



**HAL**  
open science

**Méthode de filtration de base de données appliquée à la  
sélection de matériaux et à la conception de  
multimatériaux = Data bases filtration method in  
materials selection and multimaterials design**

Hervé Wagnier, François-Xavier Kromm, Stéphane Giaccobi, Michel Danis

► **To cite this version:**

Hervé Wagnier, François-Xavier Kromm, Stéphane Giaccobi, Michel Danis. Méthode de filtration de base de données appliquée à la sélection de matériaux et à la conception de multimatériaux = Data bases filtration method in materials selection and multimaterials design. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 10 p. hal-00387571

**HAL Id: hal-00387571**

**<https://hal.science/hal-00387571>**

Submitted on 11 Jun 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Méthode de filtration de base de données appliquée à la sélection de matériaux et à la conception de multimatériaux

## *Data bases filtration method in materials selection and multimaterials design*

H. Wargnier<sup>1</sup>, F.X. Kromm<sup>1</sup>, S. Giaccobi<sup>2</sup> et M. Danis<sup>1</sup>

1 : Université de Bordeaux  
Laboratoire de Génie Mécanique et Matériaux de Bordeaux  
F-33175 Gradignan CEDEX

e-mail : herve.wargnier@iut.u-bordeaux1.fr, francois-xavier.kromm@iut.u-bordeaux1.fr, michel.danis@iut.u-bordeaux1.fr

2 : SAIPEM SA  
1/7 avenue San Fernando, F-78884 Saint Quentin en Yvelines CEDEX  
e-mail : Stephane.GIACCOBI@saipem-sa.com

### Résumé

La sélection de matériaux par une méthode de recherche libre comporte deux phases : la filtration des matériaux puis le classement des solutions. La première étape, servant à réduire le champ des solutions, doit être analysée finement lorsque les contraintes imposées au matériau sont liées aux paramètres géométriques servant au dimensionnement. Cet article traite des méthodes pour procéder à cette filtration dans le cas de la sélection de matériaux monolithiques puis dans le cas de la conception de multimatériaux. La filtration classique en choix des matériaux est étendue aux cas présentant plusieurs variables géométriques libres. Ensuite, une approche de la filtration dans la conception des multimatériaux avec un nombre indéfini de constituants et d'astreintes de conception est proposée. Enfin, une étude de cas concernant une conduite d'exploitation offshore de gisements pétroliers est présentée.

### Abstract

Materials selection methods by free searching consists in two steps : materials screening and solutions ranking. The first step, limiting the field of solutions, must be analysed accurately when the constraints are related with free design parameters. This paper describes methods to deal with this filtration in the cases of materials selection and multimaterials design. The classical filtration in single materials selection is extended to cases with several free geometric parameters. Then, a filtration approach for multimaterials design with undefined number of components and free geometric parameters is proposed. Finally, a case study concerning the design of a pipe material for offshore oil extraction is presented. The application of this work allows a preliminary elimination of unsuitable materials in the definition of multimaterials components, so it will be useful to avoid long numerical studies.

**Mots Clés** : sélection de matériaux – multimatériaux - multicouches

**Keywords** : selection for material properties - multi-materials - laminates

## 1. Introduction

L'augmentation des performances exigée aujourd'hui pour les produits conduit à des choix de matériaux de plus en plus complexes. Pour guider ces choix dès la conception préliminaire, des méthodes ont été développées, utilisant plusieurs approches différentes [1] :

- (1) la recherche libre qui compare l'ensemble des solutions possibles,
- (2) les questionnaires qui aident le concepteur à se poser les questions appropriées,
- (3) les bases des données de connaissances, utilisant les résultats d'expériences passées.

Dans le cadre d'une recherche libre, la sélection se fait grâce à une analyse quantitative de la performance du matériau vis à vis des fonctions du produit [2-4]. Cette évaluation étant systématique, il est intéressant de pouvoir réduire le nombre de solutions potentielles. Le classement des solutions est donc en général précédé d'une étape de filtration visant à éliminer les matériaux ne pouvant convenir à cette application.

Les contraintes imposées par le cahier des charges permettant cette filtration peuvent être de deux types : soit elles sont indépendantes des variables géométriques et peuvent être traitées directement en fixant un niveau requis sur les propriétés des matériaux, soit elles sont liées au dimensionnement et doivent alors être traitées de manière plus fine.

Dans le cas des multimatériaux, la filtration doit permettre d'éliminer des matériaux ou des combinaisons de matériaux, mais ne conduira pas à la définition d'un ensemble de combinaisons de matériaux possibles.

Dans la première partie de cet article, les méthodes développées dans le cas de la sélection de matériaux monolithiques seront abordées. Ensuite, le cas du choix des constituants d'un multimatériaux sera présenté, puis illustré par une étude de cas concernant une conduite pétrolière offshore.

