

CEA CONF. 11270  
FR 930 2332RESUME

Le zirconium est utilisé comme matériau de structure de certains appareils fonctionnant en présence d'acide nitrique, en particulier dans les unités de synthèse de cet acide et dans les usines de retraitement de combustibles irradiés. Ce choix est justifié par le comportement généralement excellent du zirconium dans les milieux nitriques, en raison de la formation d'une couche protectrice d'oxyde à la surface du matériau. Cependant, dans des conditions particulières liées soit au milieu soit à des sollicitations mécaniques, la couche passive peut se dégrader. Dans ces cas, la corrosion généralisée du matériau est accrue et le risque de corrosion sous contrainte apparaît. Cela a conduit à étudier l'influence d'un certain nombre de paramètres sur la passivation du zirconium : milieu, potentiel, température, contrainte, frottement, structure métallurgique et état de surface.

Le comportement électrochimique du zirconium en milieu nitrique bouillant a été caractérisé à l'aide de techniques potentiodynamiques et d'essais d'immersion :

- le matériau reste passif et éloigné de son potentiel de dépassivation dans un large domaine de concentration en acide nitrique (au moins jusqu'à l'azéotrope 14,4 N), sur des durées atteignant 1500 heures, et lorsque la température de peau, sous flux thermique, s'élève jusqu'à 140°C ;
- le matériau reste passif mais se rapproche de son potentiel de dépassivation lorsque la concentration en acide nitrique devient supérieure à 14,4 N ou lorsque des ions oxydants sont présents en solution (Cr(VI) en forte concentration, Ce(IV) dès les faibles concentrations) : le chrome hexavalent a cependant un effet bénéfique sur le pouvoir protecteur de la couche passive ;
- le matériau se dépassive quand il est couplé avec du platine dans l'acide nitrique 14,4 N.

La sensibilité à la corrosion sous contrainte du zirconium a été étudiée à l'aide d'essais à vitesse d'allongement constante, à déformation constante (type U-bend) et sous charge constante. Les facteurs de risque mis en évidence sont les suivants : contrainte très élevée, contrainte perpendiculaire au sens de laminage, potentiel de corrosion supérieur au potentiel de dépassivation, structure métallurgique  $\beta$  simulant une soudure.

La dépassivation du zirconium par frottement mécanique a été mise en évidence, à pression élevée (1 MPa), dans l'acide nitrique 6 N chaud, au moyen d'un tribomètre spécialement adapté.

Enfin, une dissolution continue de combustible irradié de type réacteur à eau sous pression a montré qu'après 70 heures de traitement, le potentiel de corrosion du zirconium, dans les conditions de fonctionnement d'un dissolvant d'une usine de retraitement, restait très inférieur au potentiel de dépassivation.

*Investigation on the corrosion resistance of  
zirconium in nitric acid. Fauvel, A.*

CEA CONF. 1127  
FR 930 2332

ins appareils fonctionnant  
se de cet acide et dans les  
tifié par le comportement  
ison de la formation d'une  
int, dans des conditions  
la couche passive peut se  
t accrue et le risque de  
ce d'un certain nombre de  
température, contrainte.

nitrique bouillant a été  
mersion :  
dans un large domaine de  
14,4 N), sur des durées  
thermique, s'élève jusqu'à

dépassivation lorsque la  
ue des ions oxydants sont  
faibles concentrations) :  
r protecteur de la couche

ide nitrique 14,4 N.

étudiée à l'aide d'essais à  
U-bend) et sous charge  
: contrainte très élevée,  
on supérieur au potentiel

été mise en évidence, à  
moyen d'un tribomètre

pe réacteur à eau sous  
corrosion du zirconium.  
retraitement, restait très

stance of

, A.

#### MOTS CLES

Acide nitrique  
Contrainte  
Courbe de polarisation  
Fissuration  
Frottement  
Passivation  
Usine  
Zirconium

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions Mme GUITARD (SCECF/SECNAU) pour son aide dans la réalisation pratique et matérielle des posters.

DTA/CEREM/DTM/SCECF/SECNAU

RT SCECF 210 (Décembre 1990)

Page 5

## **COMPORTEMENT DU ZIRCONIUM EN MILIEU NITRIQUE**

**P. MUR et P. FAUVET**

DTA/CEREM/DTM/SCECF - CEN/FAR - BP6 - 92265 Fontenay-aux-Roses Cedex, France


DTA/C

## OBJECTIF

Déterminer les limites d'utilisation du Zr dans  $\text{HNO}_3$  par l'étude des conditions de passivation/dépassivation en fonction des paramètres :

- . MILIEU
- . TEMPERATURE
- . CONTRAINTE
- . FROTTEMENT

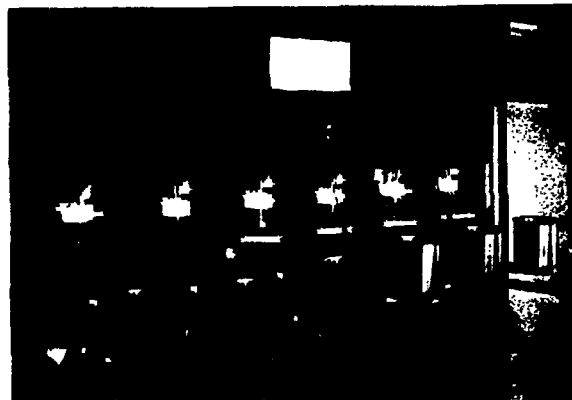
Composition (%)	
Zr + Hf	99,2
Hf max	5
Fe + Cr	0,2
Ni max	0,1
Sn	
Cu max	0,01
Nb	
C max	0,05
H max	0,005
N max	0,01
O max	0,18

