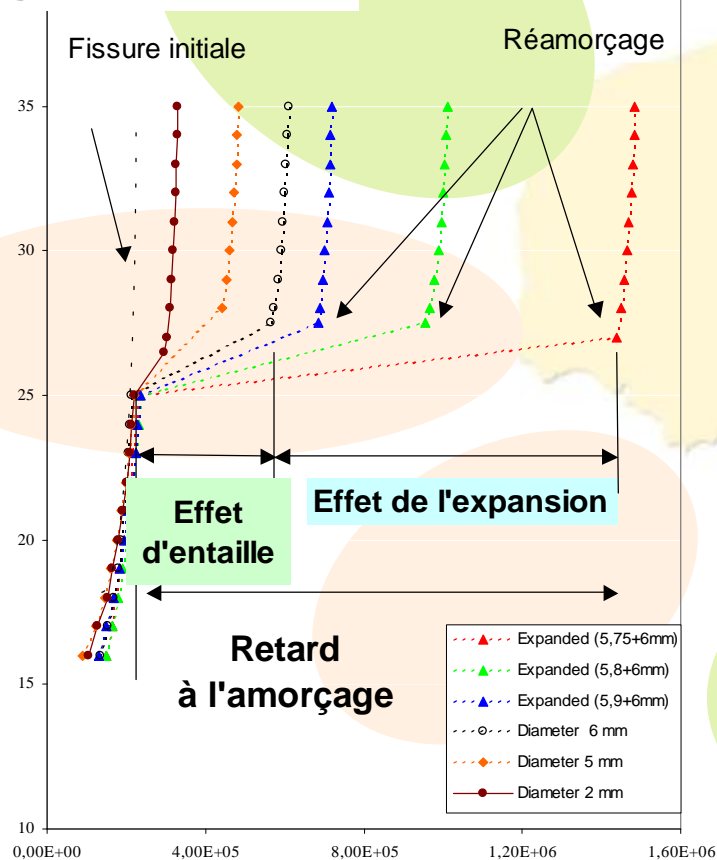


ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

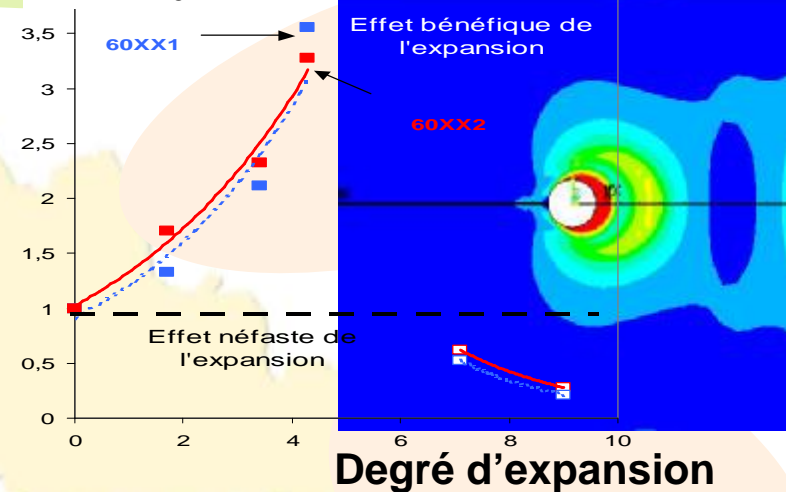
Verrou 3: Réparation des structures endommagées

Perçage d'un trou en fond de fissure
et introduction de contraintes résiduelles

Longueur de fissure



Na/Na_0



R. Ghfiri (2000)
S. Garcia Miranda (2003)

Nombre de cycles

1 - PREVENTION ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS ET DEFAILLANCES:
APPROCHE MECANIQUE



ACTIONS EN COURS 1. Fatigue

Questions ouvertes

Caractérisation, optimisation et tenue en service des réparations

S. Man (en cours)

R. Duan (en cours)

Prise en compte des réparations dans les prévisions de durée de vie résiduelle

Actions ST2

Acquisition d'un système portable de diffraction X (2002) (*intéresse verrous 1 et 2*)

Demande de soutien : **1 thèse (2005)**



MOYENS ET OUVERTURE 1. Fatigue

MOYENS MOBILISES (Humains et Matériels)

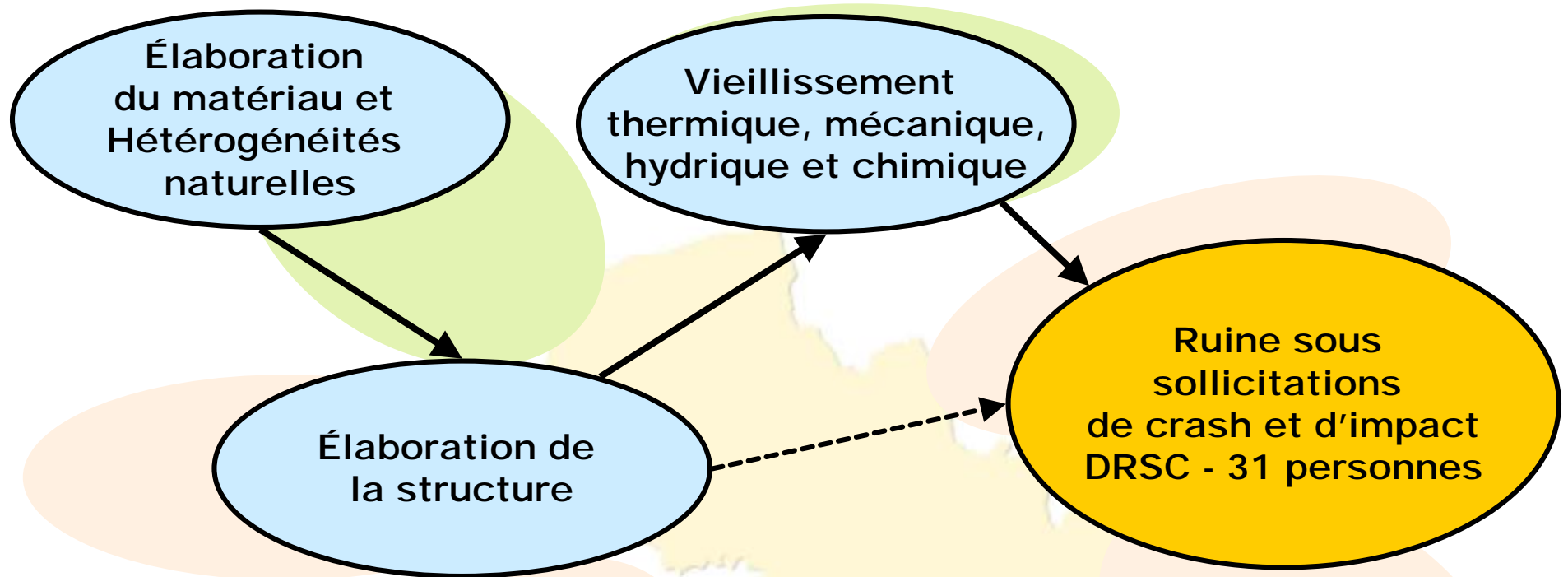
Humains: - Axe Fiabilité du LML
(7 PR, 12 MdC, 1 CR CNRS, 1 IR CNRS et 9 doctorants)