## 2. Sélection de matériaux monolithiques

Dans ce paragraphe, on s'intéresse à l'étape de filtration dans la sélection de matériaux monolithiques. Dans un premier temps, les problèmes à une seule variable libre sont traités, puis une méthode sera présentée pour les problèmes à plusieurs variables géométriques libres.

### 2.1 Problèmes à une variable libre et exemple élémentaire

Dans ce type de problème, une contrainte du cahier des charges conduit à la définition d'un intervalle de valeurs acceptables pour la variable libre géométrique. Suivant la nature de la contrainte, cet intervalle pour une variable  $x$  peut être de la forme  $[0, x_{\max}]$  ou  $[x_{\min}, +\infty]$ .

A titre d'exemple, considérons une barre de longueur fixée  $L$  sollicitée en traction. Les spécifications du cahier des charges sont les suivantes

- l'aire de la section droite  $A$  est laissée libre,
- la barre doit être assez raide, donc

$$\frac{EA}{L} \geq k_0 \quad (\text{eq. 1})$$

- la barre ne doit pas être trop chère, donc

$$\rho C_m AL \leq C_0 \quad (\text{eq. 2})$$

avec  $E$  : module de Young du matériau,

$k_0$  : raideur minimale de la barre,

$\rho$  : masse volumique du matériau,

$C_m$  : coût massique du matériau,

$C_0$  : coût maximal de la barre.

Les deux contraintes définissent des valeurs limites pour l'aire de la section droite  $A$  (eq. 3, 4).

$$A \geq \frac{k_0 L}{E} \quad (\text{eq. 3})$$

$$A \leq \frac{C_0}{\rho C_m L} \quad (\text{eq. 4})$$

La condition pour qu'un matériau soit solution du problème dans ce cas est que l'intersection des deux intervalles ainsi définis ne soit pas vide, ce qui se traduit par l'équation :

$$\rho C_m \leq \frac{C_0}{k_0 L^2} E \quad (\text{eq. 5})$$

Cette condition peut être représentée graphiquement sur une carte de propriétés linéaire par une droite de pente marquant la limite entre les matériaux satisfaisant le critère ou non (Fig. 1) : les matériaux qui se situent au dessus de la droite de pente  $\frac{C_0}{k_0 L^2}$  ne peuvent pas convenir, tandis que ceux situés au dessous satisfont les deux contraintes.

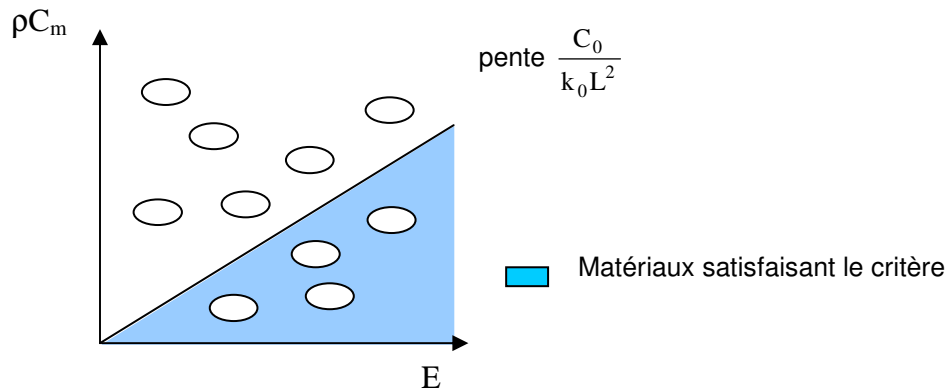


Fig. 1 : Graphique de filtration

## 2.2 Problèmes avec plusieurs variables libres

La démarche de filtration étant définie pour des applications ayant une variable libre, il semble intéressant de l'étendre aux applications ayant plusieurs variables libres. Dans le cas général, l'écriture des contraintes en fonction des paramètres fonctionnels (chargement appliqué, dimensions fixées de la pièce,...) des caractéristiques matériaux et des variables libres se traduit par un système non linéaire d'inéquations dans lequel les variables libres sont les inconnues. Ce système a un nombre d'inéquations égal au nombre d'astreintes et un nombre d'inconnues égal au nombre de variables libres.

Si il y a autant de variables libres que d'inéquations, le système d'équations associé va admettre une unique solution. Ce n'est pas le cas si les contraintes ou les variables libres sont dépendantes les unes des autres. La dépendance de variables libres ou des contraintes est certainement le signe que le problème est mal posé. La solution unique signifie que pour un matériau donné on peut trouver les valeurs des variables libres permettant d'atteindre exactement les niveaux des contraintes. Si le système d'équations admet plusieurs solutions, ce qui peut être le cas lorsque son rang est inférieur au nombre d'équations, il faut s'assurer que le choix des variables libres est pertinent.

