

## **Approche factorielle fractionnaire en biologie : contribution à la modélisation du système aquacole**

Arnaud Campeas, Jean Brun Bellut, J.N. Gardeur

► **To cite this version:**

Arnaud Campeas, Jean Brun Bellut, J.N. Gardeur. Approche factorielle fractionnaire en biologie : contribution à la modélisation du système aquacole. Séminaire 2005, Jan 2005, Vandoeuvre-Lès-Nancy, France. hal-02760860

**HAL Id: hal-02760860**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02760860>**

Submitted on 4 Jun 2020

**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.

Copyright

**Approche factorielle fractionnaire en biologie:**  
**Contribution à la modélisation du système aquacole**  
Arnaud Campeas, Jean Brun Bellut, Jean-Noël Gardeur  
*Unité de Recherche Animaux Produits Animaux INRA-UHP-INPL*  
*Diversification en Aquaculture Continentale*  
*MAN 34, rue Sainte Catherine 54 000 Nancy*

**Résumé :** Dans l'objectif de réaliser un modèle fonctionnel du système aquacole (nécessaire dans une démarche générique de diversification), le sous-système : stade grossissement de la perche en circuit fermé est étudié. La méthodologie des plans d'expériences factoriels fractionnaires est utilisée. Une méta analyse par Analyses en Composantes Principales a permis une présélection des facteurs d'entrée et des variables de sortie. Le plan d'expérience retenu est de résolution 4, avec 12 facteurs testés à 2 modalités. Le traitement des données est réalisé sur la base d'une modélisation linéaire, avec utilisation conjointe des graphes de Daniel et de l'analyse de variance. Les résultats permettent de démontrer l'importance des interactions entre facteurs et ouvrent des pistes pour la modélisation. Les résultats seront valorisés en élaborant un modèle générique, c'est-à-dire un modèle adaptable à différentes situations (espèces, stade physiologique, ...) à partir de dénominateurs communs entre les comportements.

## INTRODUCTION

La domestication d'une nouvelle espèce est un travail complexe qui nécessite de nombreuses expérimentations. Celles-ci permettent de définir les conditions d'élevage pour optimiser la production: biomasse, qualité du produit, intrants, rejets, profit, bien-être des poissons, ...

Ces expériences sont coûteuses en temps, et sont redondantes d'une espèce à l'autre, sans qu'une capitalisation des connaissances soit réalisée.

Il existe des points communs, et des différences mesurables, entre les espèces de poissons exploitables en aquaculture. Notre objectif est de réaliser un modèle d'élevage générique, c'est à dire adaptable à chaque espèce de poisson.

L'idée est de placer chaque espèce dans un espace multivarié « espace poisson », et que les coordonnées du poisson dans cet espace permettent de modéliser les réponses de l'élevage.

Toujours dans un objectif de généralisation et de valorisation des résultats d'une situation à une autre, les différents types d'élevage (extensif naturel, polyculture d'étang, monoculture d'extérieur, monoculture intensive) associés à des espèces déterminés de poisson sont considérés comme autant de déclinaisons d'un système aquacole. Ces sous-systèmes se distinguent entre eux par la réponse biologique du poisson et le degré de maîtrise des intrants (par exemple, la monoculture intensive est le seul sous-système indépendant des conditions environnementales naturelles).

La démarche de modélisation commence par l'étude de sous-systèmes afin de comprendre le déterminisme des caractéristiques du produit. Puis les informations obtenues sur les différents sous-systèmes seront agrégées pour modéliser le système aquacole.

Le travail présenté ici concerne les résultats obtenus sur un sous-système et les perspectives ouvertes.

## MATERIEL ET METHODE

### Matériel

Le sous système étudié est la perche au stade grossissement en circuit fermé:

1.1. Perche : *Perca fluviatilis*. C'est un poisson dulcicole, de la famille des percidés. Il est carnivore et le cannibalisme est couramment observé en milieu naturel et en élevage. La perche, qui est une espèce en cours de domestication est un poisson maigre .

1.2. Les stades de production correspondent à différentes tailles d'individus :

- Elevage larvaire.
- Pré-grossissement
- Grossissement

Chez la perche, le stade « grossissement » va de quelques grammes au stade commercialisation, c'est-à-dire 100g environ.

1.3 Circuit fermé:

C'est un élevage en salle avec recyclage intégral de l'eau des bacs et contrôle des paramètres de température de l'eau et de lumière.

a. Qualité de l'eau

Les poissons rejettent du  $\text{CO}_2$ , et des déchets azotés. Le  $\text{CO}_2$  acidifie l'eau. Une correction régulière à l'aide de bicarbonate de calcium est nécessaire pour maîtriser le pH.