- 
- . Fournisseur : CEZUS
  - . Grade 702, spécification retraitement
  - . Structures métallurgiques :
    - $\alpha$
    - $\beta$  ( 3 - 20 min à 1040°C, refroidissement rapide sous argon)
  - . Etats de surface :
    - brut d'usinage (  $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$ ) ou de toilage (  $R_a \leq 2,5 \mu\text{m}$  )
    - décapé (  $R_a \leq 1 \mu\text{m}$  )
  - . Sens de prélèvement : long ou travers par rapport au laminage

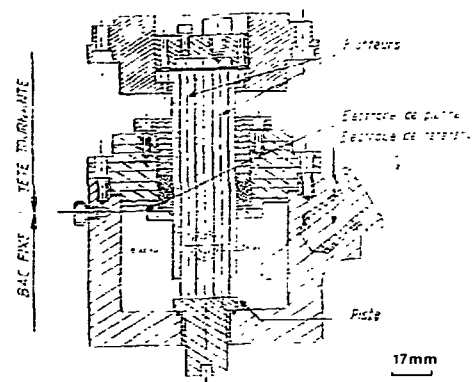
- ecapé (  $R_a \leq 1 \mu\text{m}$  )
- . Sens de prélèvement : long ou travers par rapport au laminage

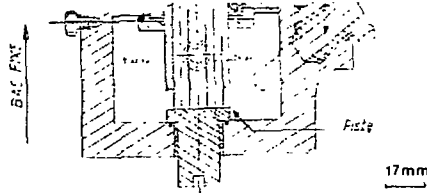
- . Essais potentiocinétiques et potentiostatiques
- . Essais sous contrainte : CERT, U-bend, charge constante
- . Essais sous frottement
- . Essais en jus de dissolution de combustible irradié

*Banc d'essai sous charge constante  
en milieu aqueux*



*Cellule pour essai de frottement en milieu aqueux*





## RESULTATS



### Influence de la concentration en $\text{HNO}_3$ (0,5 - 18 N à l'ébullition)

- . Zr 702 passif dans le domaine étudié
  - . le palier de passivité décroît quand N augmente :
- $\text{HNO}_3$  6N : 730 mV ;  $\text{HNO}_3$  14,4N : 250 mV ;  $\text{HNO}_3 > 14,4\text{N}$  :  $\leq 40$  mV

### Influence d'ions oxydants ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , $\text{Ce}^{\text{IV}}$ dans $\text{HNO}_3$ 14,4 N à l'ébullition)

- . Zr 702 passif même à des concentrations élevées
- . le palier de passivité décroît avec la concentration :

1 g.l <sup>-1</sup>	$\left[ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 75 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : 200 \text{ mV} \end{array} \right.$	6 g.l <sup>-1</sup>	$\left[ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 70 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : 210 \text{ mV} \end{array} \right.$	8 g.l <sup>-1</sup>	$\left[ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 60 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : - \end{array} \right.$
---------------------	---	---------------------	---	---------------------	--

### Influence d'un couplage Pt

- . dépassivation dans  $\text{HNO}_3$  14,4 N à l'ébullition

Influence de la concentration en  $\text{HNO}_3$   
(milieux à ébullition, durée d'immersion : 24 heures)

■ Potentiel de dépassivation  
● Potentiel redox  
○ Potentiel de corrosion

1 g.l<sup>-1</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 75 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : 200 \text{ mV} \end{array} \right.$

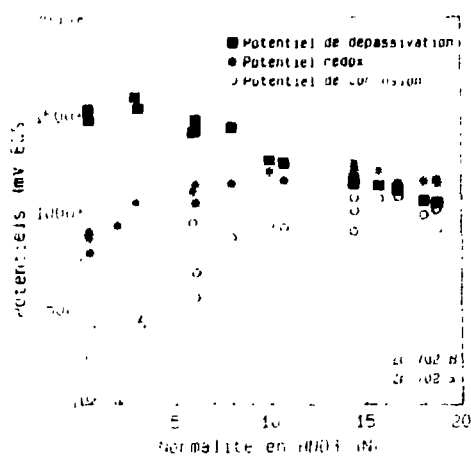
6 g.l<sup>-1</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 70 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : 210 \text{ mV} \end{array} \right.$

8 g.l<sup>-1</sup>  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cr}^{\text{VI}} : 60 \text{ mV} \\ \text{Ce}^{\text{IV}} : - \end{array} \right.$