Nous nous plaçons donc dans la suite de cette étude dans un cas où le nombre d'astreintes ( $n$ ) est supérieur au nombre de variables libres ( $p$ ). On suppose qu'il est possible d'obtenir un système linéaire (souvent obtenu en prenant le logarithme des équations), ce qui semble réaliste car les modèles employés en conception préliminaire sont souvent assez simples. Pour chaque équation non principale, l'écriture de la condition de nullité du déterminant bordé permet d'obtenir une inéquation sur les niveaux des contraintes. Ces inéquations permettent d'effectuer la filtration.

## 2.3 Exemple avec deux variables libres

Afin de définir plus complètement la démarche, nous allons traiter un exemple élémentaire.

Un exemple représentatif de la démarche exposée ci-dessus est celui d'une poutre en flexion dans deux plans perpendiculaires. Les variables libres sont la hauteur  $a$  et la largeur  $b$  de la section. Les contraintes sont les raideurs dans les deux plans ( $x_1, x_3$ ) et ( $x_3, x_2$ ) et le coût matière.

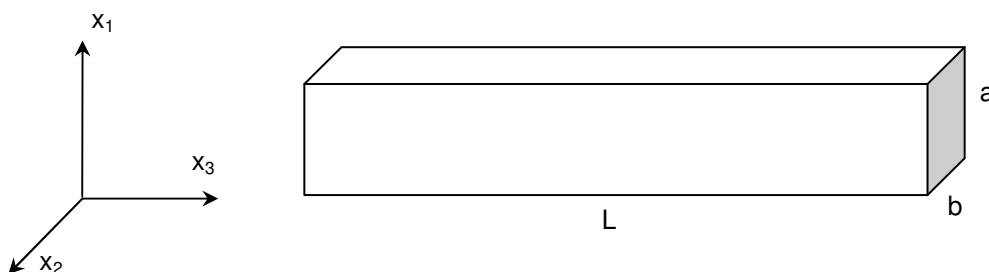


Fig. 2 : Description géométrique de la poutre

astreinte 1 : raideur dans le plan ( $x_1, x_3$ )

$$\frac{Ea^3b}{L^3} \geq K_{10}$$

(eq. 6)

astreinte 2 : raideur dans le plan  $(x_3, x_2)$

$$\frac{Eab^3}{L^3} \geq K_{20} \quad (\text{eq. 7})$$

astreinte 3 : coût matière

$$\frac{1}{\rho C_m a b L} \geq \frac{1}{C_0} \quad (\text{eq. 8})$$

Un système linéaire associé à ce dernier peut être écrit grâce aux logarithmes (eq. 9).

$$\begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Log}(a) \\ \text{Log}(b) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} \quad (\text{eq. 9})$$

$$\text{avec } \alpha = \text{Log}\left(\frac{K_{10}L^3}{E}\right) \quad \beta = \text{Log}\left(\frac{K_{20}L^3}{E}\right) \quad \text{et } \gamma = \text{Log}\left(\frac{\rho C_m L}{C_0}\right).$$

En utilisant par exemple les deux premières équations du système, il est possible de déterminer les valeurs  $a_0$  et  $b_0$  des variables libres telles que le niveau des deux premières astreintes est atteint. La valeur  $\gamma^*$  du niveau de la troisième astreinte atteint en prenant  $a_0$  et  $b_0$  pour les variables libres est obtenu (eq. 10) en calculant le déterminant bordé relatif à la troisième équation (équation non principale relative à la troisième astreinte).

$$\begin{vmatrix} 3 & 1 & \alpha \\ 1 & 3 & \beta \\ -1 & -1 & \gamma^* \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow \gamma^* = -\frac{(\alpha + \beta)}{4} \quad (\text{eq. 10})$$

Pour un matériau donné :

- si  $\gamma^* \geq \gamma$ , alors les valeurs  $a_0$  et  $b_0$  (qu'il n'est pas nécessaire de calculer) permettent de vérifier toutes les astreintes, le matériau vérifie le cahier des charges ;

- si  $\gamma^* < \gamma$ , alors les valeurs  $a_0$  et  $b_0$  ne permettent pas de vérifier toutes les astreintes, le matériau ne vérifie pas le cahier des charges.

La filtration est imposée par l'équation :  $-\frac{(\alpha + \beta)}{4} \geq \gamma$  c'est-à-dire (eq. 11) :

$$\text{Log}(\rho C_m) \leq \frac{1}{2} \text{Log}(E) + \text{Log}\left(\frac{C_0}{\sqrt[4]{K_{10}K_{20}L^{5/2}}}\right) \quad (\text{eq. 11})$$

Cette condition peut être représentée graphiquement sur une carte de propriétés (Fig. 3).