Les déchets azotés sont traités par des filtres biologiques. Ils sont transformés *in fine* en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Les intermédiaires de réaction sont les ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ). A la sortie du filtre biologique, l'eau est stérilisée par un rayonnement ultra-violet.

b. Facteurs physiques

Les paramètres de la lumière (photopériode, intensité, spectre) et ceux de la température sont maîtrisés.

c. Distribution de l'alimentation.

L'aliment se présente sous forme de granulés. Il peut être distribué à la main, à l'aide de tapis roulant, ou encore grâce à des nourrisseurs automatiques actionnables par les poissons eux-même.

d. Unités expérimentales.

Ce sont des bacs de 500 L, dans des pièces climatisées, placés sous une hotte pour les protéger de la lumière extérieure et possédant leur propre éclairage.



Figure 1 : Photo d'un bac de 500 L munie de sa hotte et de son distributeur d'aliment

## 2 Méthode

### 2.1. Modélisation

L'approche est systémique. Or une réelle modélisation systémique de l'aquasystème ne peut se fonder sur l'utilisation de seules connaissances élaborées pour la plupart à partir d'approches analytiques, mono factorielles, ne prenant pas en compte les interrelations entre éléments constitutifs du système et de ce fait ayant un domaine de validité étroit.

Il s'agit donc d'utiliser des techniques d'analyse capables d'estimer les interactions entre facteurs. La difficulté réside dans le nombre important de facteurs à tester. Si nous estimons qu'un système est influencé par  $n$  facteurs qui peuvent prendre  $p$  modalités, il y a  $p^n$  configurations des paramètres d'entrée à tester. (par exemple 10 facteurs à 2 modalités engendrent un plan d'expérience complet de 1024 expériences).

Ce problème conduit à utiliser la méthodologie des plans d'expériences factoriels fractionnaires.

Il s'agit, dans le cadre d'un modèle linéaire multiple, de mettre en place un plan d'expérience qui minimise le nombre d'expériences et maximise l'information récoltée.

La première propriété de ces plans d'expérience est leur orthogonalité. Celle-ci garantit :

- des estimateurs de variance minimale
- des estimateurs indépendants

De plus ces plans sont organisés de façon à pouvoir estimer les interactions entre facteurs. La **résolution** d'un plan indique la finesse d'estimation des interactions. Plus la résolution est élevée, plus les interactions seront estimées individuellement et plus le plan sera coûteux en expériences.

Le plan factoriel fractionnaire choisi est de résolution 4. Il permet d'estimer:

- les effets principaux individuellement
- les interactions de deux facteurs en groupe. (Ces groupes d'interaction sont appelés *alias*)
- les interactions de plus de deux facteurs sont considérées comme nulles.

Une fois la résolution du plan choisie (4), le nombre de modalités fixé au minimum (2), c'est le nombre de facteurs qui détermine le nombre d'expériences à réaliser.

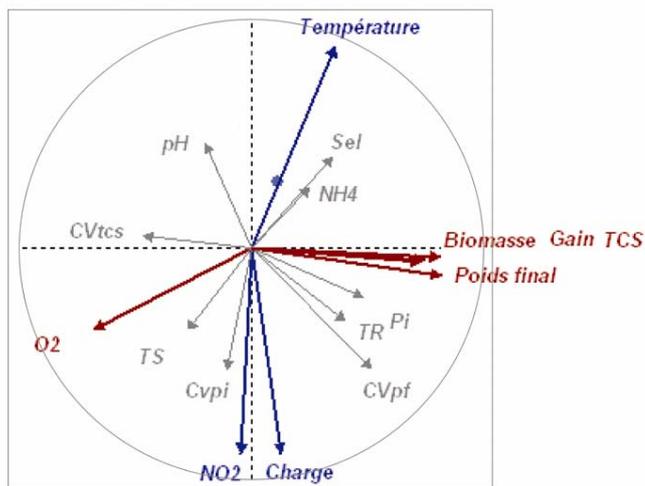
Ce type de plan est préconisé pour les démarches exploratoires et s'applique particulièrement bien à notre cas. Ces techniques ont été utilisées abondamment en milieu industriel. Cependant, malgré leur intérêt, leur utilisation dans le milieu biologique reste, pour l'instant, confidentiel.

La construction du plan et l'analyse des résultats sont réalisées avec les logiciels Planor et Analys (Kobilinsky, 2000) [1].