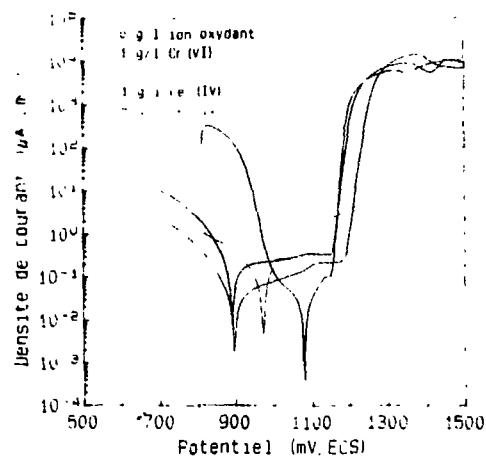
### Influence d'un couplage Pt

. dépassivation dans HNO<sub>3</sub> 14,4 N à l'ébullition

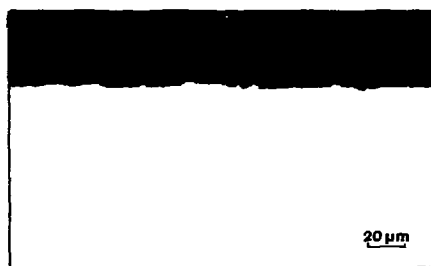
*Influence de la concentration en HNO<sub>3</sub>  
(milieu à ébullition ; durée d'immersion : 24 heures)*



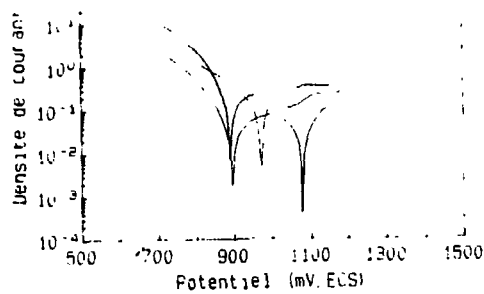
*Influence de la présence d'ions oxydants*



*Métallographie sur coupe  
d'une éprouvette de 7r 702  
(couplage Pt pendant 500 heures)*







(Etude réalisée dans le laboratoire du Professeur Galland  
à l'Ecole Centrale de Paris)

- . Sensibilité notable au frottement dans les conditions étudiées
- . Pertes de masse croissant avec la vitesse et la pression

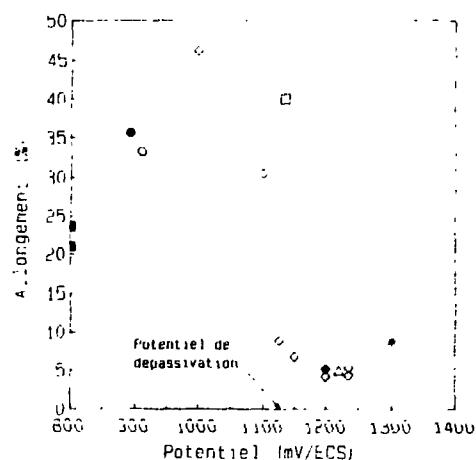
Pertes de masse du zirconium après 24 heures de frottement dans  $HNO_3$  6N  
ramenées à la surface frottée ( $mg\ cm^{-2}\ j^{-1}$ )

Pression (MPa)	1,4	1,4	1,4	4,2	4,2	6,9
Vitesse ( $tr\ min^{-1}$ )	1	10	100	1	10	1
T = 25°C Frotteurs $Al_2O_3$ (1300 HV)	23	123	1012	67	423	103
T = 25°C Frotteurs en acier Z1 CN 17 15 écroui 30% (300 HV)				202	448	
T = 98°C Frotteurs en acier Z1 CN 17 15 écroui 30% (300 HV)				162	329	

(1300 HV <sup>3</sup> )	67	423	103
T = 25°C Frotteurs en acier Z1 CN 17 15 écaoui 30% (300 HV)	202	448	
T = 98°C Frotteurs en acier Z1 CN 17 15 écaoui 30% (300 HV)	162	370	

(HNO<sub>3</sub> 14,4N à l'ébullition)

### . Essais CERT ( $\alpha$ , sens travers)



- potentiel libre
- . rupture ductile
- . allongement à rupture : 40 %
- . initiation de fissures à contrainte élevée
- potentiel  $\geq$  potentiel de dépassivation
- . rupture fragile, transgranulaire
- . diminution de l'allongement ( $A \approx 5 \%$ )

### . Essais U-bend ( $\alpha$ et $\beta$ )

- potentiel libre : pas de fissure à 6 mois
- couplage Pt :
  - .  $\alpha$  sens travers : rupture à 1 mois
  - .  $\alpha$  sens long : pas de fissure à 6 mois
  - .  $\beta$  sens long et travers : initiation de fissures à 6 mois ( $\leq 100 \mu\text{m}$ )



- potentiel libre : pas de fissure à 6 mois

- couplage Pt :

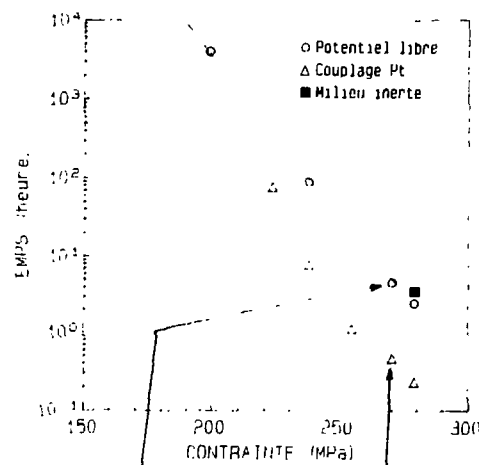
.  $\alpha$  sens travers : rupture à 1 mois

