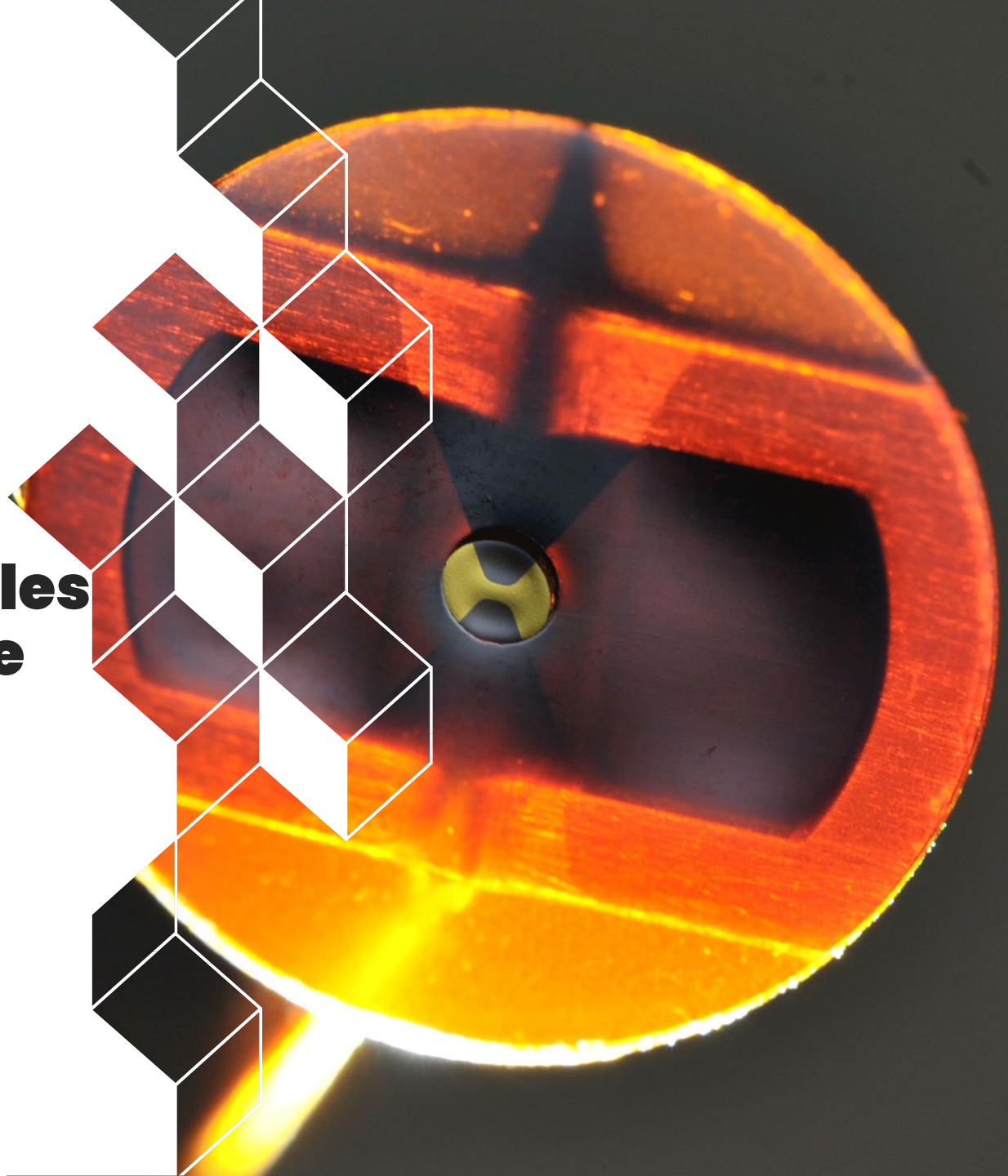
Mesure de vitesses de projectiles pour améliorer la prédiction de fiabilité des slappers

Raphaël GAVART

CEA, DAM, Le Ripault, F-37260, Monts, FRANCE



Introduction

- Slappers utilisés dans de nombreuses applications militaires
- Nécessité d'une fiabilité élevée

- Démonstration de fiabilité historique basée sur la méthode résistance/contrainte
  - Fiabilité portée par l'énergie stockée dans la Mise de Feu