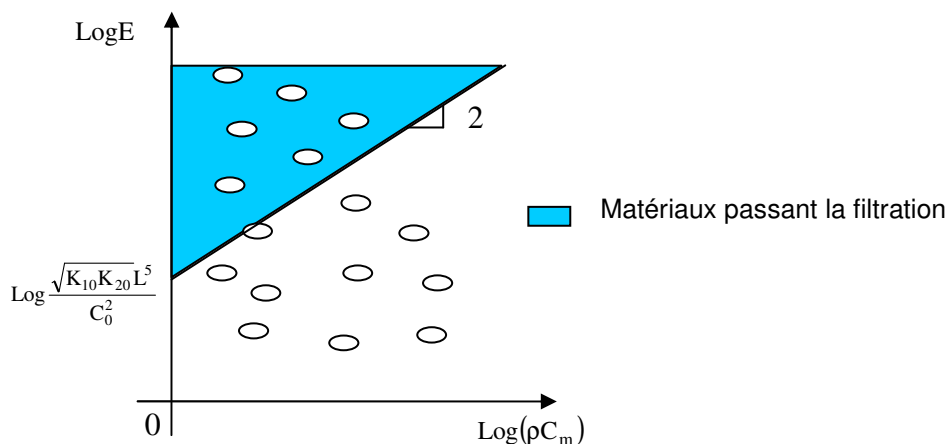


Fig. 3 : Carte de propriétés des matériaux pour la filtration avec 2 variables libres

## 2.4 Synthèse

Dans les paragraphes précédents, nous avons montré des méthodes permettant d'effectuer l'étape de filtration dans les cas suivants :

- une variable libre et  $n$  contraintes
- plusieurs variables libres et  $n$  contraintes mais système d'inéquations linéarisable.

Les méthodes proposées permettent de définir l'ensemble des matériaux monolithiques respectant le cahier des charges en appliquant des filtres successifs. Chacun des filtres partage une carte matériaux en deux domaines, celui des solutions et celui des matériaux qui ne respectent pas le cahier des charges.

## 3 La filtration dans la conception de multimatériaux

On peut trouver plusieurs manières de définir un multimatériau [5-7]. Dans cet article, il sera caractérisé par la nature de ses constituants (matériaux), leurs fractions volumiques, la morphologie de l'assemblage, la nature de l'interface entre les constituants et le procédé de mise en œuvre.

Il peut être envisagé, dans certain cas, de remplacer une fraction volumique par une variable dimensionnelle. Cela peut être notamment le cas si l'une des dimensions du volume élémentaire représentatif (VER) est également une dimension de la pièce. Il est par exemple possible de prendre les épaisseurs des couches d'un multicouche comme variables libres

La filtration dans le cas de la conception d'un multimatériau peut être effectuée en trois étapes successives :

- élimination des matériaux ne pouvant pas être un constituant du multimatériau,
- recherche des combinaisons possibles,
- recherche des fractions volumiques et/ou des variables libres acceptables.

### 3.1 Etude des bimatériaux

Pour présenter la démarche de filtration dans le cas des multimatériaux ayant deux constituants nous allons dans un premier temps traiter un exemple avant de montrer que la démarche est généralisable.

L'exemple choisi concerne une barre dont l'aire de la section droite  $A$  est libre, et soumise à des contraintes de masse, mécanique et thermique résumées ci après (tab. 1).

Notation	Astreinte	Expression	Critère
C1	Masse maximale $m_0$	$\rho LA \leq m_0$	$A \leq \frac{m_0}{\rho L}$
C2	Raideur en traction supérieure à $K_0$	$\frac{EA}{L} \geq K_0$	$A \geq \frac{K_0 L}{E}$
C3	Résistance électrique supérieure à $R_0$	$\frac{rL}{A} \geq R_0$	$A \leq \frac{rL}{R_0}$

Tab. 1 : Contraintes et critères pour la barre ( $r$  : résistivité électrique du matériau)

Ces trois contraintes peuvent être traitées séparément, ou peuvent être utilisées pour définir deux filtres. Chaque filtre résulte de l'incompatibilité entre deux contraintes car les intervalles de valeurs possibles pour la variable libre résultant chacun d'une contrainte peuvent avoir des intersections vides.

Dans l'exemple de la barre, le filtre  $F_1$  défini par l'incompatibilité entre les contraintes 1 et 2 conduit à la condition suivante (eq. 12) qui peut être représentée graphiquement comme pour le cas des matériaux monolithiques (voir Fig. 3) :

$$E \geq \frac{K_0 L^2}{m_0} \rho \quad (\text{eq. 12})$$

Ce type de filtration peut être représenté pour chaque matériau, en montrant les intervalles de valeurs de la variable libre autorisés par chaque contrainte. Cette méthode, valable pour les matériaux monolithiques,

doit être adaptée pour les multimatériaux en prenant en compte les trois étapes de la filtration présentées précédemment. On considère donc dans la suite que l'intersection des intervalles définis par les deux filtres est vide, donc qu'il n'existe pas de matériau satisfaisant les deux critères. La seule solution restante est alors de concevoir un multimatériaux.