.  $\alpha$  sens long : pas de fissure à 6 mois

.  $\beta$  sens long et travers : initiation de fissures à 6 mois ( $\leq 100 \mu\text{m}$ )



### . Essais sous charge constante ( $\alpha$ , sens travers)



- potentiel libre

. rupture ductile à toute contrainte (200 - 270 MPa)

. absence de fissure pour  $\sigma \leq 240$  MPa

. fissures observées à 270 MPa

- couplage Pt

. dans tous les cas, rupture fragile et diminution du temps et de l'allongement à rupture ( $\approx 5\%$ )



### . Facteurs de risque

- CONTRAINTE TRES ELEVEE

- STRUCTURE BETA

- POTENTIEL ELEVE

- SENS TRAVERS

## . Facteurs de risque

- CONTRAINTE TRES ELEVEE
- STRUCTURE BETA
- POTENTIEL ELEVE
- SENS TRAVERS



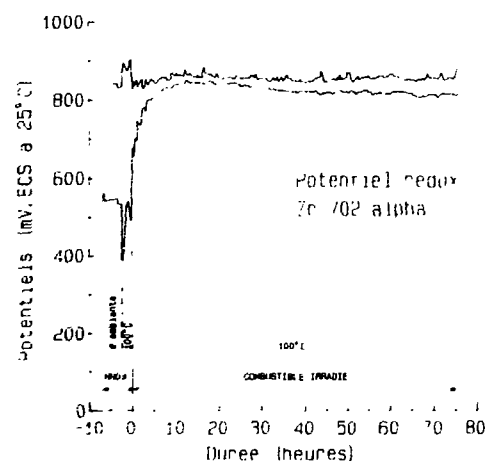
## . Conditions expérimentales

- combustible REP 900 MW;  $^{235}\text{U}$  3,1 %  
taux d'irradiation :  $53300 \text{ MW.j.t}^{-1}$   
temps de refroidissement : 2145 jours
- dissolution continue ( $126 \text{ g.h}^{-1}$ ) dans  $\text{HNO}_3$  5,4N ( $484 \text{ cm}^3.\text{h}^{-1}$ );  
température :  $100^\circ\text{C}$ ; durée : 75 heures
- suivi du potentiel rédox et du potentiel de corrosion  
de Zr 702 (échantillon  $\text{Ø} 8 \text{ mm}$ ,  $S = 10 \text{ cm}^2$ )

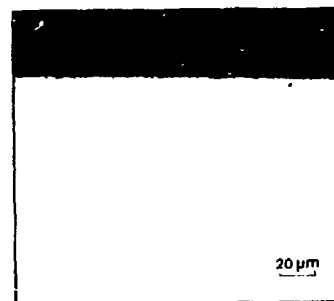
## . Résultats

- potentiels constants en régime stationnaire ( $t > 20$  heures)
  - $E_{\text{rédox}} = 830 \text{ mV/ECS}$
  - $E_{Zr} = 790 \text{ mV/ECS}$
- aspect après essai :
  - . échantillon recouvert de fines
- variation de masse après élimination des fines :  $+ 0.76 \text{ mg.dm}^{-2}.\text{j}^{-1}$
- pas de différence significative avec les résultats obtenus en inactif ( $\text{HNO}_3$  2 - 6 N)

Potentiel rédox et potentiel de corrosion du zirconium au cours de la dissolution de combustible irradié



Métallographie sur coupe, après élimination des fines



CONCLUSION

20  $\mu$ m

## CONCLUSION

### . Zr reste passif

- dans un large domaine de concentration en  $\text{HNO}_3$  (supérieure à 14,4 N)
- en présence d'ions oxydants ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ ,  $\text{Ce}^{\text{IV}}$ )
- en milieu de dissolution de combustible irradié

### . Zr se dépassive

- avec couplage Pt dans  $\text{HNO}_3$  14,4 N; ce qui entraîne une corrosion généralisée importante et un risque de corrosion sous contrainte
- sous frottement à pression et vitesse élevées

**Ces deux situations ne correspondent pas aux conditions nominales de fonctionnement d'une usine de retraitement.**

- sous frottement à pression et vitesse élevées

**Ces deux situations ne correspondent pas aux conditions nominales de fonctionnement d'une usine de retraitement.**

br 1990)

Page 16

## SUITE DE L'ETUDE

Seront particulièrement considérés :

- le comportement sous flux thermique
- la tenue sous contrainte des zones soudées
- le comportement électrochimique en milieu actif
- le comportement en présence de condensats nitriques ou d'iode
- la résistance au frottement (pression et vitesse limites)

DTA/CEREA/DTM/SCECF/SECNAU

RT SCECF 210 (Decembre 1990)

Page 17

DTA/CE

Investigation on corrosion  
Zirconium in nitric acid. Fauriol, A.

# INVESTIGATION ON THE CORROSION RESISTANCE OF ZIRCONIUM IN NITRIC ACID

P. FAUVET, P. MUR and J.SANNIER

DTA/CEREM/DTM/SCECF - CEN/FAR - BP6 - 92265 Fontenay-aux-Roses Cedex, France



In new re rocessing



[REDACTED]

In new reprocessing plants such as La Hague extensions, Zr is used as structural material for components working in the most severe conditions.