- Changement pour une méthodologie basée sur un paramètre physique

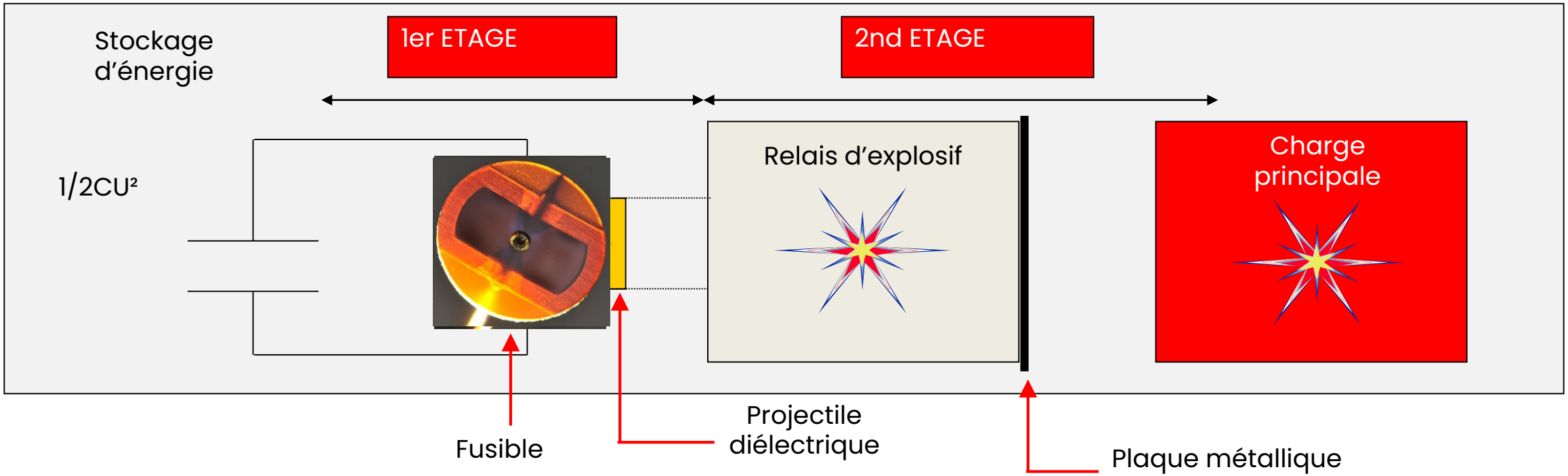
Sommaire

- Evaluation de la fiabilité d'un slapper
- Evolution de la méthode d'évaluation
- Perspectives d'amélioration

1. Evaluation de la fiabilité d'un slapper

Fonctionnement d'un slapper

- Fiabilité portée par 3 éléments :
  - Stockage d'énergie - Mise de Feu (MdF)
  - Fusible
  - Relais



Méthode de Bruceton

- Méthode statistique simple
- Utile pour un produit dont les propriétés sont déjà connues

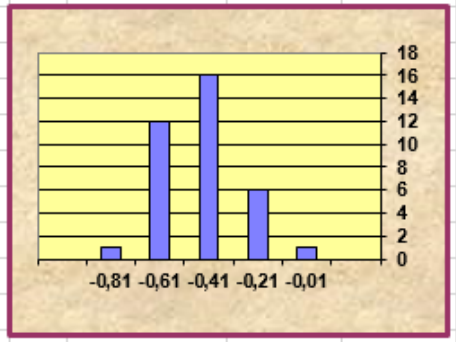
	Numéro de tir																																				
dB	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	4	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	cumul
0,79																																					0
0,59																																					0
0,39																																					0
0,19																																					0
-0,01						1																															1
-0,21					0		1		1		1																						1		1		6
-0,41		1		0				0		0		1		1		1		1		1				1		1		1		1		0		0		1	16
-0,61	0		0										0		0		0		0		1		0		0		0		0		0						12
-0,81																						0															1
-1,01																																					0
-1,21																																					0
-1,41																																					0
-1,61																																					0
-1,81																																					0
-2,01																																					0

Méthode de Bruceton

- Dépouillement => paramètres de fonctionnement suivant une loi normale
- Détermination statistique (loi du χ^2) des seuils de tout-feu et non-feu
  - Plage de fonctionnement du slapper
- Traitement décrit dans le document GTPS 11C

Exploitation des résultats du Bruceton sur 36 exemplaires, selon document GTPS 11C

dB	i	n	in	i^2n
			0	0
-0,01	4	1	4	16
-0,21	3	6	18	54
-0,41	2	16	32	64
-0,61	1	12	12	12
-0,81	0	1	0	0
			0	0
			0	0
	Somme	36	66	146
		Ns	A	B



valeurs calculées

U = 0,471 Val moy = -0,443 dB s = 0,160

θ = 0,833

φ = 0,471

s/d = 0,80 si 0.5 ≤ s/d ≤ 2 alors le test est exploitable

Var(x) = 0,00177 TEST EXPLOITABLE

intervalle de confiance sur la moyenne au niveau de confiance 1 - α = 90%, avec un risque bilatéral :

Pour 1 - α = 0,90 1,645

Prob [-0,512 ≤ P moy ≤ -0,374] = 0,90

intervalle de confiance sur l'écart-type au niveau de confiance 1 - α = 90%, avec un risque bilatéral :

L'écart-type suit une loi en Khi^2

Nu = 16

Pour a/2 = 0.05 et on lit dans la table du Khi^2 7,962

Pour 1-a/2 = 0.95 et on lit dans la table du Khi^2 26,296

Prob [0,09740 ≤ S moy ≤ 0,32150] = 0,90

Pour une proba de réalisation à 99,9%, avec un NC = 90%, le seuil de fonctionnement est : 0,620 dB

Ur = 3,091

Pour une proba de réalisation à 0,5 %, avec un NC = 90%, le seuil de fonctionnement est : -1,340 dB