### 3.1.1 Première étape : sélection des constituants

L'ensemble des matériaux passant le filtre  $F_1$  (resp.  $F_2$ ) est noté  $M_1$  (resp.  $M_2$ ). Les intervalles correspondant aux trois contraintes peuvent être visualisés pour un matériau appartenant à l'ensemble  $M_1$  (Fig. 4a) et pour un matériau de l'ensemble  $M_2$  (Fig. 4b).

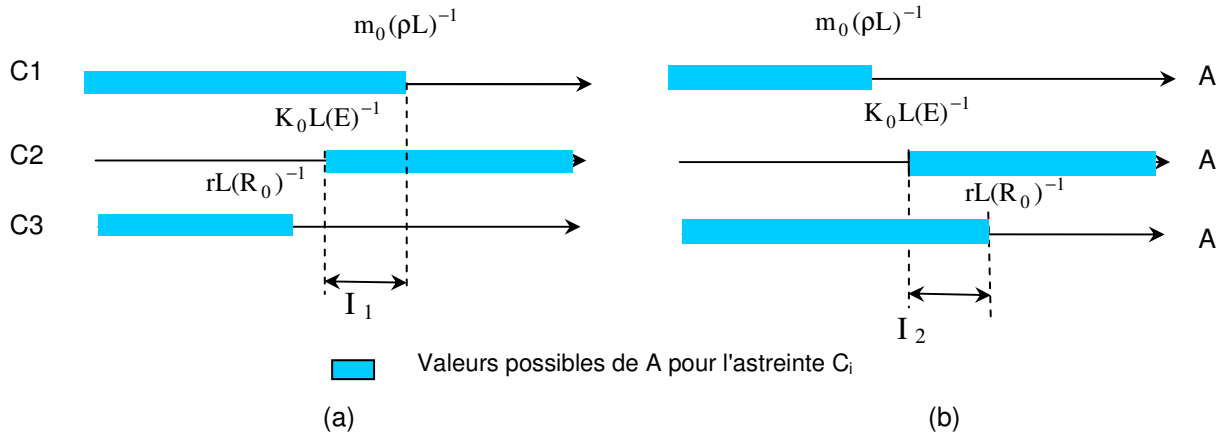


Fig. 4 : Représentation pour un matériau donné des valeurs de section droite au regard des contraintes  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$

Une combinaison de matériaux satisfaisant les trois contraintes devrait être constituée d'un élément de chaque ensemble ( $M_1$  et  $M_2$ ), donc des couples de matériaux doivent ainsi être sélectionnés dans les deux ensembles.

Il faut noter que deux types de contraintes devraient normalement être ajoutées aux précédentes dès ce stade de l'étude. Tout d'abord, d'éventuelles incompatibilités entre les constituants devraient être prises en compte. Ensuite, les deux constituants ne sont pas forcément soumis aux mêmes contraintes à cause de leur position (par exemple la résistance à l'environnement ou à un traitement de surface).

### 3.1.2 Deuxième et troisième étapes : recherche de combinaisons de matériaux et de fractions volumiques acceptables

L'architecture du multimatériaux étant connue (bicouche), son comportement peut être modélisé facilement avec les lois suivantes (eq. 13, 14, 15) :

$$m = LA(\rho_1 V_1 + \rho_2 (1 - V_1)) \quad (\text{eq. 13})$$

$$K_0 = \frac{A}{L} (E_1 V_1 + E_2 (1 - V_1)) \quad (\text{eq. 14})$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{A}{L} \left( \frac{V_1}{r_1} + \frac{1 - V_1}{r_2} \right) \quad (\text{eq. 15})$$

où  $\rho_i$ ,  $E_i$ ,  $r_i$ , et  $V_i$  sont respectivement la masse volumique, le module de Young, la résistivité électrique et la fraction volumique du constituant  $i$ .

Les variations des propriétés en fonction des fractions volumiques peuvent être représentées sur une carte de propriétés par des courbes joignant les deux matériaux [8]. L'application des filtres  $F_1$  et  $F_2$  définit des limites sur ces cartes qui permettent de trouver les valeurs limites de fractions volumiques des constituants (Fig. 5). Ainsi, en représentant par  $a$  et  $b$  les valeurs limites dans l'exemple précédent, on constate que pour la fraction volumique de matériau  $m_1$ , le cahier des charges ne peut être satisfait que si  $V_a < V_b$  car dans le cas contraire, aucune fraction volumique ne permet de passer les deux filtres.