### 2.2. Sélection des facteurs à tester

Les facteurs d'entrée ont été choisis d'après les connaissances fournies par la bibliographie. Ainsi, 36 facteurs, comme la photopériode, l'hétérogénéité initiale de poids ou la qualité de l'eau ont été identifiés comme potentiellement actifs sur le système. Une méta analyse fut réalisée afin de pouvoir en sélectionner un nombre plus restreint à tester.

Les données proviennent d'expériences réalisées sur un autre stade de production (pré grossissement <2g, nombre de bacs : 48). Les paramètres de qualité de l'eau ont été à chaque fois relevés, ainsi que les variables de croissance (poids final, vitesse de croissance). Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur ces données (Fig. 2).



Axe 1 : 33% de la variance, corrélé aux variables représentés en rouge  
 Axe 2 : 20% de la variance, corrélé aux variables représentés en bleu

Figure 2: Cercle des corrélations des variables actives utilisées en ACP

Les variables de croissance (Biomasse, Gain de poids, Taux de Croissance Spécifique) sont orthogonales avec la variable NO<sub>2</sub> et peu corrélées avec le pH et NH<sub>4</sub>. La toxicité de ces produits (avérée par la bibliographie) n'est pas en relation avec les paramètres de croissance et agit donc à partir d'une valeur seuil.

En conclusion : une bonne conduite des élevages expérimentaux permet de neutraliser l'influence de la qualité de l'eau sur les variables zootechniques. Nous pouvons donc exclure ces paramètres des facteurs à tester.

Finalement 12 facteurs ont été sélectionnés afin de tester simultanément leurs effets:

Température (Temp) .....	16 / 23 °C
Taux de rationnement (TR).....	Optimal (Opt) / Maximal (Max)
Taux de Lipides (Lip) dans la ration.....	17 / 21 %
Nature des Protéines (NP) de la ration.....	Poisson (P) / Poisson+Soja (P+V)
Nature des Lipides (NL) de la ration .....	Poisson (P) / Poisson+ Colza (P+V)
Pourcentage d'astaxanthine (Pig) .....	0 / 0.4% (T)
Densité (Dens) .....	4.5/ 12 Kg m <sup>-3</sup>
Mode de Distribution de l'aliment (Mdis).....	continu / 2 repas/j
Hétérogénéité initiale du poids vif (Het) .....	15% / 30%
Photophase (Pho) .....	8H / 16H
Spectre lumineux ( Spec).....	violacé (Vio) / Blanc Industriel (Ind)
Nombre de jours d'alimentation / semaine (Jal) .....	6j / 7j

### 2.3. Choix des variables de sortie.

Comme pour les facteurs d'entrée, les variables de sortie utilisées pour l'optimisation du système ont été sélectionnées par ACP à partir de tous les éléments caractérisant le produit: Poids final (Pf), Efficacité alimentaire (Ea), Hétérogénéité de poids (CVpf), Biomasse de filet produite (Biomf), Indice gonado-somatique(igs), Rendement en filet(Rdtf), Luminance du filet (Lf), Pollution en azote(Pertes N), Pollution en phosphate (Pertes P), Taux de lipides de la chair (% Lip), Taux de DHA (DHA), Ratio des lipides n-3 sur les lipides n-6 (n-3/n-6).

### 2.4. Plan d'expériences :

Disposant de 24 bacs, c'est un plan de résolution 4 à 12 facteurs étudiés à 2 modalités qui a été choisi (Tabl.1).

Tableau 1: Matrice du plan d'expérience retenu

Combinaison	Temp	TR	Lip	Np	NL	Pig	Dens	Mdis	Het	Pho	Spec	Jal
1	23°	Opt	21	P+V	P	0	4	C	15	16	Vio	6
2	16°	Opt	21	P	P+V	0	12	C	15	8	Ind	6
3	23°	Max	21	P	P+V	T	12	2	15	8	Vio	6
4	16°	Opt	17	P+V	P	0	12	2	30	8	Vio	6
5	16°	Max	21	P	P+V	0	4	2	30	16	Vio	6
6	16°	Max	21	P+V	P+V	T	12	C	30	16	Ind	6
7	23°	Max	17	P+V	P+V	0	12	2	15	16	Ind	6
8	23°	Opt	21	P+V	P	T	4	2	30	8	Ind	6
9	23°	Opt	17	P	P+V	T	12	C	30	16	Vio	6
10	16°	Opt	17	P	P	T	4	2	15	16	Ind	6
11	23°	Max	17	P	P+V	0	4	C	30	8	Ind	6
12	16°	Max	17	P+V	P	T	4	C	15	8	Vio	6
13	16°	Max	17	P	P+V	T	12	2	30	8	Ind	7
14	23°	Opt	17	P+V	P+V	T	4	C	15	8	Ind	7
15	16°	Opt	17	P+V	P+V	0	4	C	30	16	Ind	7
16	23°	Max	21	P	P	T	4	C	15	16	Ind	7
17	23°	Max	17	P+V	P+V	T	12	2	30	16	Vio	7
18	23°	Opt	17	P	P	0	4	2	15	8	Vio	7
19	16°	Opt	21	P	P+V	T	4	C	30	8	Vio	7
20	16°	Max	17	P	P+V	0	12	C	15	16	Vio	7
21	16°	Max	21	P+V	P	0	4	2	15	8	Ind	7
22	23°	Max	21	P+V	P+V	0	12	C	30	8	Vio	7
23	16°	Max	21	P+V	P	T	12	2	15	16	Vio	7
24	23°	Opt	21	P	P	0	12	2	30	16	Ind	7