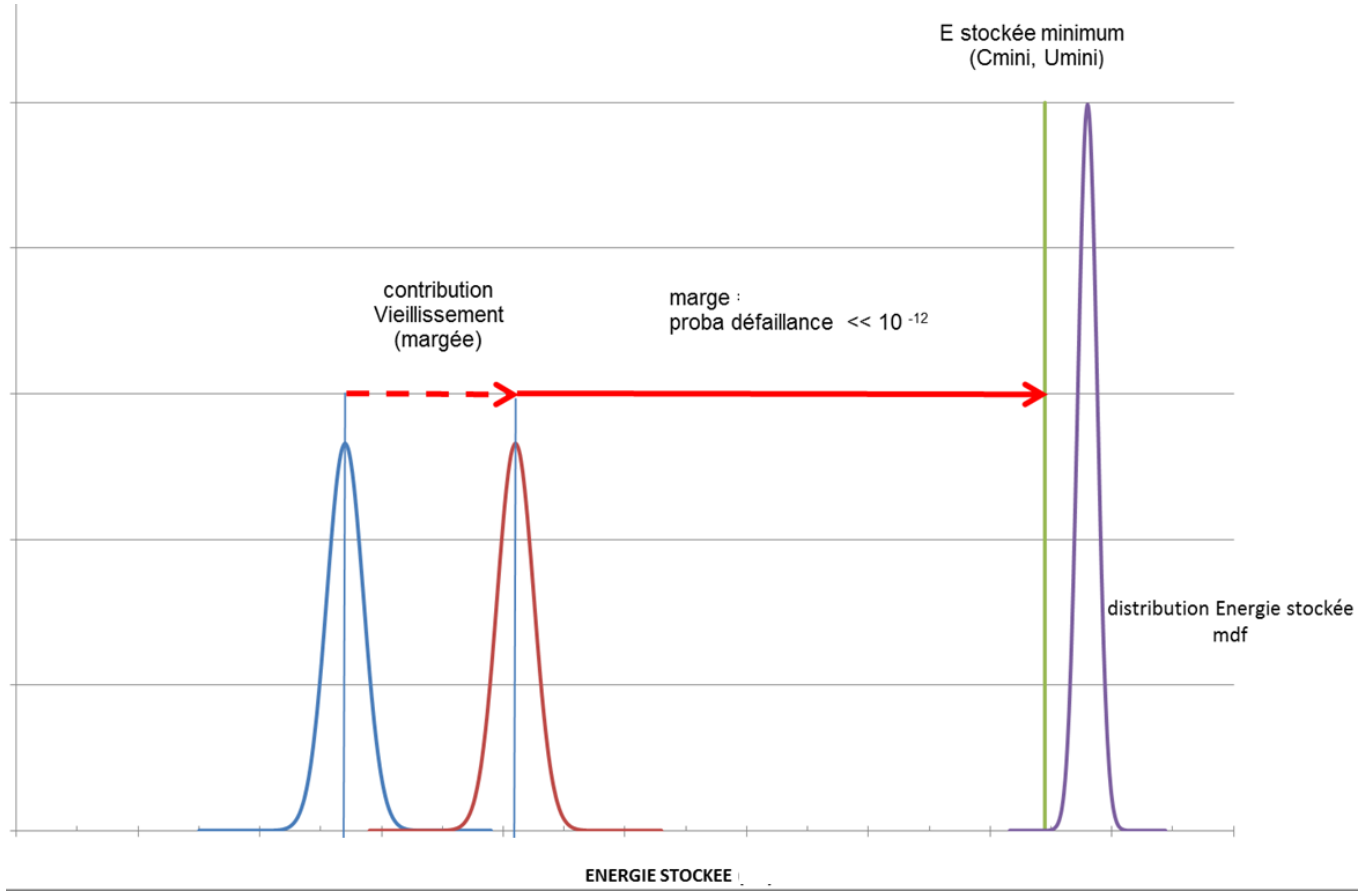
Ur = 2,576

Fiabilité d'un slapper – historique

- Energie de fonctionnement du slapper connue
- Vieillissement pris en compte
- Développement d'une MdF avec stockage d'énergie margé
- Méthode résistance/contrainte

$$\frac{E_{\mathrm{MdF}}}{E_{\mathrm{slapper}}} = marge$$

  - Probabilité de défaillance



2. Evolution de la méthode d'évaluation

Nouvelle approche de la fiabilité

- Changement d'architecture

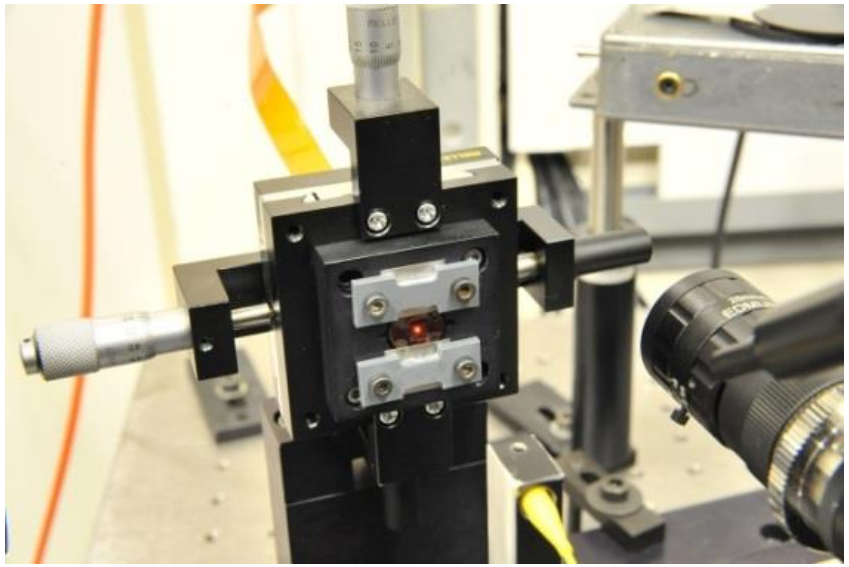
- Révision de la méthode pour optimiser le stockage d'énergie
  - Critère énergie stockée non représentatif
  - Passage à un critère physique : énergie cinétique du fusible