Matériels:

- Machines et banc d'essais de fatigue multiaxiale
- Appareil portable de diffraction X
- MEB avec machine de fatigue in-situ
- Moyens de calculs



CONTEXTE 2. Crash



Verrous scientifiques :

Ø passerelle entre différentes thématiques

Ø prise en compte des hétérogénéités, altérations et dispersions à tous les stades

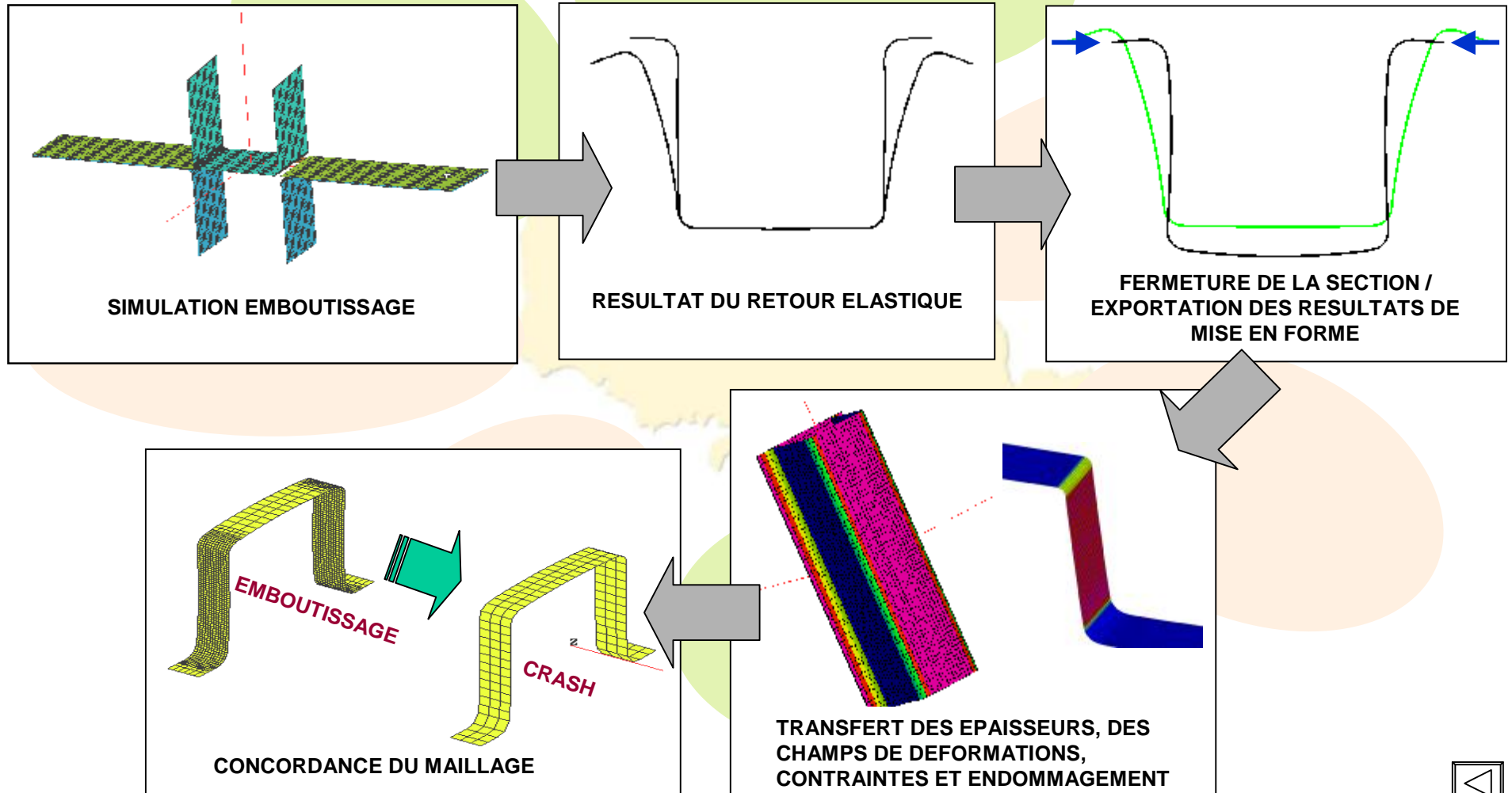
Matériaux et structures
métalliques et/ou composites
Matériaux biologiques
(segments anatomiques
de l'occupant)