This choice has been justified by the excellent behaviour of Zr in  $\text{HNO}_3$ , due to the formation of a protective oxide layer.

[REDACTED]

Thorough knowledge of the passivation-depassivation conditions of Zr in  $\text{HNO}_3$  versus the parameters :

- . MEDIUM
- . TEMPERATURE
- . STRESS
- . MECHANICAL FRICTION

in order to detect particular chemical or mechanical conditions liable to deteriorate the passivation layer, thus increasing generalized corrosion and risk of stress corrosion cracking.

[REDACTED]

[REDACTED]

in order to detect particular chemical or mechanical conditions liable to deteriorate the passivation layer, thus increasing generalized corrosion and risk of stress corrosion cracking.

[Redacted]

[Redacted]

- . Supplier : CEZUS
- . Grade 702, reprocessing specifications :

Composition (%)	Zr + Hf	Hf max	Fe + Cr	Ni max	Sn	Cu max	Nb	C max
	99.2	5	0.2	0.1	-	0.01	-	0.05
Composition (%)	H max	N max	O max					
	0.005	0.01	0.18					

- . Metallurgical states :
  - $\alpha$
  - $\beta$  (3 - 20 min at 1040 °C, cooling under argon)
- . Surface states :
  - machined (roughness  $r \leq 0.2 \mu\text{m}$ )
  - grinded ( $r \leq 2.5 \mu\text{m}$ )
  - pickled ( $r \leq 1 \mu\text{m}$ )
- . Cutting directions (in relation to rolling direction) :
  - longitudinal
  - transverse

[Redacted]

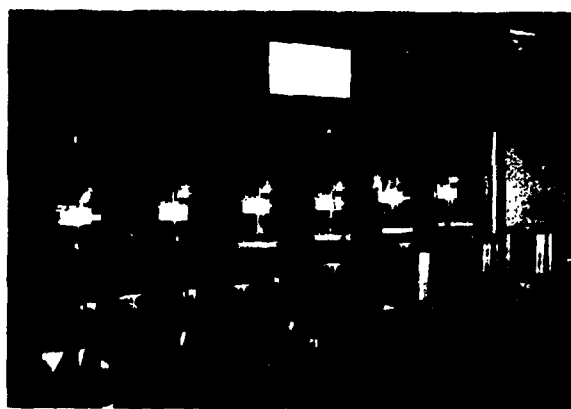
- . Potentiodynamic and potentiostatic tests

**OB**  
Dété  
des c  
para

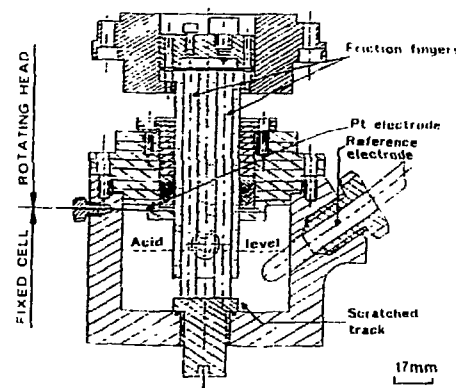
- grinded ( $r \leq 2.5 \mu\text{m}$ )
- pickled ( $r \leq 1 \mu\text{m}$ )
- . Cutting directions (in relation to rolling direction) :
  - longitudinal
  - transverse

- . Potentiodynamic and potentiostatic tests
- . Tests under mechanical friction
- . Stress corrosion tests : CERT, U-bend, constant load
- . Tests in spent fuel dissolution solution

*Devices for  
constant load tests in  $\text{HNO}_3$*



*Device for  
mechanical friction tests in  $\text{HNO}_3$*



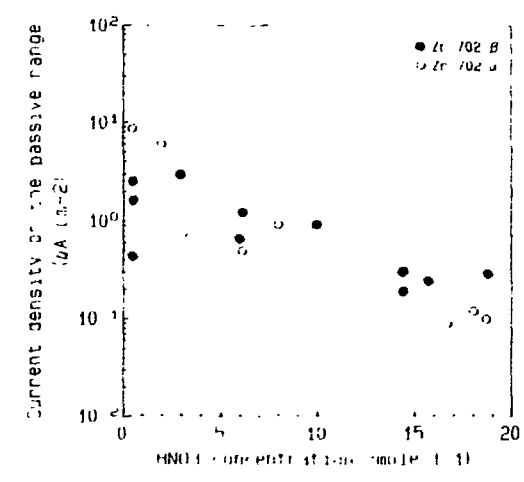
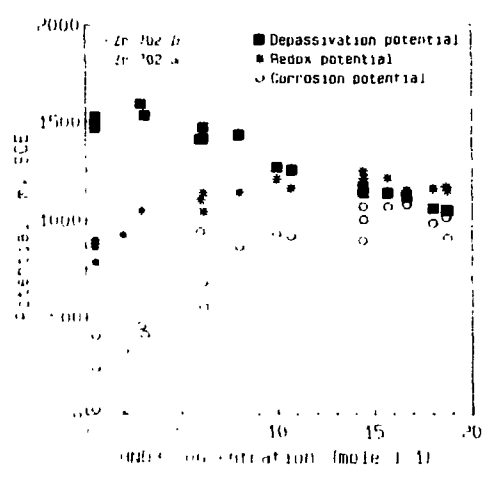