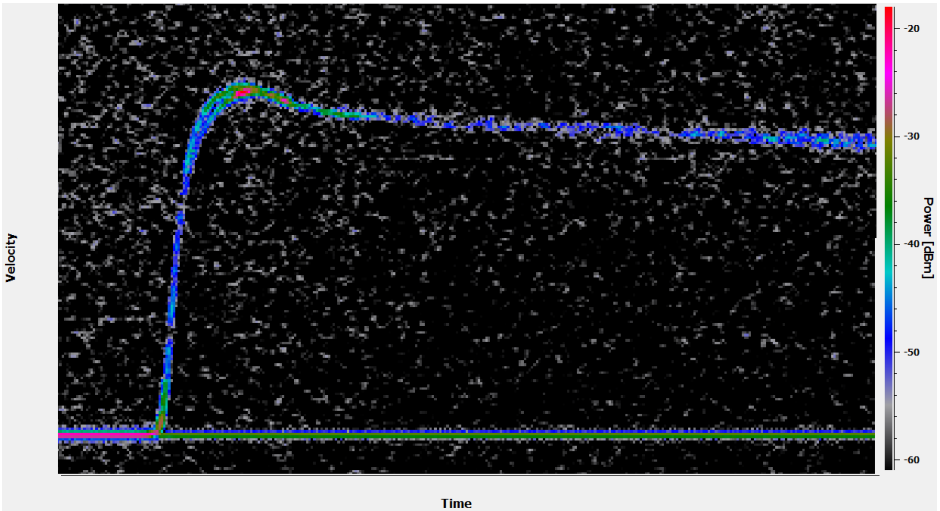
- Nécessité de caractériser la vitesse du projectile
  - Mesures de vélocimétrie hétérodyne (VH)
  - Calculs de magnéto-hydrodynamique (MHD)

Passage à un critère d'énergie cinétique

- Détermination de la vitesse du fusible rendue possible par la VH
- Relation vitesse – énergie stockée dans la MdF

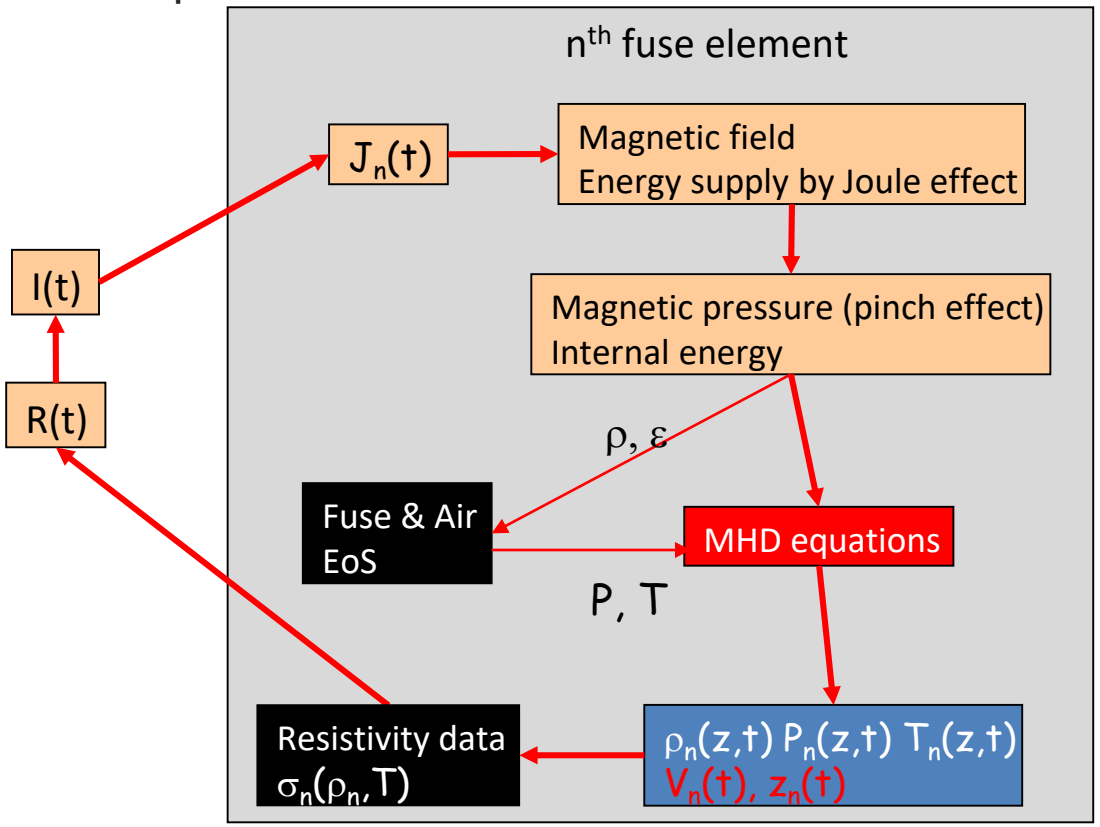
- Simulation numérique du fusible – 2 étages :
  - Simulation électrique : alimentation du fusible
  - Simulation MHD : évolution du comportement thermodynamique du fusible