Hétérogénéités et Dispersions

matérielles et géométriques

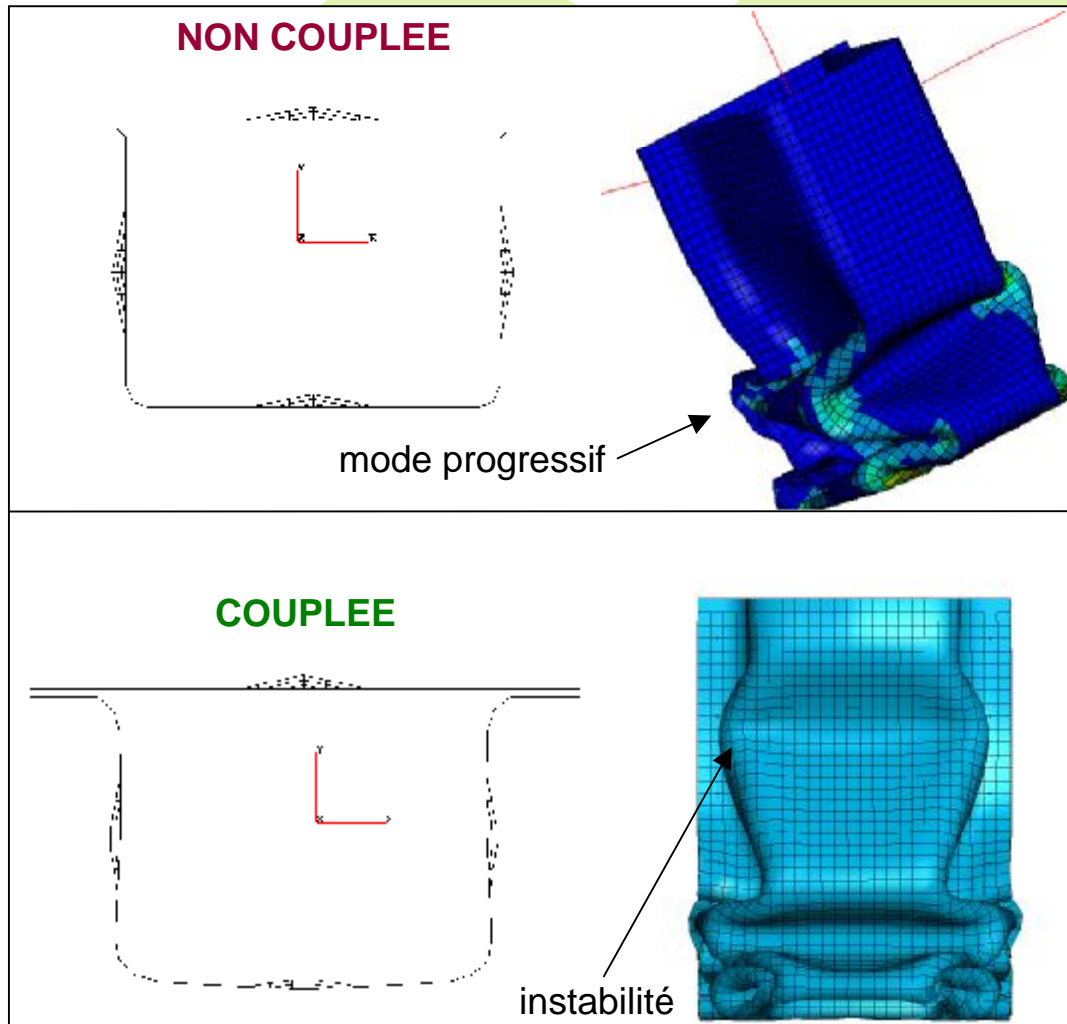
Verrou 1: Couplage Emboutissage/Crash

- «Mapping» pour simulation du crash (retour élastique, endommagement)



ACTIONS EN COURS 2. Crash

• Simulation du crash en compression axiale



EFFORT MOYEN (kN)

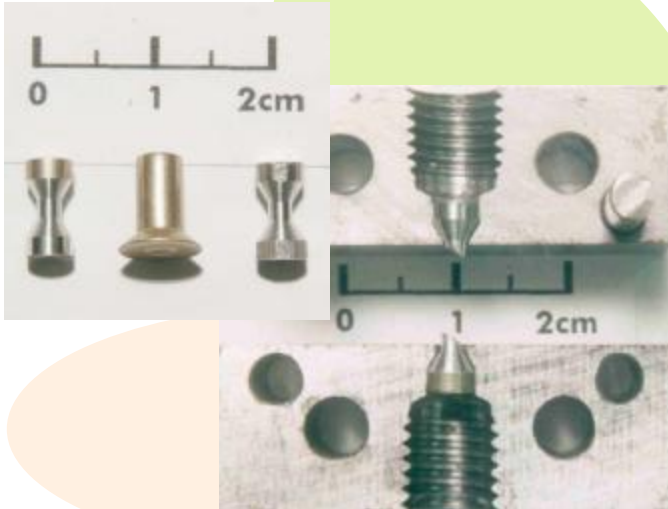
Non couplée	81,1
Couplée	72,7
Expérience	71,3

Influence des contraintes-déformations résiduelles, de l'endommagement et de la géométrie post-emboutissage sur les modes d'effondrement et la dissipation énergétique