Remarque : l'orthogonalité entre les vecteurs colonne n'est pas parfaite du fait d'une correction de la matrice consécutive à un mauvais étiquetage des aliments expérimentaux fabriqués. Cependant, le cosinus de l'angle entre les vecteurs étant très proche de 0, la précision demeure quasi-maximale. Les alias (groupes d'interactions) ont toutefois subi une inflation du nombre d'interactions entre 2 facteurs (Tabl. 2)..

Tableau 2: Liste des alias d'interactions entre 2 facteurs

Temp.TR + Pig.Pho + Mdis.Het
Temp.Pig + Pig.Het + 2 Pig.Pho + 2 Dens.Mdis + Dens.Het + Mdis.Het + Mdis.Pho + Het.Pho
Temp.Dens + Pig.Pho + Dens.Mdis + Dens.Het + Mdis.Het + Het.Pho
Temp.Mdis - Pig.Het - Pig.Pho - Dens.Mdis - Dens.Pho - Mdis.Het - Het.Pho
Temp.Pho + 2 Pig.Het + 3 Pig.Pho + 2 Dens.Mdis + 2 Dens.Het + Dens.Pho + 2 Mdis.Het + Mdis.Pho + Het.Pho
TR.Pig - Pig.Het - Pig.Pho - Dens.Mdis - Dens.Pho - Mdis.Het
TR.Dens + Pig.Het + Pig.Pho + Dens.Mdis + Dens.Het + Mdis.Het + Mdis.Pho
TR.Mdis + Pig.Het + 3 Pig.Pho + 2 Dens.Mdis + 2 Dens.Het + Dens.Pho + 2 Mdis.Het + Mdis.Pho + Het.Pho
TR.Het + Pig.Het + 2 Pig.Pho + 2 Dens.Mdis + Dens.Het + Mdis.Het + Het.Pho
Pig.Dens + Pig.Het + 2 Pig.Pho + Dens.Mdis + Dens.Het + Dens.Pho + 2 Mdis.Het + Mdis.Pho + Het.Pho

Ex : Temp.Pig représente l'interaction des facteurs Température et Pigmentation. Par la suite, nous nommerons un alias d'interactions par la première interaction de chaque ligne.

## 2.5. Analyse statistique :

Pour chaque variable de sortie, une recherche des facteurs potentiellement influents est effectuée avec un modèle d'analyse de variance sursaturé, par la méthode des graphes de Daniel [2]. Ensuite, les facteurs potentiellement influents (principaux ou d'interaction) ont été testés dans un modèle d'analyse de variance dont la résiduelle est constituée des effets non actifs. Pour chaque facteur significatif est calculé son effet moyen.