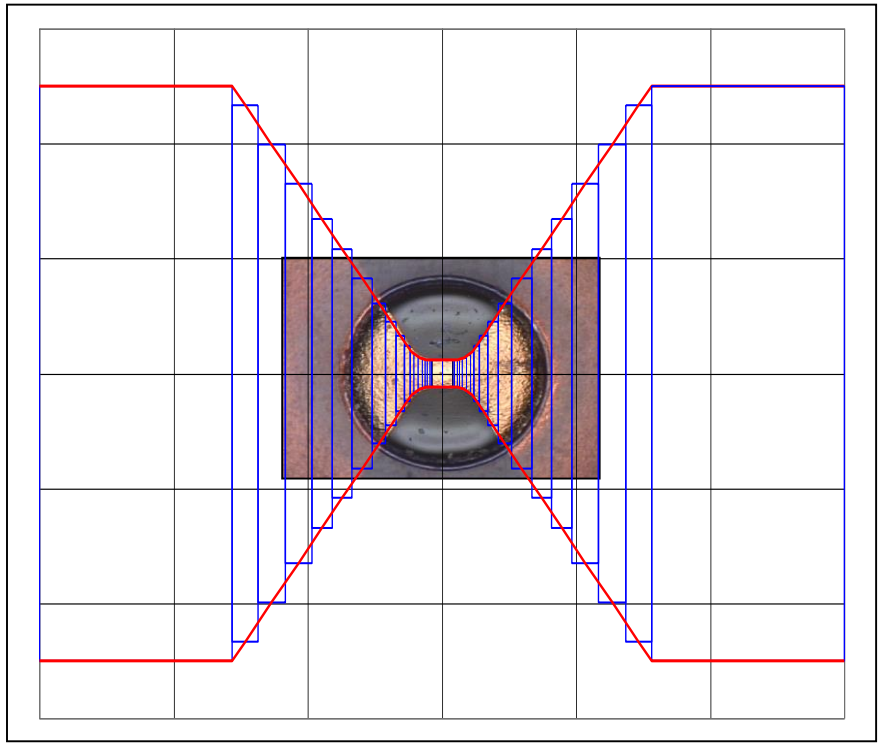




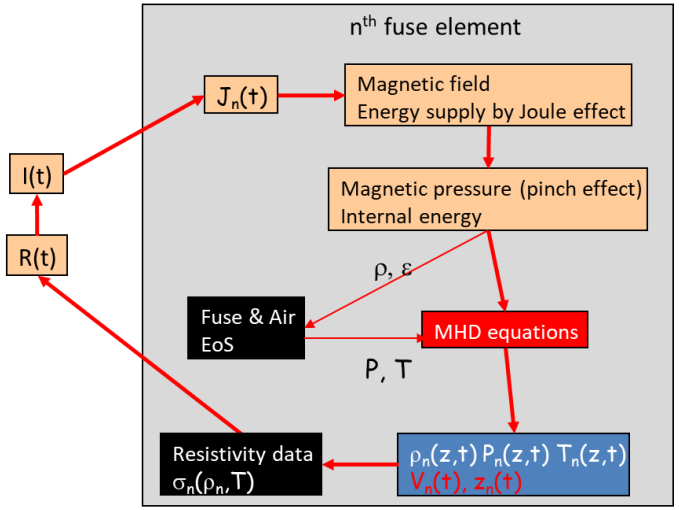
Modélisation MHD

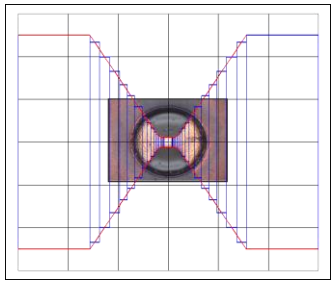
- Fusible discrétisé en n éléments
- Evolution des propriétés de chaque élément
- Calcul électrique ⇔ calcul MHD