[Redacted]

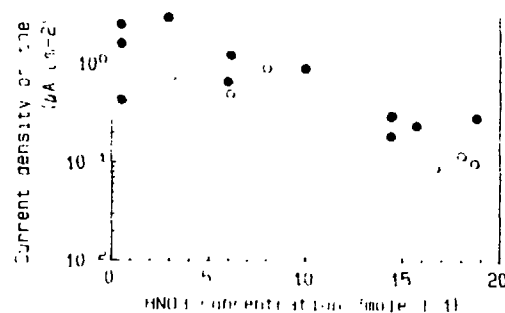
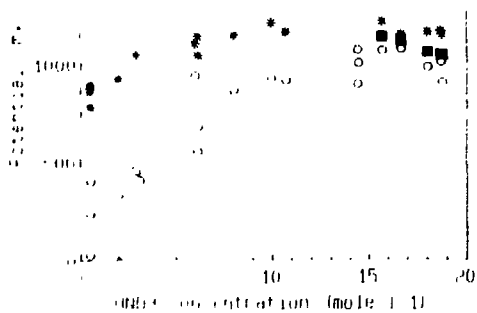
[Redacted]

### Influence of HNO<sub>3</sub> concentration (boiling 0.5-18N HNO<sub>3</sub>)

- . Zr  $\alpha$  and  $\beta$  remain passive
- . Zr  $\alpha$  and  $\beta$  have the same behaviour when the concentration increases :
  - the range of passivity decreases  
(6N : 730 mV ; 14.4N : 250 mV ;  $\geq$  16N :  $\leq$  40 mV)
  - the current density (very low) decreases

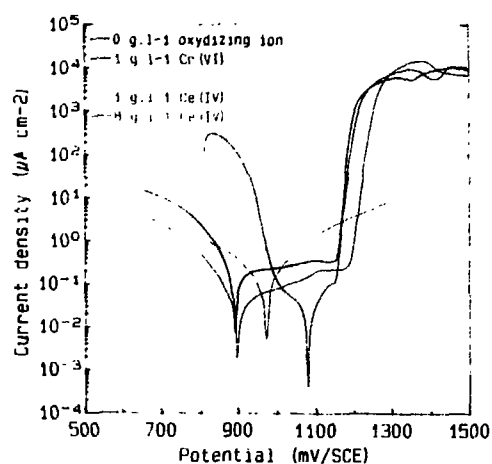


### Influence of oxidizing ions (Cr<sup>VI</sup>, Ce<sup>IV</sup> in boiling 14.4N HNO<sub>3</sub>)



### Influence of oxidizing ions ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , $\text{Ce}^{\text{IV}}$ in boiling 14.4N $\text{HNO}_3$ )

- . Zr  $\alpha$  remains passive even at high concentration
- . the range of passivity decreases with concentration:



1 g.l-1		$\text{Cr}^{\text{VI}}$ : 75 mV
		$\text{Ce}^{\text{IV}}$ : 200 mV
6 g.l-1		$\text{Cr}^{\text{VI}}$ : 70 mV
		$\text{Ce}^{\text{IV}}$ : 210 mV
8 g.l-1		$\text{Cr}^{\text{VI}}$ : 60 mV
		$\text{Ce}^{\text{IV}}$ : -

### Influence of a Pt coupling

- . depassivation of Zr  $\alpha$  in boiling 14.4N  $\text{HNO}_3$

Cross-section micrography after 500-hour Pt coupling in 14.4N  $\text{HNO}_3$



RES

Influe

. Z

. le

$\text{HNO}_3$

Influe

. Zr

. le

1 g.l

Influe

. dé

# Influence of a Pt coupling

Cross-section micrography after  
500-hour Pt coupling in 14.4N HNO<sub>3</sub>

depassivation of Zr  $\alpha$   
in boiling 14.4N HNO<sub>3</sub>



1990

Page 23

Fig. 1

Influen  
. de

noticeable sensitivity of Zr  $\alpha$  to friction  
for the investigated velocities and pressures  
weight losses increasing with velocity and pressure

Zr weight losses after 24-hour mechanical friction  
in 6N HNO<sub>3</sub> (mg.cm<sup>-2</sup> friction area .d<sup>-1</sup>)

Pressure (MPa)	1.4	1.4	1.4	4.2	4.2	6.9
Velocity (rpm)	1	10	100	1	10	1
T = 25°C Friction fingers: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1300 HV)	23	123	1012	67	423	103
T = 25°C Friction fingers: Z1 CNS 18.15 30% cold-worked (300 HV)	-	-	-	202	448	-
T = 98°C Friction fingers: Z1 CNS 18.15 30% cold-worked (300 HV)	-	-	-	162	329	-

DTA/CEREM/DTM/SCCE/SECNAU

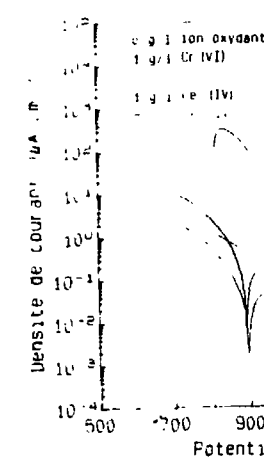
RT SCECE 210 (Decembre 1990)

Page 24

Influence de la  
milieux a ebullition.



