

# Selecting surface treatments: « ready-made strategies ».

*Examples for the power industry.*

*European Days, Strasbourg, 19-20 March 2009*

Pierre J.D. D'Ans\*, André Bertrand\*, François  
Barthélemy\*\*, Jean-Marie-Jacquet\*\*, Marc Degrez\*

\* ULB – Ecole Polytechnique (Bruxelles)

\*\*Facultés Universitaires N-D de la Paix (Namur)

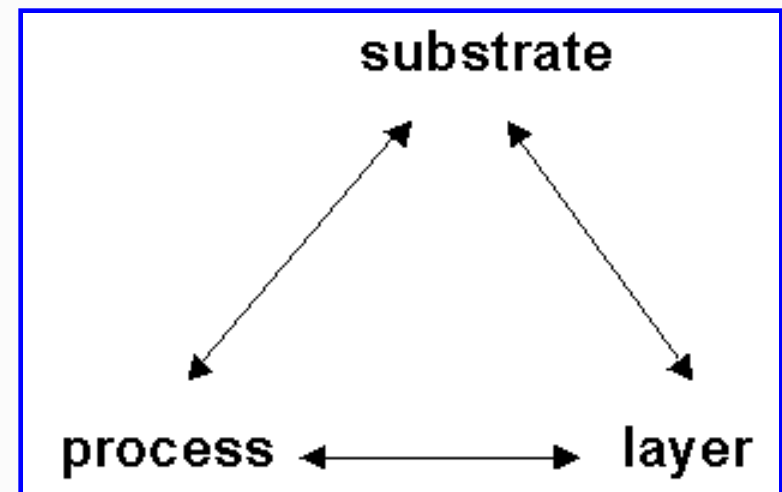
# Introduction

Selecting materials and processes:

- Experts
- Databases
- Performance indices: CES software

Selecting surface treatments:

- Different natures: structural modifications, diffusion layers, conversion layers, coatings
- Lack of representative numerical data (ex. wear)
- Surface treatments « triangle »:
- Use of multiple treatments



# Introduction

Surface treatments: need for specific tools:

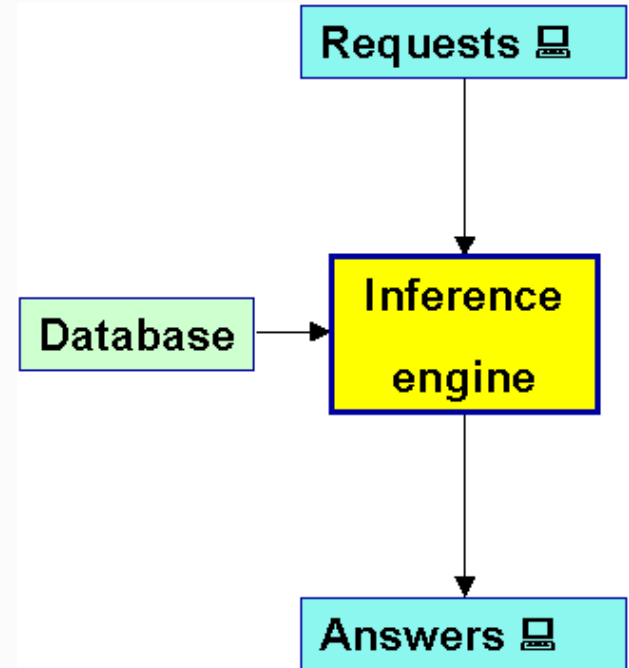
- Pedagogical use
- Design assistance
- Combining treatments: need of further developments

Components of these systems:

- Database
- Calculator
- Expert system

« Map » of this paper:

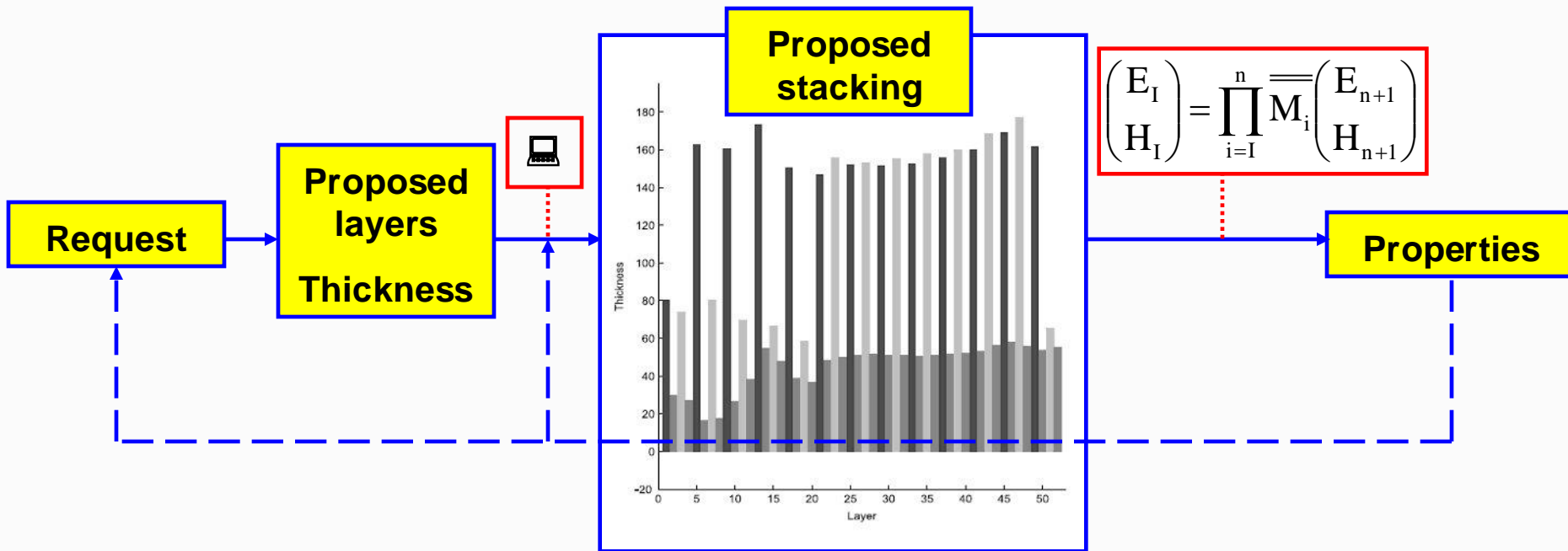
- Reviewing existing approaches
- Proposing a new expert system allowing to « stack » treatments:  
EXPESURF
- Discussion



# Short review: 1. optical multilayers

Principle:

- Combining multiple coatings allows to filter given wavelengths



- Very specific

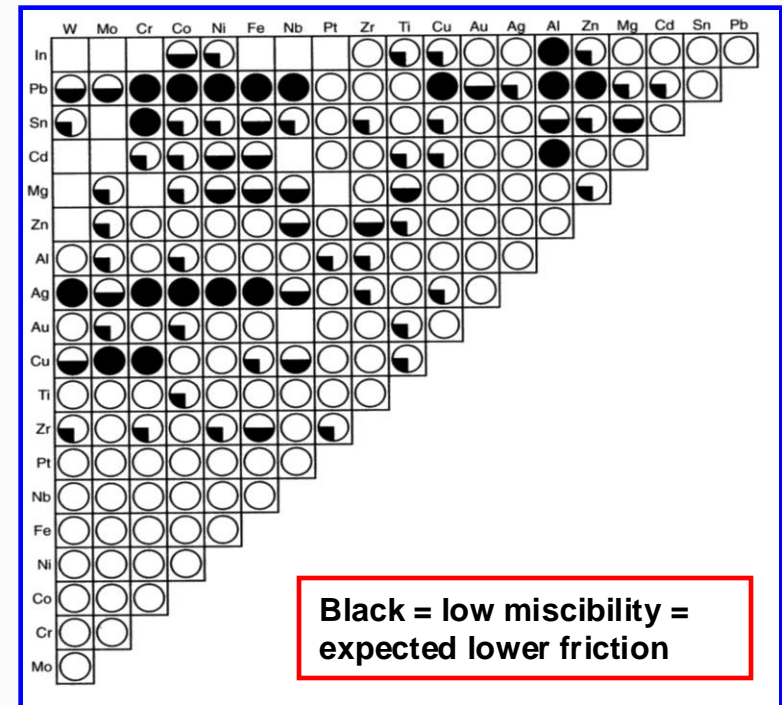
# Short review: 2. tribology

Use of « rules of thumb »:

- Maximising « H/E »
- Miscibility data
- Contact models for coated materials (ex. Leroy and Villechaise)