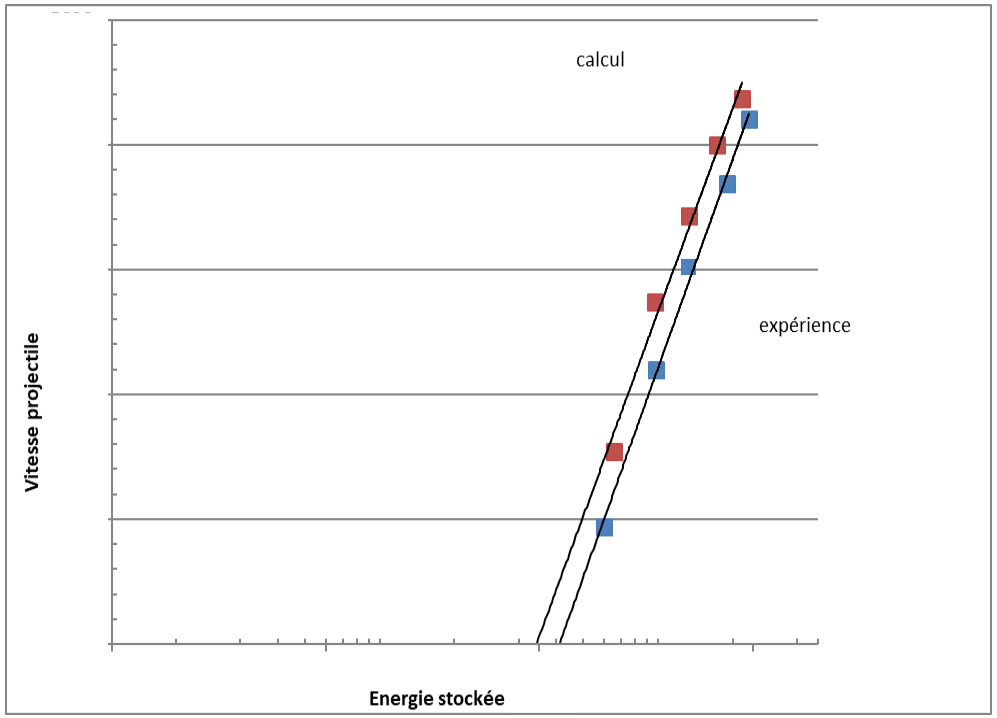


Modélisation MHD



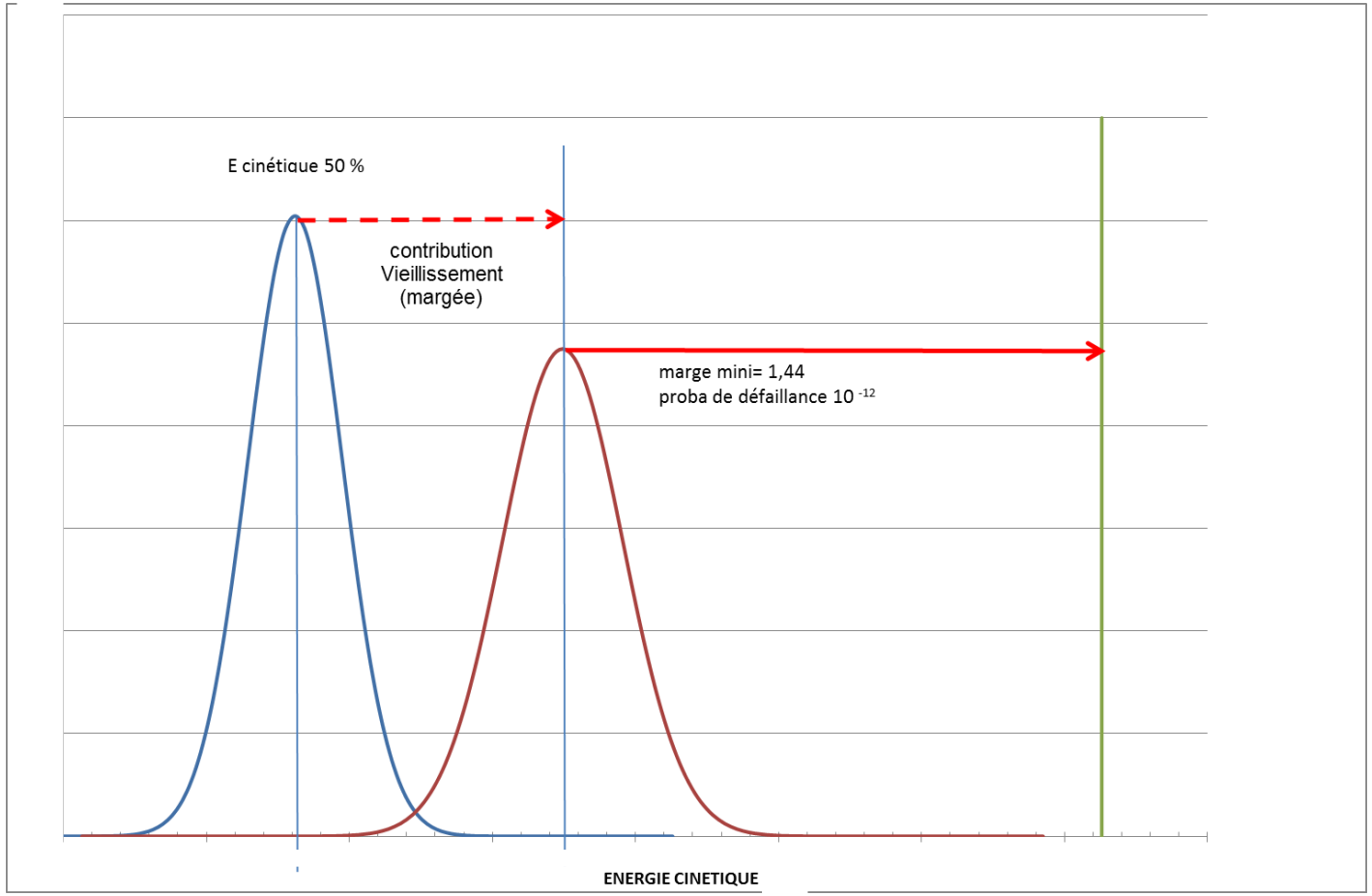


- Fusible discrétisé en n éléments
- Evolution des propriétés de chaque élément
- Calcul électrique ⇔ calcul MHD
- Ecart constant entre le calcul et l'expérience
- Permet de déterminer la vitesse pour tout niveau d'énergie, sans essais supplémentaires