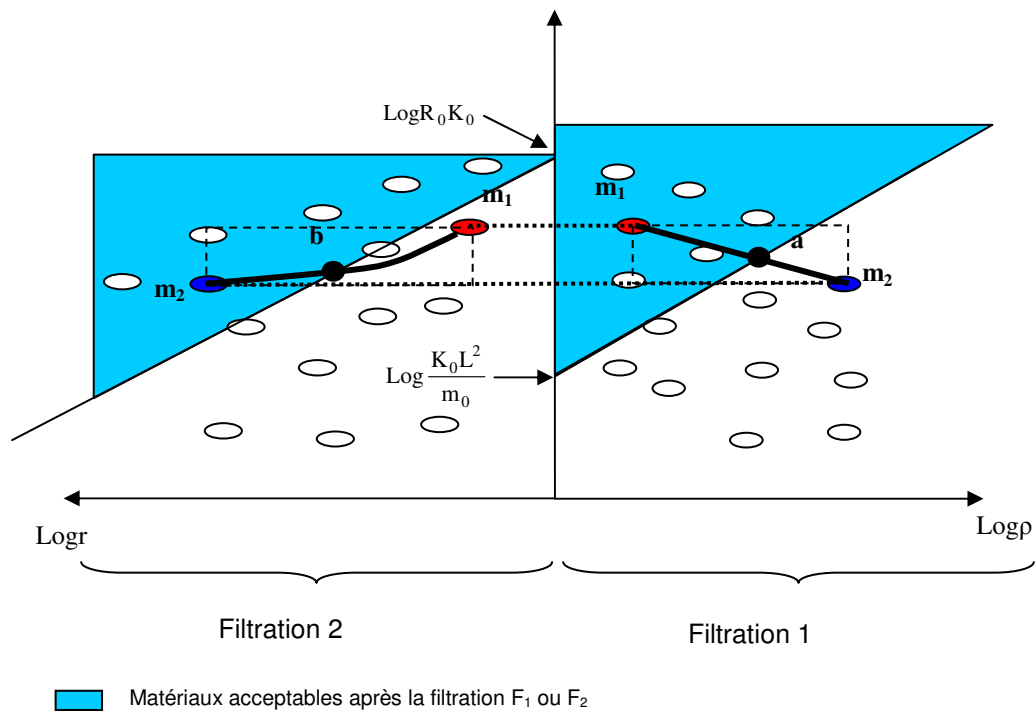


Fig. 5: Propriétés des matériaux en fonction des fractions volumiques

Cette approche de la filtration, applicable au cas de la sélection des constituants d'un bimatériau avec trois astreintes, doit être étendue aux cas avec plus de trois contraintes dans un premier temps, puis aux cas avec plus de deux matériaux.

### 3.2 Filtration pour un bimatériau avec $n$ astreintes

Dans le paragraphe précédent, chaque filtre a été défini par deux astreintes, l'une imposant une valeur minimale à la variable libre, l'autre imposant une valeur maximale. Dans un cas général, s'il y a  $p^-$  astreintes imposant une valeur maximale et  $p^+$  astreintes imposant une valeur minimale, le nombre de filtres qu'il sera possible de créer est  $p = p^- p^+$ .

L'application de chaque filtre noté  $F_i$  détermine un ensemble  $M_i$  de matériaux qui passent le filtre. Si l'intersection de tous ces ensembles  $M_i$  est vide, aucun matériau monolithique de la base de données ne peut être solution au problème.

Pour chaque matériau  $m_k$ , il est possible de représenter les résultats par un  $p$ -uplet  $a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{kp}$  où  $a_{ki} = 1$  si le matériau  $m_k$  passe le filtre  $F_i$ , et  $a_{ki} = 0$  dans le cas contraire.

Grâce à ce codage, la condition pour qu'un couple de matériaux  $(m_k, m_i)$  puisse être solution est donnée par l'expression :  $\forall i \in [1, p], a_{ki} + a_{ii} \neq 0$ . Ensuite, deux cas doivent être envisagés :

- $a_{ki} + a_{ii} = 2$ , les deux matériaux appartiennent à l'ensemble  $M_i$ , donc ce filtre sera passé quelles que soient les fractions volumiques des constituants,
- $a_{ki} + a_{ii} = 1$ , un des matériaux ne passé pas le filtre  $F_i$ , donc un intervalle de fractions volumiques acceptables devra être défini, de la forme  $[V_{ki}, 1]$  si le matériau  $m_k$  passe le filtre ou  $[0, V_{ki}]$  si le matériau  $m_k$  ne passe pas le filtre.

On déduit facilement qu'un multimatériau constitué des matériaux  $m_k$  et  $m_i$  peut respecter le cahier des charges du matériau si il existe une fraction volumique permettant de respecter tous les filtres. Il faut donc que l'intersection des intervalles de fraction volumique soit non vide.