→ PRECEPT (Franklin et al., 1995)

- Expert system with database
- Mono-treatments



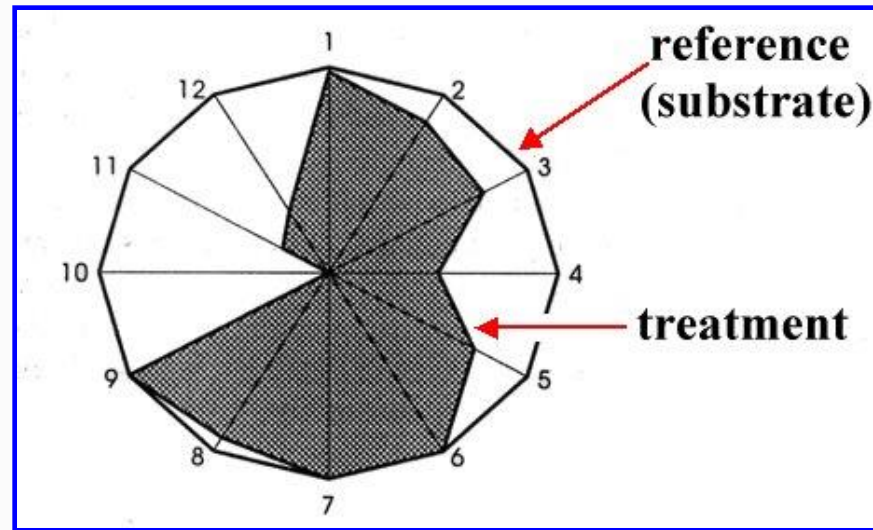
# Short review: 2. tribology

Radar plots (redrawn from Galerie et al.)

- Performance index

$$C_i^* = \left( \frac{C_C}{C_S} \right)^\kappa$$

$$\kappa = \pm 1$$



Specific approaches:

- Thermal fatigue: thermal cycles
- Input: substrate + (multi-)treatments
- Thermal, mechanical properties
- Classifying using a calculator

# Short review: 3. generalist systems

## Objectives:

- Dealing with most possible requests in a qualitative fashion
- Dealing with most processes categories
- Giving possible « ideas », helping to find then the « right » expert
- Preselection tool
  - Not giving the exact thickness, composition, nor process parameters for each « candidate »

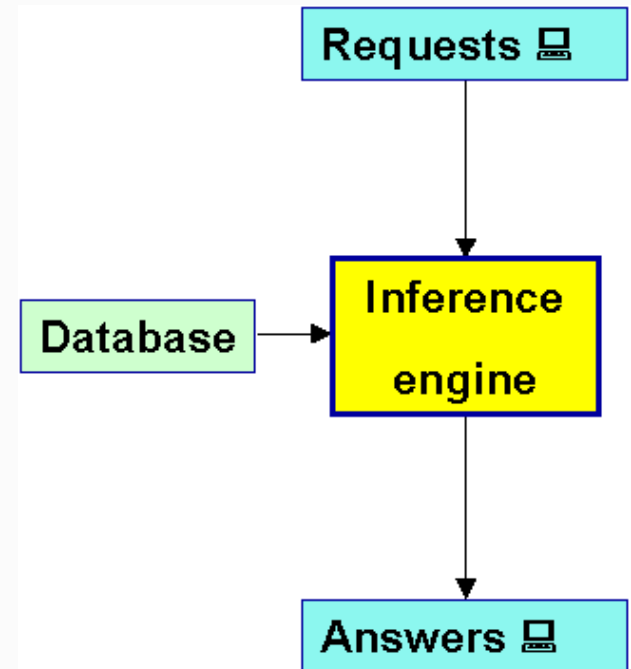
## Expert systems, databases:

- Most data are binary
- Corrosion, tribology, basic optical properties, aesthetics
- Interaction between processes, substrates and deposited materials