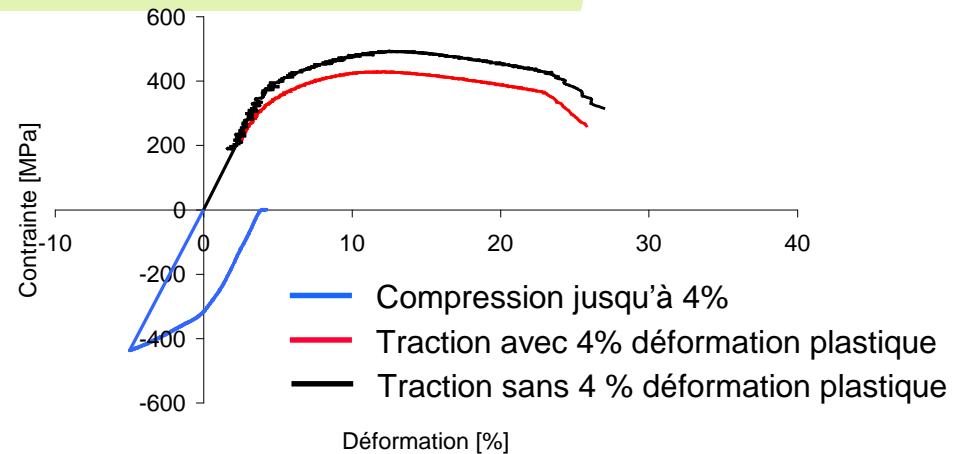


Verrou 2: Couplage Rivetage/Crash

- Influence du procédé sur les caractéristiques du matériau rivet

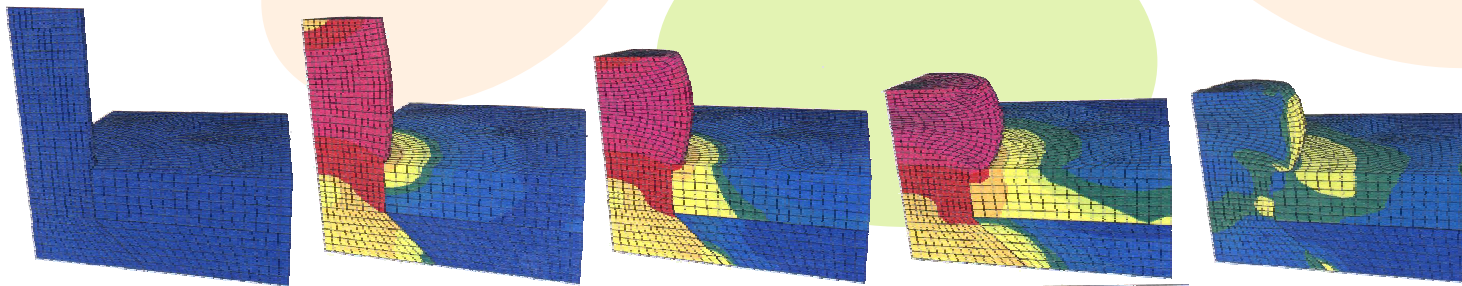


TRACTION/COMPRESSION DE
MICRO EPROUVETTE



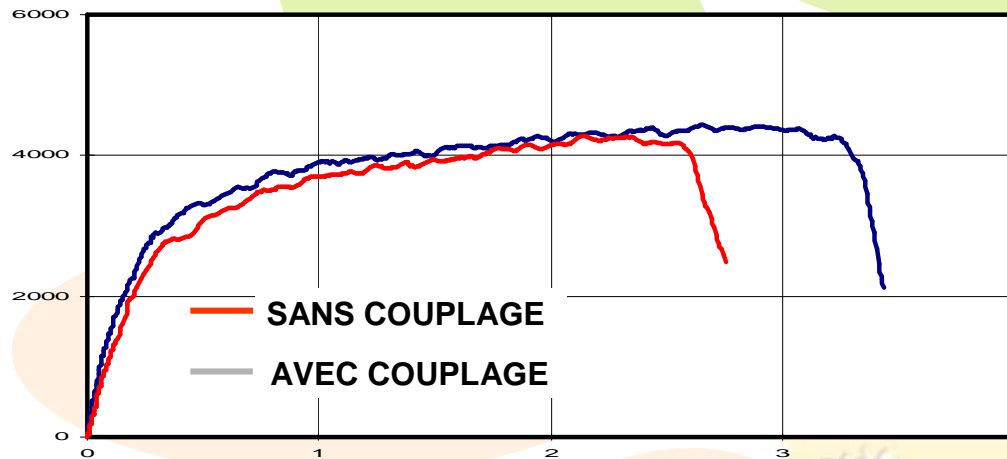
**Nécessité de prendre en compte
l'écroutissement cinématique du matériau
(riveté) dans la simulation**

- Simulation du procédé de rivetage



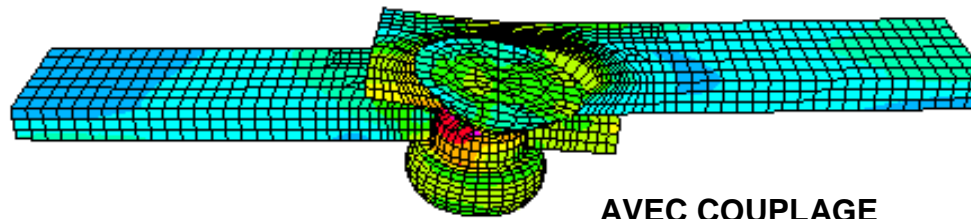
ACTIONS EN COURS 2. Crash

- Influence des contraintes résiduelles et de l'endommagement post-rivetage sur la tenue mécanique au crash



- endommagement
- rupture par cisaillement du rivet

Influence de l'état post-rivetage



AVEC COUPLAGE



ACTIONS EN COURS 2. Crash

Verrou 3: Couplage Vieillissement/Crash

- Influence de l'humidité, de la vitesse de sollicitation et de la température sur les propriétés en cisaillement d'un matériau tissu carbone époxy