Notons que les couples de matériaux sont ordonnés, c'est-à-dire que le couple  $(m_k, m_i)$  est différent du couple  $(m_i, m_k)$ . En effet, chaque constituant joue un rôle différent dans la plupart des multimatériaux (matrice / renfort, âme / peau ...) donc il convient de les distinguer.

### 3.3 Généralisation pour $m$ matériaux et $n$ astreintes

Le codage proposé dans le paragraphe précédent peut être appliqué quel que soit le nombre de constituants du multimatériau. Il est donc possible sans grande difficulté de sélectionner les combinaisons de matériaux pouvant répondre au cahier des charges. En considérant que le  $p$ -uplet représentatif du



multimatériaux est la somme des p-uplets de chaque constituant, si un terme de ce p-uplet représentatif de la combinaison est nul alors le multimatériaux ne peut pas répondre au cahier des charges.

Comme précédemment :

si  $\sum_{k=1}^m a_{ki} = m$ , alors tous les constituants respectent le  $i^{\text{ème}}$  filtre, le multimatériaux respectera

également ce filtre quelles que soient les fractions volumiques ;

si  $\sum_{k=1}^m a_{ki} < m$ , il faut déterminer l'espace de variation des fractions volumiques tel que le

multimatériaux respecte le  $i^{\text{ème}}$  filtre.

Si la première filtration, c'est-à-dire la recherche des combinaisons a priori acceptables est relativement facile à mettre en œuvre, la recherche des espaces de variation des fractions volumiques peut être plus délicate. Nous pouvons pour cette partie utiliser un outil d'optimisation comme la programmation sous contraintes (PSC). Cet outil permet d'explorer un espace de solutions potentielles et de ne retenir que les véritables solutions au problème posé. Il est intéressant, afin de limiter les temps nécessaires à ces recherches de solutions, de limiter a priori l'espace à explorer, c'est le rôle de la filtration à partir des p-uplets des matériaux. Cette filtration rend également plus facile et plus efficace l'interprétation des résultats obtenus.

#### 4 Etude de cas : conduite pétrolière

Pour illustrer la démarche présentée, nous pouvons l'appliquer au cas d'une conduite utilisée lors de l'exploitation offshore de gisements pétroliers. La conduite retenue est une conduite de production posée sur le fond marin.

On souhaite afin d'exploiter des gisements à grande profondeur concevoir des conduites multimatériaux. On suppose dans cette étude que la conduite est un multicouche axisymétrique et que les variables libres sont les épaisseurs des couches.

L'analyse fonctionnelle d'une telle conduite que ce soit dans sa phase d'installation ou sa phase d'exploitation conduit à un cahier des charges du matériaux. Les éléments principaux de ce cahier des charges sont présentés ci-dessous, avec des astreintes divisées en trois groupes :

- **groupe 1** : *astreintes indépendantes de la variable libre et affectées à la couche interne*
  - résistance aux températures de service : la température des effluents peut parfois être élevée notamment pour les fluides de production ou les lignes d'injection d'eau
  - résistance à la corrosion provoquée par l'effluent (hydrocarbure)
- **groupe 2** : *les astreintes indépendantes de la variable libre et affectées à la couche externe*
  - résistance aux températures de service
  - résistance à la corrosion (eau de mer)
  - résistance à l'usure
- **groupe 3** : *les astreintes dépendant de la variable libre*
  - résistance aux efforts imposés lors de la pose de la conduite
  - limitation de l'effort sur le bateau d'installation
  - résistance au flambage provoqué par la pression externe en service
  - limitation des pertes thermiques afin d'assurer la continuité de l'écoulement de l'effluent
  - flottabilité (la conduite ne doit pas flotter)
  - système de serrage : le diamètre externe de la conduite doit s'adapter au système de pose

La première étape de la filtration consiste à éliminer les matériaux qui ne respectent pas les astreintes du groupe 1 ou du groupe 2 et qui ne peuvent donc pas être utilisés pour les couches internes ou externes du multimatériaux. Partant d'une base restreinte de 62 matériaux (soit 3782 combinaisons possibles pour un bicouche), il ne reste que 18 matériaux pour la couche interne et 14 pour la couche externe (soit 252 combinaisons possibles).

Après cette filtration, seules les astreintes du groupe 3 restent à prendre en compte. Pour un matériau donné, il y a cinq astreintes imposant une épaisseur minimale et 2 astreintes imposant une épaisseur maximale, on peut donc construire 10 filtres. Un matériau est représenté par un vecteur ligne dont les termes (0 ou 1) dépendent du respect des filtres. On peut alors en fonction de la somme terme à terme

de ces vecteurs déterminer le vecteur représentatif d'un multimatériau et ainsi déterminer si l'association de matériaux choisie peut répondre au cahier des charges du matériau. Après cette étape, dans le cas d'un bicouche il reste 8 couples de matériaux possibles soit environ 0,2% du nombre de combinaisons initiales.