Influence de la presen



(boiling 14.4N HNO<sub>3</sub>)

DTA/CE

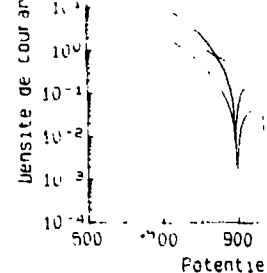
(300 HV)

T = 98°C  
Friction fingers:  
Z1 CNS 18.15  
30% cold-worked  
(300 HV)

162 329

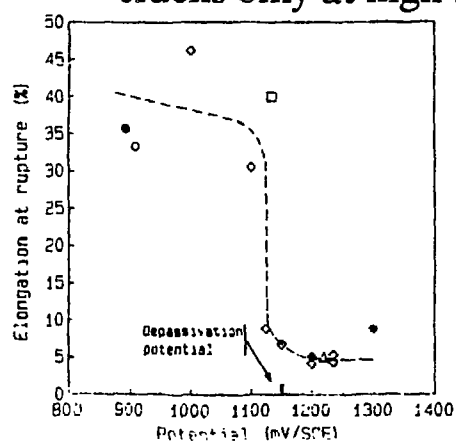
Page 1990

Page 24



(boiling 14.4N HNO<sub>3</sub>)  
**Constant elongation rate tests (  $\alpha$  , transverse cut)**

- . at corrosion potential :
  - ductile rupture
  - no decrease in elongation at rupture compared to an inert medium (  $\approx 40\%$  )
  - initiation of cracks only at high stress
- . at potential  $\geq$  depassivation potential :
  - transgranular brittle rupture
  - considerable decrease in elongation (  $\approx 5\%$  )
  - cracks only at high stress



Rupture facies  
(ductile) observed  
at  $E_{corr}$



Rupture facies  
(brittle) observed  
at 1150 mV/SCE



DTA/CERN/DTM/SCE/SECNAU

RT SCECF 210 (Decembre 1990)

Page 25

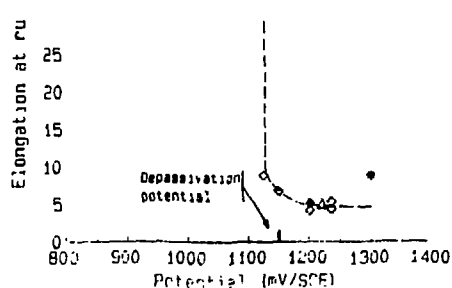
(Etud  
à l'Ec

. Se

. Pe

**U-bend constant strain tests**  
(  $\alpha$  and  $\beta$  ; 6 months treatment)

DTA/CERN



Rupture facies  
(brittle) observed  
at 1150 mV/SCE



### U-bend constant strain tests

( $\alpha$  and  $\beta$  ; 6 months treatment)

. at corrosion potential :

- no crack

. with Pt coupling :

-  $\alpha$  , transverse cut :

brittle rupture (after 1 month treatment)

-  $\alpha$  , longitudinal cut : no crack

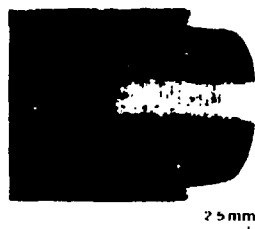
-  $\beta$  , longitudinal or transverse cut :  
initiation of cracks ( $\leq 100 \mu\text{m}$ )

- no influence of surface state  
(grinded or pickled)

Macrography

of a U-bend specimen of Zr $\alpha$ , transverse cut.

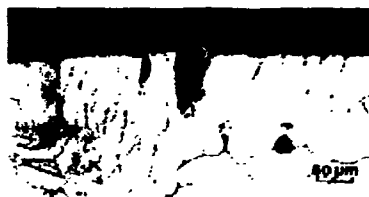
after 1 month treatment



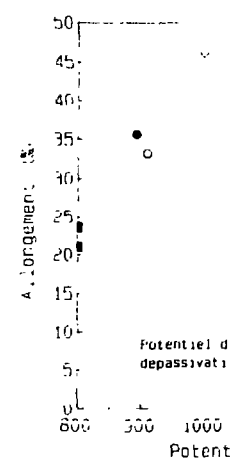
Cross-section micrography, with structure etching.

of a U-bend specimen of Zr $\beta$ , transverse cut.

after 6 months treatment



### . Essais



### . Essais

- pote

- coup

.  $\alpha$  se

.  $\alpha$  se

.  $\beta$  se

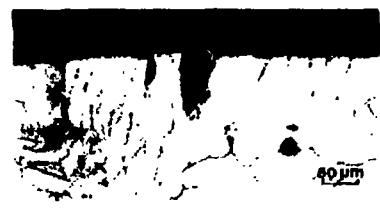
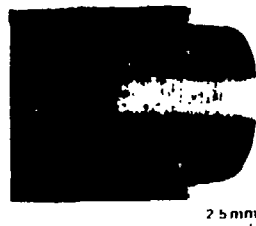
### Constant load tests ( $\alpha$ , transverse cut)

. at corrosion potential :