Eprouvettes non vieilles

T° ambiante

- 20°C

-55°C

Eprouvettes vieilles puis séchées

tractionnées à T° ambiante

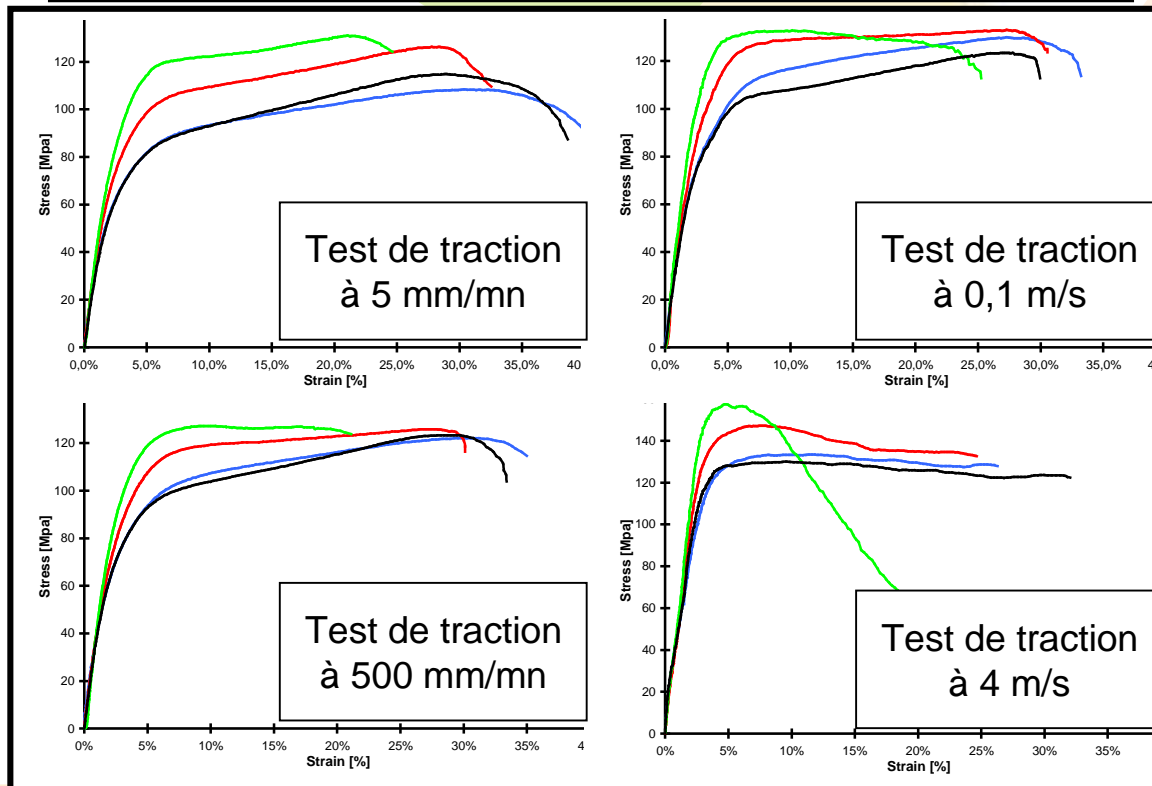
è AECMA standards EN3615 & EN2823

è Température 70°C & Humidité 85%

Faible influence du vieillissement en environnement standard (ambiante, séché)

Forte influence avérée du taux d'humidité, de la température et de la vitesse de déformation

Couplage environnement/crash : effets démultiplicateurs de la combinaison humidité/température / vitesse ?



1 - PREVENTION ET TRAITEMENT DES ACCIDENTS ET DEFAILLANCES:
APPROCHE MECANIQUE

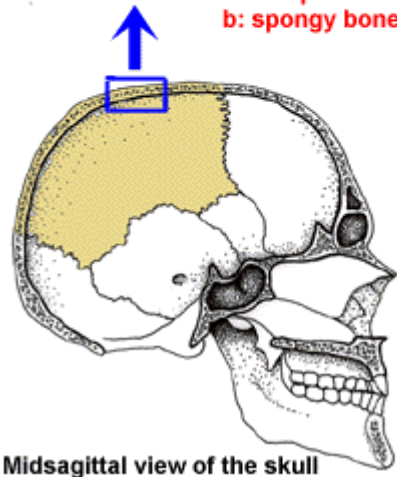
Verrou 4: Couplage Hétérogénéités/Crash

- Hétérogénéités/Crash des matériaux biologiques osseux

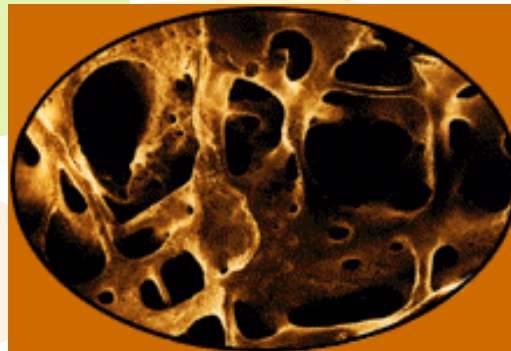
Crâne humain : os plats composés d'un os spongieux (diploë) pris en sandwich entre deux os compacts (tables externe et interne)



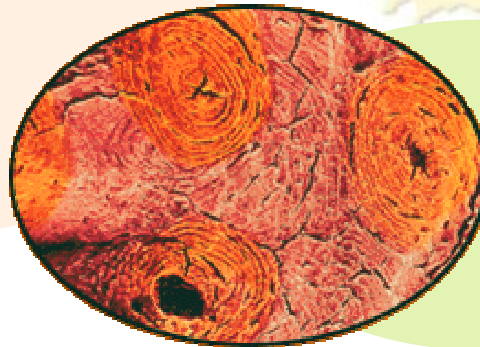
a: compact bone tissue
b: spongy bone tissue