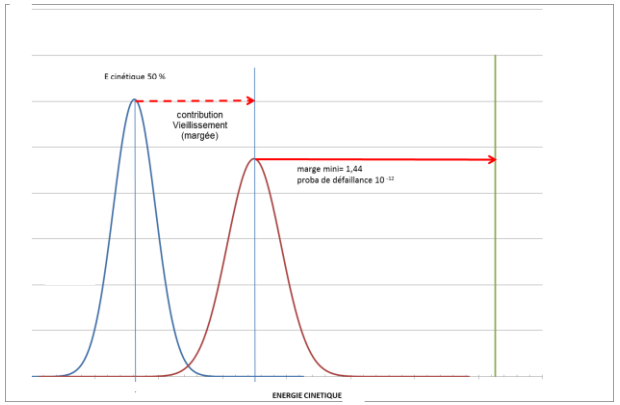
Détermination des marges de fiabilité

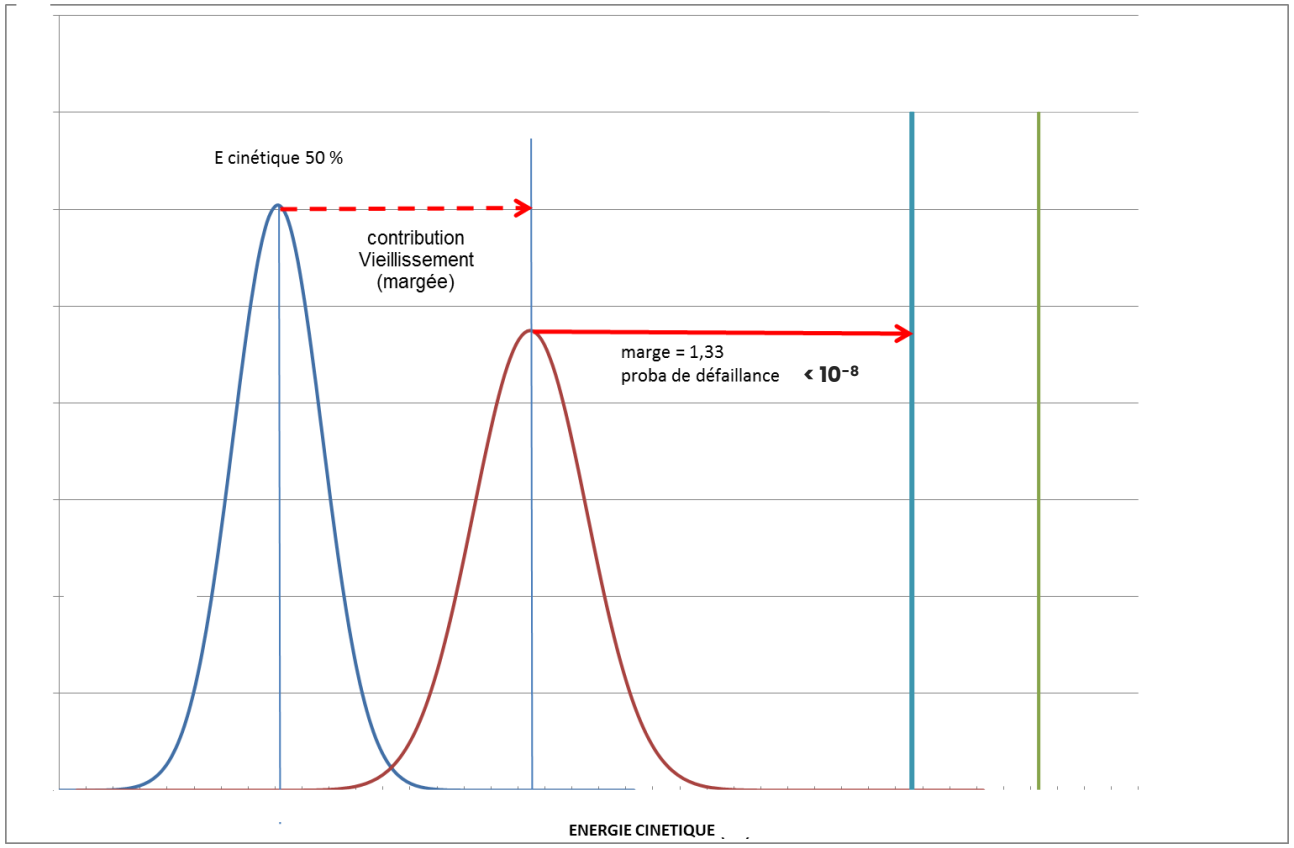
- Changement de critère ne remet pas en cause les démonstrations précédentes



Détermination des marges de fiabilité

- Changement de critère ne remet pas en cause les démonstrations précédentes
- Nouvelle architecture dimensionnée pour un niveau de fiabilité cible