## Examples:

- Apticote-Isis
- ST2S:
  - Child/parent structure of the database

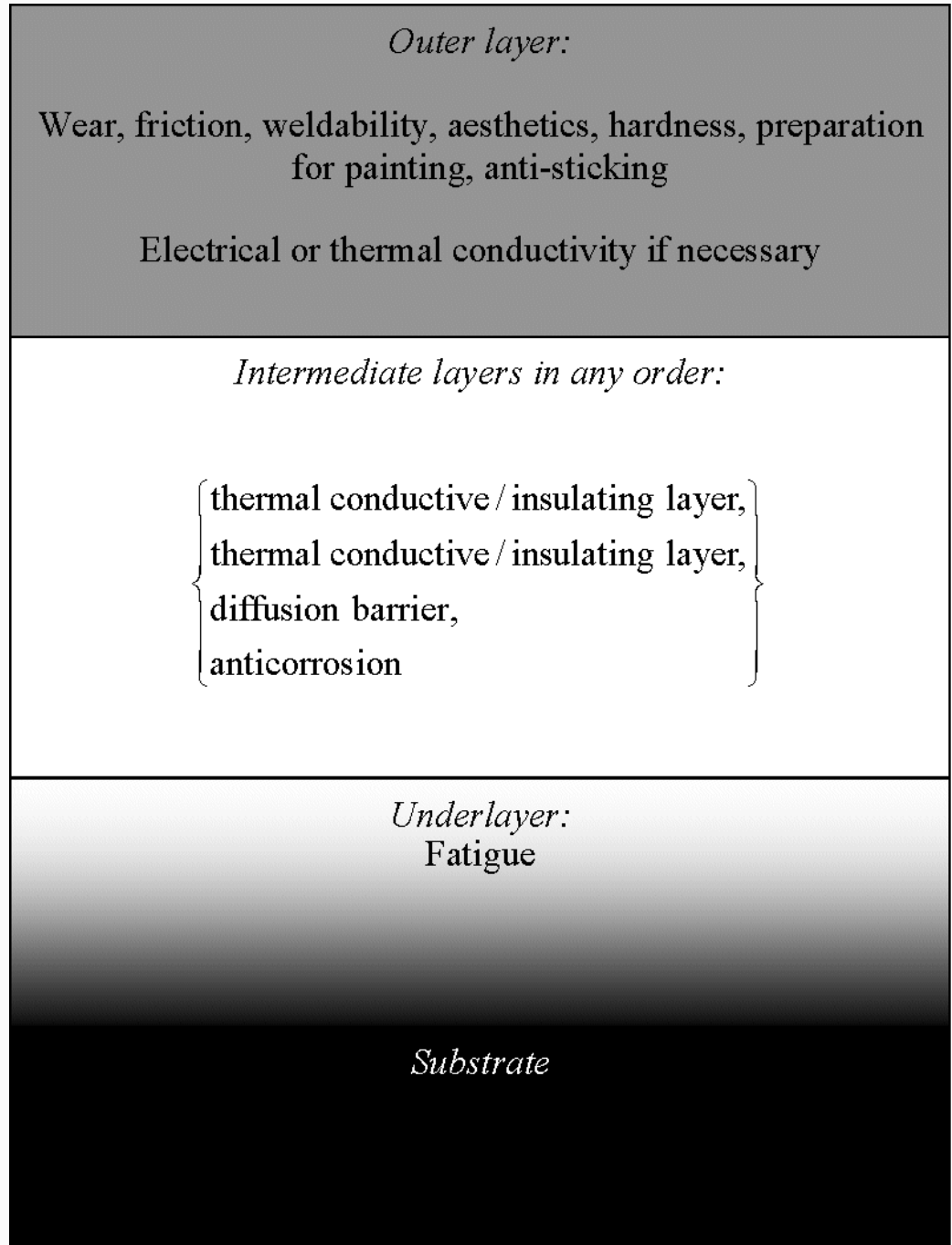
- Web-based tool:
  - User interface
  - Expert interface for further enrichment
- Written in Prolog at FUNDP
- Inference engine:
  - Analysis of the required properties
  - Treatments (layer + process) and stacking selection
  - Classification according to the ease of production





Main features:

- Database: processes, materials properties, substrate compatibility
  - Process/substrate compatibility
  - Layer/substrate compatibility
  - Layers and processes partially separated
  
- Multi-treatments: logical tool:
  - 1 layer = 1 property or 1 « bond coat » layer
  - No numerical approach
  - No synergistic effects





Les champs obligatoires sont marqués d'un \*

Projet 1

## DESCRIPTION DE LA PIÈCE

### Nature de la pièce

Sélection par norme

Sélection par composition

Nature de la pièce

<input type="text"/>	Nom	Composition
----------------------	-----	-------------

### Forme de la pièce

Dimensions de la pièce

Pièce prismatique

Longueur	<input type="text"/> 100	mm
Largeur	<input type="text"/> 100	mm
Hauteur	<input type="text"/> 100	mm