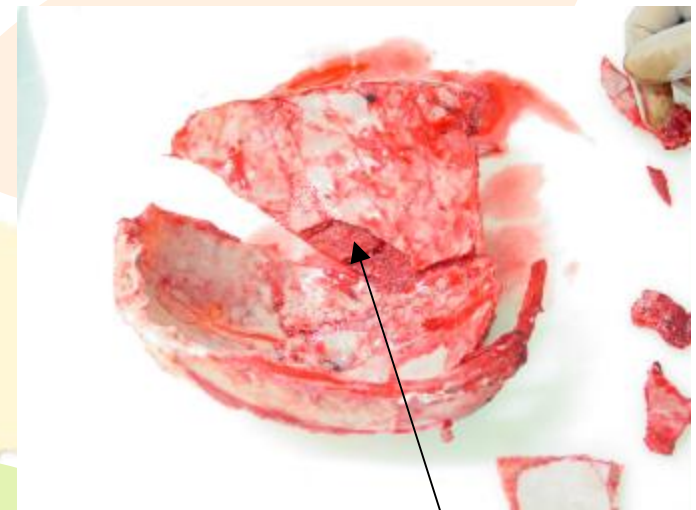
Midsagittal view of the skull



Structure diploë



Structure table



Cisaillement de la table interne

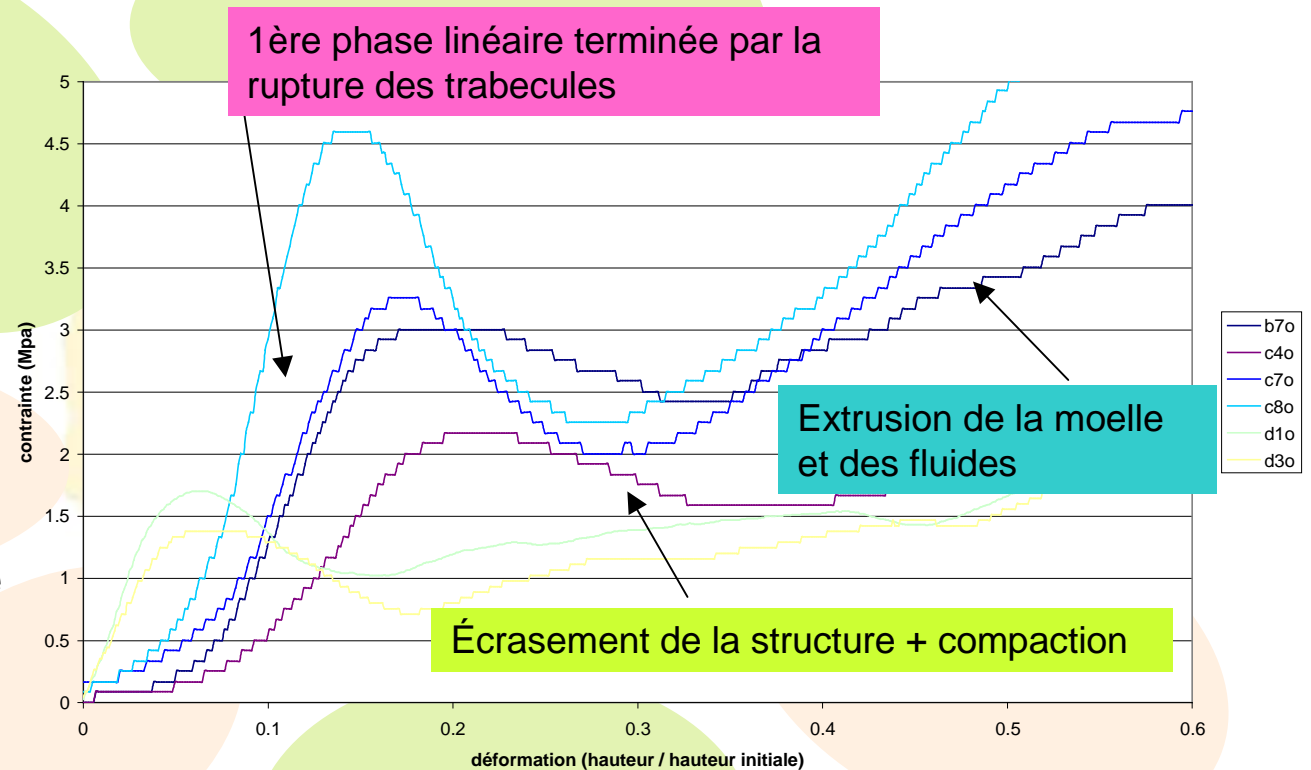
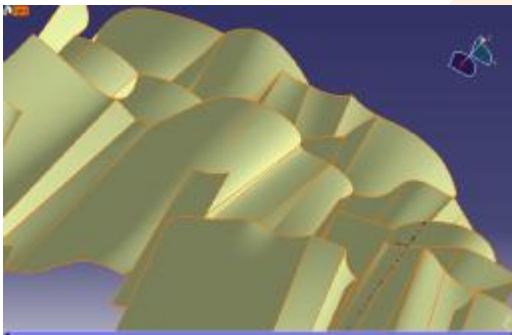