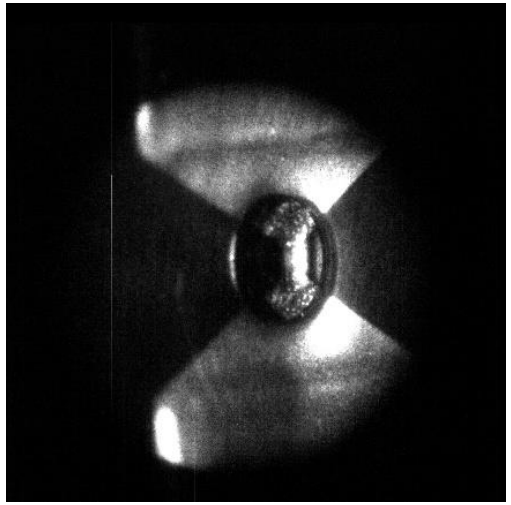




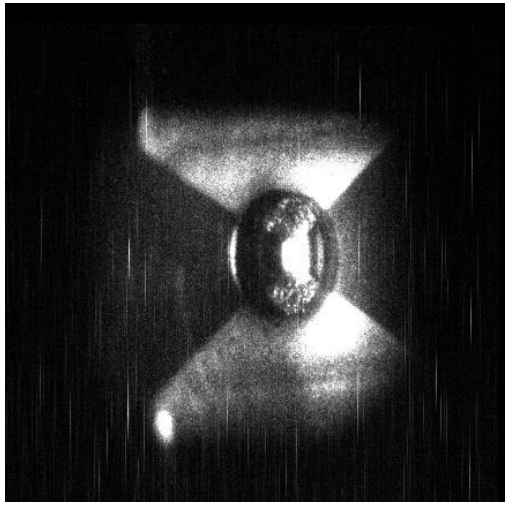
3. Perspectives d'amélioration

Visualisation du projectile

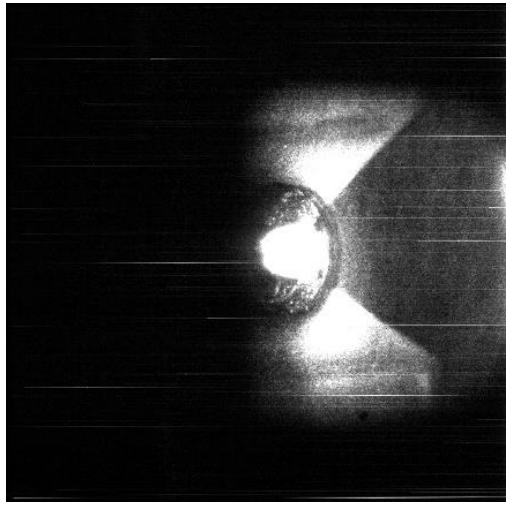
- Acquisition d'une caméra rapide Cordin Z222
- 8 images – temps de pose >1,5ns
- Visualisation de la formation du projectile fusible



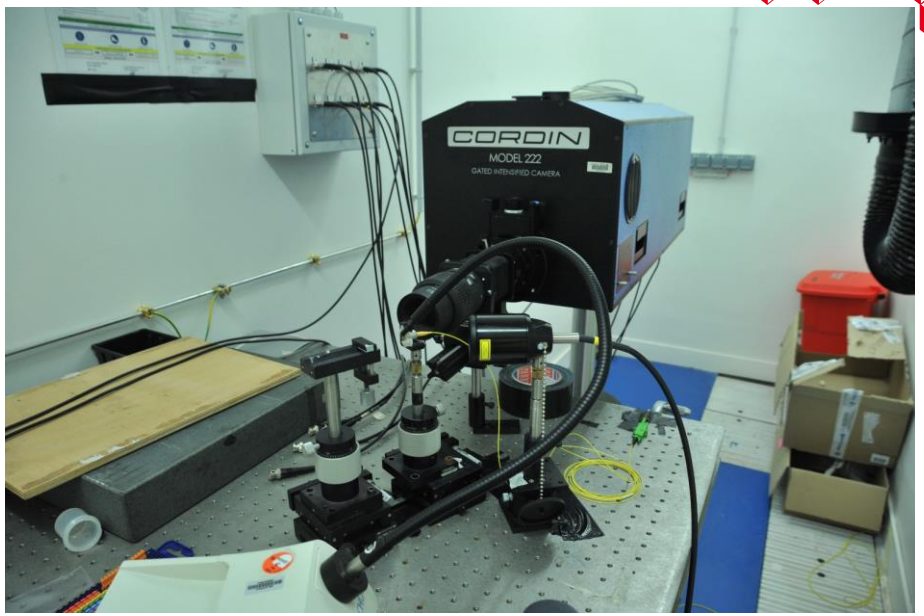
64 ns

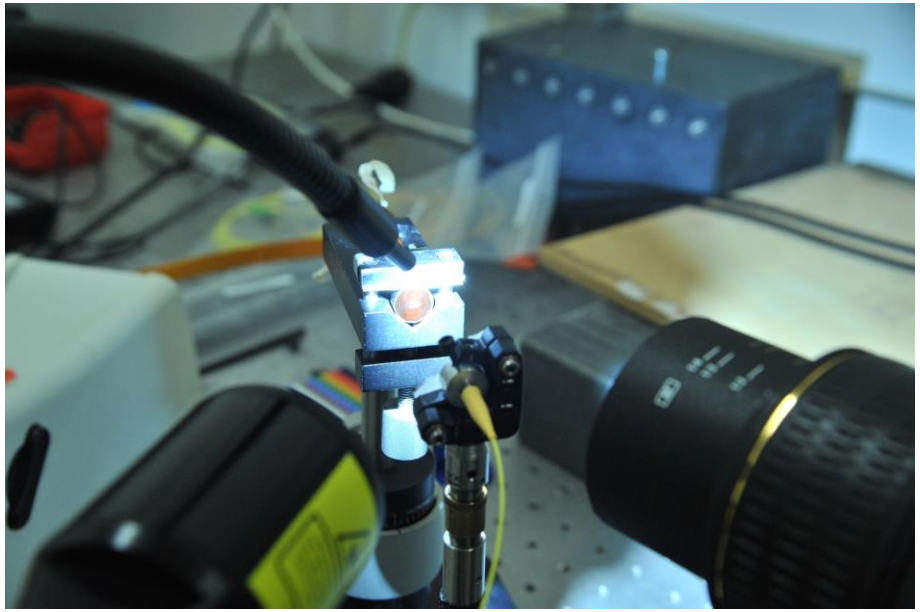


84 ns



164 ns





Modèle numérique

- Amélioration du code nécessaire pour le rendre plus robuste

- Prédiction de la forme du projectile
  - Optimisation de la géométrie du fusible

Conclusion

- Approche fiabilité « historique » suivant la méthode résistance/contrainte
  - Bruceton => seuil de fonctionnement
  - Dimensionnement MdF « large » pour avoir marge de fiabilité

- Changement d'approche contraint par changement d'architecture
  - Optimisation suivant un critère physique
    - Possible grâce à approche duale mesures VH – simulation MHD
  - MdF dimensionnée en visant un niveau de fiabilité

- Perspectives futures
  - Amélioration des diagnostics
  - Amélioration de la simulation

Merci pour votre attention