Paroi fine

Pièce fragile

Trous recensés

Ajouter un trou    Supprimer un trou    Diamètre    Profondeur    Borgne    Fileté

Filetages recensés

Ajouter un filetage    Supprimer la sélection    Profondeur    Ecartement

Rainures recensées

Ajouter une rainure    Supprimer la sélection    Profondeur    Ecartement

### Historique de la pièce

Soudure

Collage

Fixation mécanique

Rugosité superficielle

N6    N7    N8    N9    N10    N11

0.4µm    0.8µm    1.6µm    3.2µm    6.3µm    12.5µm    25µm

## MILIEU DE FONCTIONNEMENT DE LA PIÈCE

CONTRAINTES PARTICULIÈRES

PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES



Les champs obligatoires sont marqués d'un \*

Projet 1

DESCRIPTION DE LA PIÈCE

MILIEU DE FONCTIONNEMENT DE LA PIÈCE

<b>Température du milieu</b>	<input type="checkbox"/>	Température fixe	<input type="text" value="20"/>
		<b>Température fixe</b>	<input type="text" value="20"/>
<b>Environnement</b>	<input type="checkbox"/>	Environnement non corrosif pour le substrat	
<b>Contact avec d'autres matériaux</b>	<input type="checkbox"/>	Pas de contre-pièce en contact	
<b>Abrasion critique</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>Anti-adhérence</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>Fatigue mécanique</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>Fretting</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>Dureté</b>			
<b>Dureté de la couche finale : sélection d'un test</b>	<input type="checkbox"/>		
<b>Dureté</b>	<input type="checkbox"/>		

CONTRAINTES PARTICULIÈRES

PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

# EXPESURF



Les champs obligatoires sont marqués d'un \*

Projet 1

DESCRIPTION DE LA PIÈCE

MILIEU DE FONCTIONNEMENT DE LA PIÈCE

CONTRAINTES PARTICULIÈRES

Traitement localisé

 ?

Traitement localisé sans masque uniquement

 ?

Traitement sur site

 ?




Surépaisseur

 ? Aucune limite 


Post-opération de déformation mécanique

 ? 


# EXPESURF





 | Les champs obligatoires sont marqués d'un \*

Projet 1 

DESCRIPTION DE LA PIÈCE 

MILIEU DE FONCTIONNEMENT DE LA PIÈCE 


CONTRAINTES PARTICULIÈRES 

PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES 

Esthétique 


Couleur  

Brillance  

Caractéristiques électriques 

Caractéristiques électriques  

Echelle  

Caractéristiques thermiques 

Caractéristiques thermiques  

Echelle thermique  

Autres 

Accrochage peinture (ce logiciel ne sélectionne pas la peinture, seulement les traitements sur lesquels elle est susceptible d'adhérer)

Soudabilité

Propriétés complémentaires 

Compatibilité médicale

Compatibilité alimentaire

Barrière de diffusion à l'oxygène

Barrière de diffusion à l'hydrogène

Barrière de diffusion à l'eau

# Discussion: turbine blade oxidation

Study case:

- Substrate: Ni superalloy
- 950°C in oxygen

Evolutionary database:

- Data can be refined
- Bond coat implementation

Results:

Classeme	Couches	Nombre de sous-solutions
1	IN 600 Al2O3 dur	6
1	IN 600 SiO2	5
4	IN 600 Al2O3-SiO2, mullite	4
4	IN 600 YSZ	4
6	IN 600	1
11	IN 600 MgO	5
11	IN 600 Ni80Cr20	3
11	IN 600 CSZ	3
16	IN 600 YSZ	4
18	IN 600 NiCrAlY	8
18	IN 600 FeCrAlY	2
24	IN 600 Al2O3-TiO2(13%)	2
24	IN 600 NiAl	2
34	IN 600 FeAl	1
34	IN 600 CuNiCrAlY	6
50	IN 600 Ca10(PO4)6(OH)2, hydroxyapatite	1
50	IN 600 Al2O3 UltraDur	2
50	IN 600 B4C	3
63	IN 600 MoSi2	5
65	IN 600 BCN	3
67	IN 600 SiCN	5
74	IN 600 Pt100	7

Different techniques for yttria-stabilised zirconia:

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
4	Substrat: IN 600 Couche 1: YSZ Immersion - Céramique	22	100
6	Substrat: IN 600 Couche 1: YSZ Projection - Céramique	21	100
6	Substrat: IN 600 Couche 1: YSZ Projection thermique plasma	21	20
50	Substrat: IN 600 Couche 1: YSZ Emaillage par électrophorèse	13	100

Ease of production / relevance

Aluminizing using pack cementation:

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
6	Substrat: IN 600 Spécialisation: Aluminisation - Milieu solide	21	

# Discussion: thermal protection

Study case:

- Same as previously
- + excellent thermal insulation coating

Results: two « routes »:

- Selecting the above treatment that are also insulative
- Using multi-treatments: insulating layer / anti-oxidation layer:

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
23	Substrat: IN 600 Couche 1: Ni80Cr20      Projection thermique plasma Couche 2: Al2O3-SiO2, mullite      Projection thermique à la flamme	20	60
39	Substrat: IN 600 Couche 1: Ni80Cr20      Projection thermique High-Velocity OxyFuel Couche 2: Al2O3-SiO2, mullite      Projection thermique à la flamme	19.5	60

Explaining unit:

Materiel	Proprietes	Couche(s)
Al2O3-SiO2, mullite	Isolation thermique, Oxygéné (milieu oxydant)	Couche 2
Ni80Cr20	Oxygéné (milieu oxydant)	Couche 1
IN 600		Substrat

# Discussion: coal combustion

## Context:

- Sulphur from coal → sulphur oxides
- NaCl and these oxides form  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (l) → corrosion

## Study case:

- Substrate: AISI 304 stainless steel
- 900°C in sulphur containing atmosphere



# Discussion: coal combustion

Results:

Pack aluminizing

Classement	Couches	Nombre de sous-solutions
1	Inox AISI 304 YSZ	3
2	Inox AISI 304	1
4	Inox AISI 304 Ni80Cr20	2
5	Inox AISI 304 YSZ	3
6	Inox AISI 304 FeCrAlY	2
6	Inox AISI 304 NiCrAlY	8
9	Inox AISI 304 NiAl	2
14	Inox AISI 304 CoNiCrAlY	8
14	Inox AISI 304 FeAl	1
30	Inox AISI 304 Al2O3 UltraDur	1
32	Inox AISI 304 MoSi2	1
33	Inox AISI 304 Pt100	7

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
6	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Projection thermique plasma	19	50
9	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie chimique à l'acide (type acide)	18	50
9	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Projection thermique High-Velocity OxyFuel	18	50
9	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie chimique en vrac (type acide)	18	50
14	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie électrolytique en vrac (type acide)	17	50
14	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie électrolytique à l'acide (type acide)	17	50
19	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie chimique localisé (type acide)	16	50
23	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie électrolytique localisé (type acide)	15	50

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
32	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: MoSi2 0.2µm Pulvérisation cathodique	7	0.2

# Discussion: coal combustion

More restrictive requirement:

- Big component (10 m X 10 m)
- « In situ process »

PVD coatings « disappear »

Electrolytic processes can be performed using specific devices

Classeme	Couches	Nombre de sous-solutions
1	Inox AISI 304 Ni80Cr20	2
2	Inox AISI 304 NiCrAlY	4
2	Inox AISI 304 FeCrAlY	2
5	Inox AISI 304 NiAl	2
8	Inox AISI 304 FeAl	1
8	Inox AISI 304 CoNiCrAlY	4
16	Inox AISI 304 Pt100	2

Classement	Solution	Evaluation	Epaisseur (µm)
2	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Projection thermique plasma	19	50
5	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Projection thermique High-Velocity OxyFuel	18	50
11	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie chimique localisé (type acide)	16	50
13	Substrat: Inox AISI 304 Couche 1: NiCrAlY 50µm Revêtement par voie électrolytique localisé (type acide)	15	50



# Conclusion

New system including a « multilayer builder »: EXPESURF:

- ❑ Wide range of implemented treatments
- ❑ Multi-treatments
- ❑ Compromise between « proposing » and « excluding »
- ❑ Classical solutions are obtained in « classical » problems

Perspectives:

- ❑ More data on compatibility between layers and substrates
- ❑ More standardization
- ❑ Advanced exclusion tools
- ❑ Permanent improvement of the database

Need for experts from different sectors to feed up the database and further improve the system

**Thanks for your attention**