ACTIONS EN COURS 2. Crash

- Essais de compression sur os spongieux frais de bovins

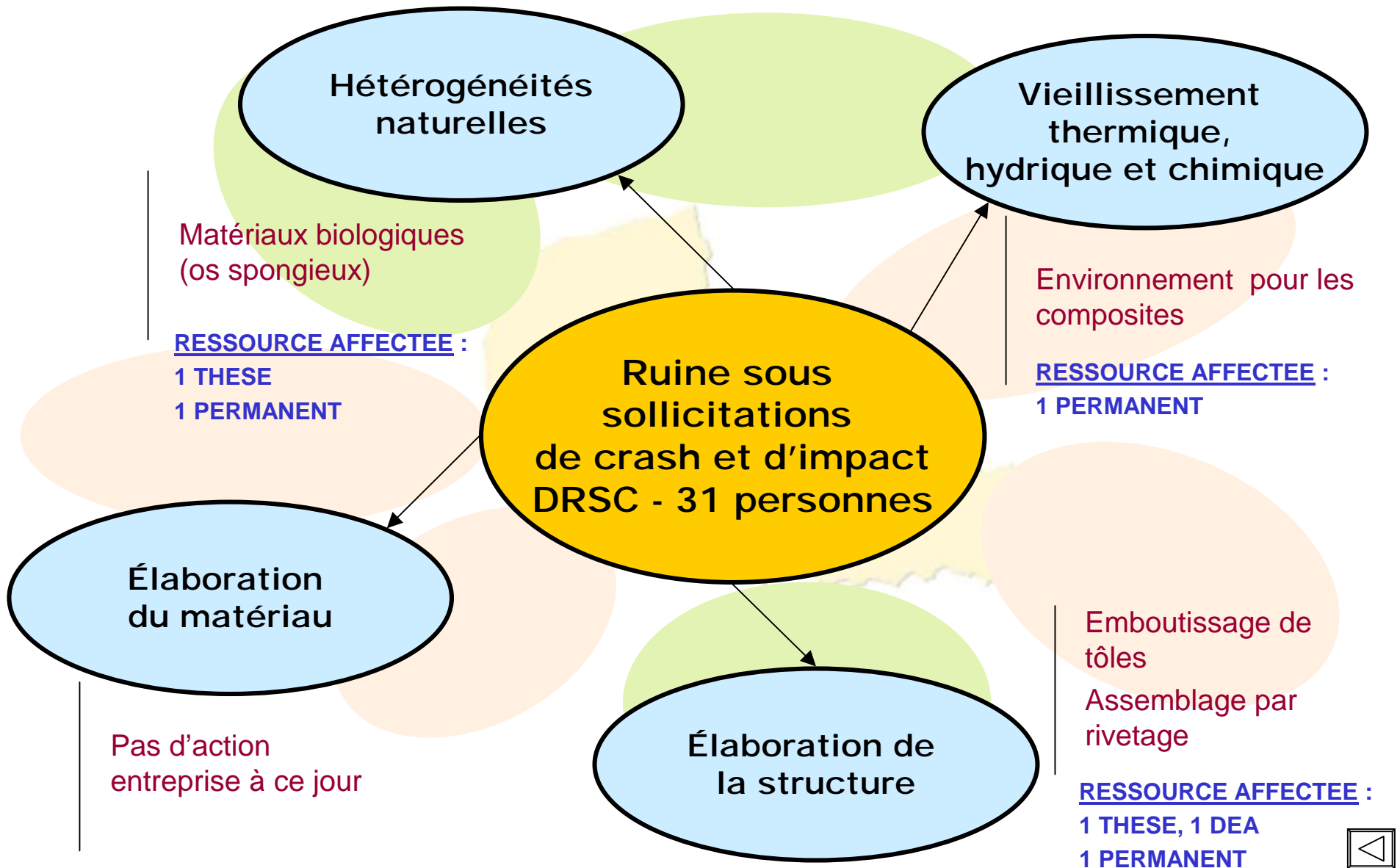


Reconstitution géométrique pour modélisation EF

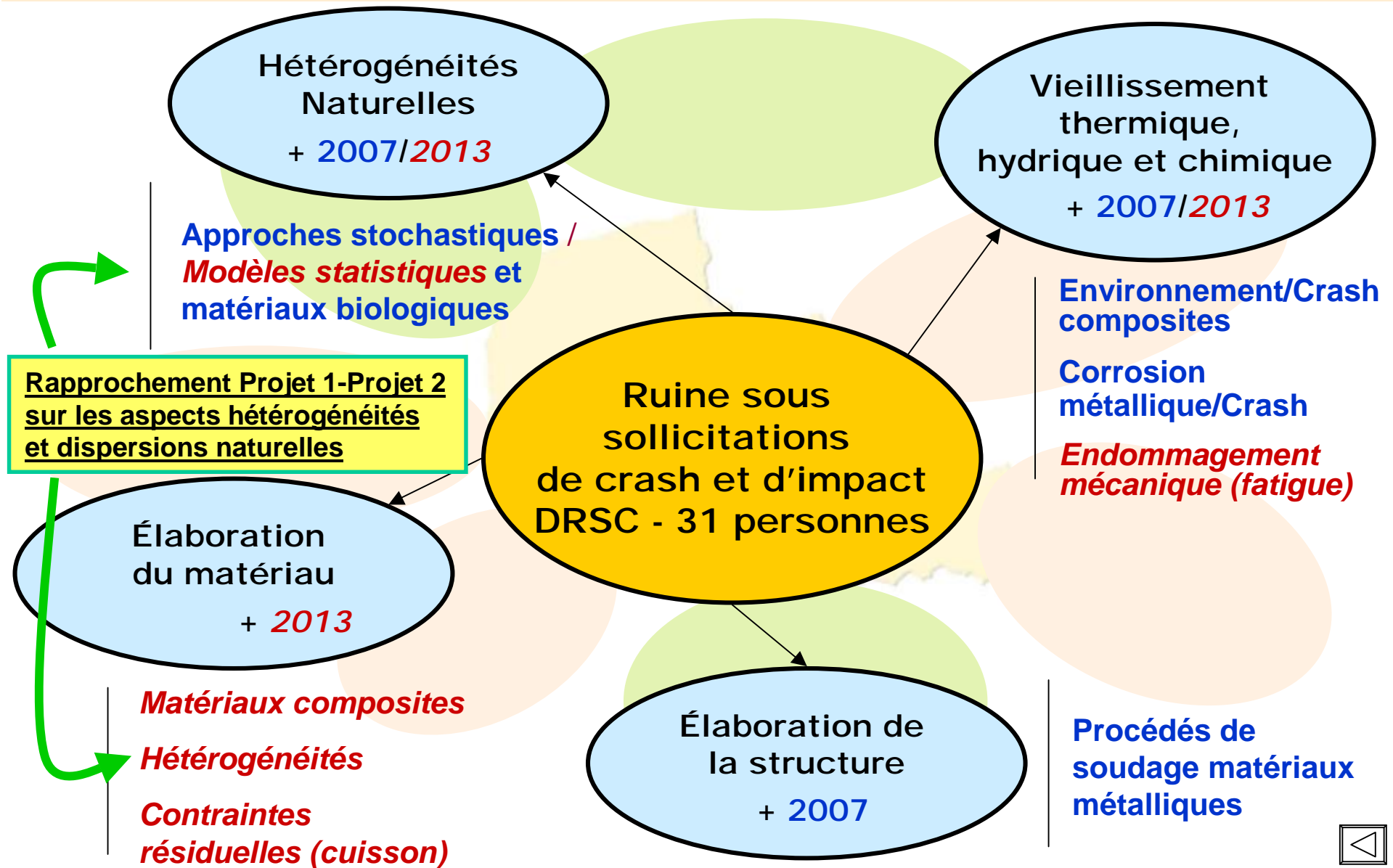


Forte dispersion des résultats due à une forte hétérogénéité matérielle, inter-individus et en fonction de la zone de prélèvement pour un même individu