- ductile rupture at an stress 20 -

### . Essais

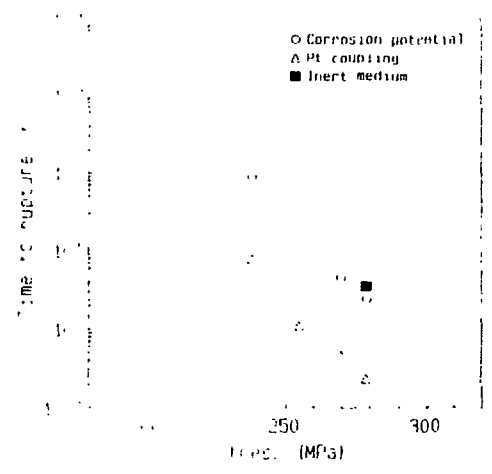




- pote
- coupl
- . α sei
- . α sei
- . β sei

**Constant load tests (σ, transverse cut)**

- . at corrosion potential :
  - ductile rupture at any stress (200-280 MPa)
  - $\sigma \leq 240$  MPa : no crack ;  $\sigma \geq 270$  MPa : cracks
  - 280 MPa : time to rupture unaffected by HNO<sub>3</sub>
- . with Pt coupling : at any stress (220-280 MPa),
  - brittle rupture
  - decrease in time and elongation to rupture(5%)



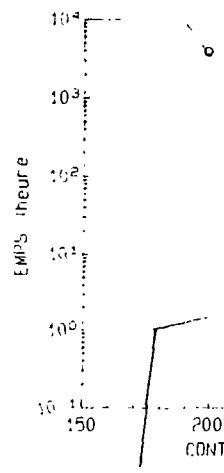
270 MPa Corrosion potential  
Cross section micrographes after test  
270 MPa - Pt coupling



**Factors increasing SCC risks**

- . VERY HIGH STRESS . TRANSVERSE STRESS
- . HIGH POTENTIAL . β STRUCTURE

**. Essais s**



**. Facteurs**

- CO
- PO1

**Factors increasing SCC risks**

- . VERY HIGH STRESS . TRANSVERSE STRESS
- . HIGH POTENTIAL .  $\beta$  STRUCTURE

**Experimental conditions**

- . fuel : PWR 900 MW ;  $^{235}\text{U}$  3.1%  
burn-up : 53300 MWd.t<sup>-1</sup>  
cooling time : 2145 days

- . continuous dissolution ( $126 \text{ g.h}^{-1}$ )  
in 5.4N  $\text{HNO}_3$  ( $484 \text{ cm}^3.\text{h}^{-1}$ )  
temperature : 100 °C  
duration : 75 hours

- . continuous measurement of
  - redox potential of the solution
  - corrosion potential of  $\text{Zr}\alpha$

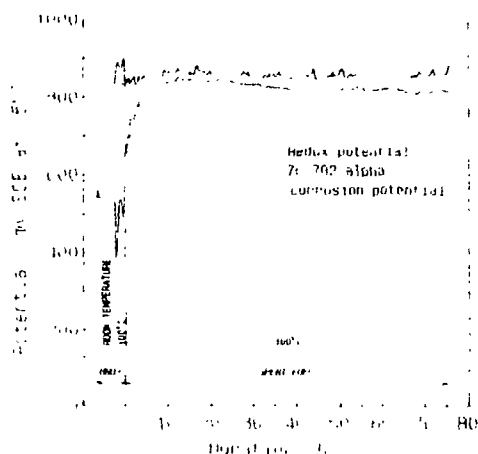
**Results**

- . potentials constant in steady state conditions  
(  $t > 20$  hours ) :

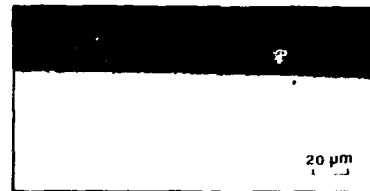
$$E_{\text{redox}} = 830 \text{ mV/SCE} \quad E_{\text{Zr}} = 790 \text{ mV/SCE}$$

- aspect after test : specimen covered with fines
  - after elimination of fines :
    - weight variation : + 0.76 mg.dm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>
    - no corrosion on cross-section micrography
- No significant difference  
with behaviour in inactive 2-6N HNO<sub>3</sub>**

*Redox potential and Zr corrosion potential during a continuous spent fuel dissolution*



*Cross-section micrography of Zr specimen after elimination of fines*



- Zr remains passive
  - in a large range of HNO<sub>3</sub> concentration
  - at 1

- [REDACTED]
- . Zr remains passive
    - in a large range of HNO<sub>3</sub> concentration (at least up to 14.4N)
    - in the presence of oxidizing ions (Cr<sup>VI</sup>, Ce<sup>IV</sup>)
    - in a spent fuel dissolution solution
  - . Zr is depassivated
    - with Pt coupling in 14.4N HNO<sub>3</sub>; this situation leads to a high generalized corrosion and to a risk of stress corrosion cracking at high stress.
    - under mechanical friction at high velocity or pressure

**These two situations are outside of the working conditions of a reprocessing plant.**

- [REDACTED]
- . behaviour under heat transfer
  - . stress corrosion of welded zones
  - . electrochemical behaviour in active media
  - . influence of nitric condensates and of iodine
  - . limit of resistance to mechanical friction

C

. Z

. Zr

Ces  
nom