Enfin, un intervalle de fractions volumiques acceptables a été calculé pour les constituants de chaque couple de matériaux, réduisant encore le champ des solutions à 5 bimatériaux seulement. Toutefois, ces solutions potentielles peuvent être critiquées du fait de la présence systématique de mousses polymères, soit en couche extérieure, soit en couche intérieure. De fait, les mousses risquent de perdre leurs propriétés au contact du fluide de production ou de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ce type de solution, employé pour des applications à de faibles profondeurs, est rarement utilisé dans les conditions de cette étude.

Pour palier ce problème, une solution à trois couches a été recherchée. Les groupes d'astreintes définis précédemment restent valables, seul un quatrième groupe concernant la couche intermédiaire est rajouté :

- **groupe 4** : *astreintes indépendantes de la variable libre et affectées à la couche intermédiaire*
  - résistance aux températures de service

La première étape de la filtration détermine les matériaux pouvant être des constituants du multimatériau : les astreintes des groupes 1 et 2 sont appliquées comme précédemment, conduisant à 18 matériaux possibles pour la couche interne et 14 pour la couche externe. En plus de cela, le groupe d'astreintes 4 donne un ensemble de 45 matériaux possibles pour la couche intermédiaire.

La méthode de recherche des combinaisons possibles et la définition des fractions volumiques admissibles conduisent à un total de 48 combinaisons possibles (tab. 2).

Type de combinaison (couche interne / intermédiaire / externe)	Nombre de solutions
Métal / Mousse polymère / Métal	4
Métal / Mousse polymère / Composite	2
Composite / Mousse polymère / Métal	8
Métal / Mousse polymère / Polymère	10
Polymère / Mousse polymère / Métal	24

Tab. 2 : Résultats de la sélection pour un matériau à 3 couches

Certains résultats qui sont fournis par cette méthode comme les empilements Métal / Mousse polymère / Métal sont déjà employés pour fabriquer des conduites, mais avec un acier au carbone au lieu de l'acier inoxydable que l'on obtient par cette étude.

Les combinaisons faisant intervenir les matériaux composites nécessitent des études plus approfondies car sur ces matériaux, plusieurs paramètres restent encore à déterminer (nombre de plis, orientations, fractions volumiques...).

La méthode de filtration a permis la définition d'un ensemble de multimatériaux proche des solutions existantes, mais employant d'autres constituants. Le nombre important de solutions restantes pour le cas à 3 couches peut être réduit en étudiant les possibilités de mise en œuvre de ces multimatériaux. Ce travail constituerait la phase suivante de la conception du multimatériau.

## 5 Conclusions

Une approche de la filtration dans la sélection de matériaux a été développée, partant du cas simple d'un matériau monolithique, et étendant la méthode au cas d'un multimatériau avec un nombre quelconque de constituants et d'astreintes de conception.

Le rôle de la filtration étant de réduire le champ des solutions avant de les classer, ce travail sera utile pour alléger les calculs en sélection de matériaux et surtout dans le choix des constituants des multimatériaux car dans ce cas, le nombre de combinaisons possibles sur toute la base de données est souvent très grand.

Cette méthode ne s'appliquant qu'à des multimatériaux de morphologie connue, il serait intéressant pas la suite de le coupler à un outil capable de comparer différentes architectures de multimatériaux.

## Références

- [1] MF Ashby, YJM Brechet, D Cebon, L Salvo, « Selection strategies for materials and processes », *Materials and Design* Vol. 25 pp. 51-67, 2004
- [2] MF Ashby, « Materials selection in conceptual design », *Materials Science and Technology*, Vol. 5, pp. 517-525, 1989
- [3] Y Bréchet, MF Ashby, M Dupeux, F Louchet, « Choix et usage des matériaux », *Techniques de l'Ingénieur*, T5 100, pp1-23, 1997
- [4] Y Bréchet, M Ashby, L Salvo, « Sélection des matériaux et des procédés », *Presses Universitaires de Lausanne*, 2000
- [5] MF Ashby, YJM Brechet, « Designing hybrid materials », *Acta Materialia*, Vol. 51, pp. 5801-5821, 2003
- [6] FX Kromm, JM Quenisset, R Harry, T Lorriot, « An example of multimaterials design », *Advanced Engineering Materials*, Vol. 4, pp. 371-374, 2002
- [7] FX Kromm, JM Quenisset, T Lorriot, R Harry, H Wagnier, « Definition of a multimaterials design method », *Materials and Design*, Vol. 28, pp. 2641–2646, 2007
- [8] MF Ashby, « Criteria for selecting the components of composites », *Acta Metallurgica Materialia*, Vol. 41, No. 5, pp. 1313-1335, 1993