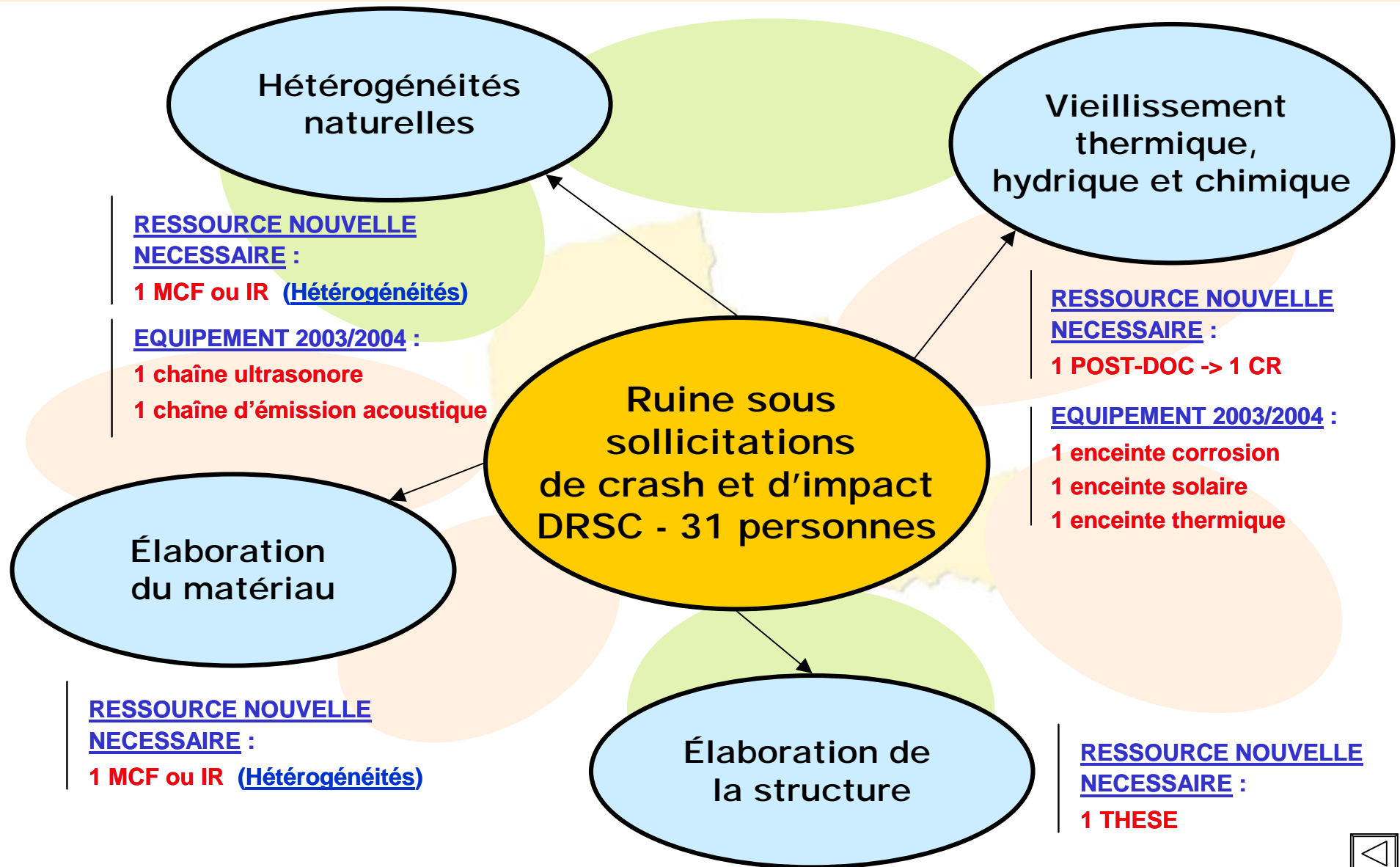
BILAN 2. Crash



PERSPECTIVES 2. Crash



PERSPECTIVES 2. Crash



OUVERTURE / RAYONNEMENT 1. Fatigue

OUVERTURE NATIONALE ET INTERNATIONALE

- PCP Université Centrale du Venezuela (Effet d'un revêtement projeté thermiquement)
- CNRS / NSF Université De Buffalo aux États Unis (Fatigue de contact et tribologie)
- PRA avec l'université Tsing Hua de Beijing (Fretting Fatigue)
- Collaboration (soutien CNRS) IPM Académie des Sciences Tchèque, Brno

COOPERATIONS INDUSTRIELLES

Alstom, SNCF, Bombardier, PSA, Allevard Rejna Autosuspensions...

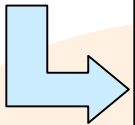


OUVERTURE / RAYONNEMENT 2. Crash

OUVERTURE NATIONALE ET INTERNATIONALE

Congrès de la Société de Biomécanique en septembre 2002, consacré en partie à la biomécanique du choc dans les transports terrestres.

International Crashworthiness and Design Symposium en décembre 2003, consacré à l'innovation technologique pour les transports terrestres.



University of Oxford, modélisation et caractérisation dynamique des matériaux, perspective d'échange de Post-Doctorants

Norway Technical University (Trondheim), rupture dynamique des assemblages, perspective d'échange de Post-Doctorants

Groupe de Recherche en Biomécanique du Choc sous le patronage du CNRS, réunissant les principaux laboratoires nationaux dans ce domaine.

COOPERATIONS INDUSTRIELLES

SOLLAC/ARCELOR, EUROCOPTER, AIRBUS, LAB