## RESULTATS, DISCUSSION

### 1 Facteurs et alias d'interactions ayant un effet significatif sur les variables de sortie (Fig. 3):

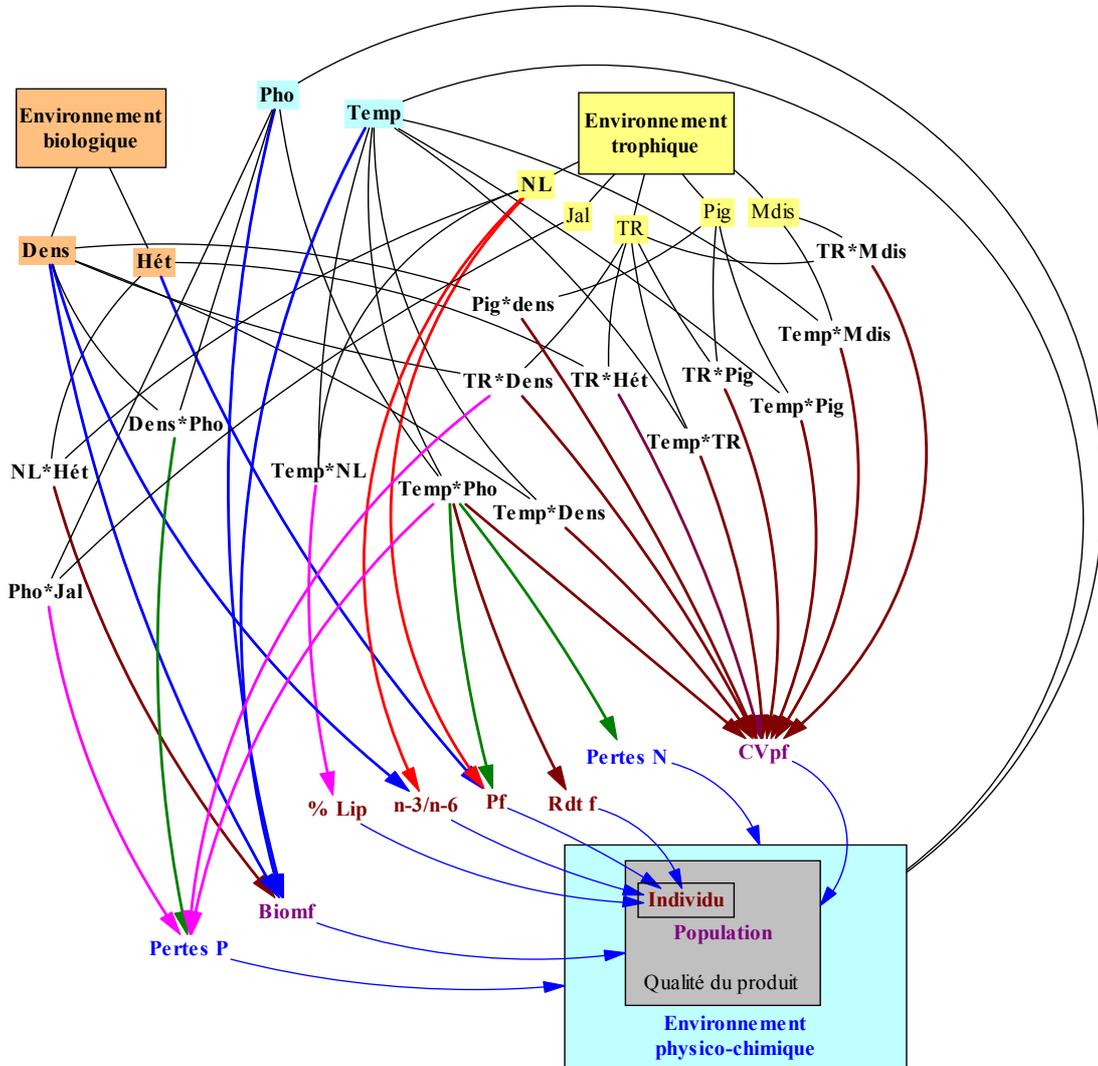


Figure 3: Modèle de représentation du déterminisme des facteurs d'entrée sur les variables de sortie.

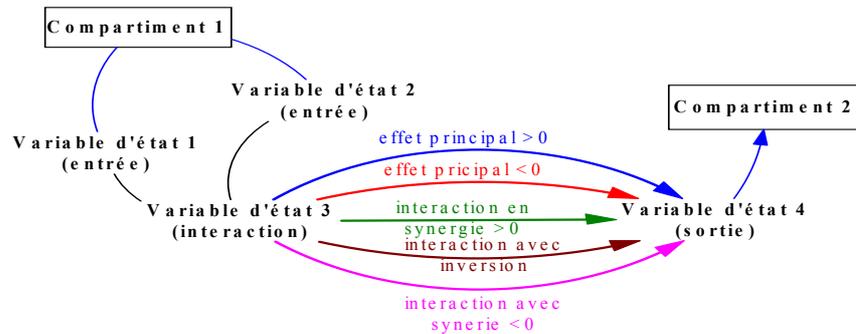


Figure 4 : Légende et code de couleur.

Certaines variables de sortie ont un déterminisme simple. Par exemple le ratio (n-3/n-6) est influencé par 2 effets principaux: la densité initiale et la nature des lipides.

Par contre la variable d'hétérogénéité de poids (CVpf) est influencée significativement par 10 alias d'interaction. C'est une information émergente sur la complexité du déterminisme de cette variable de sortie. Des approches classiques monofactorielles n'auraient pas permis de mettre en évidence ce phénomène, ce qui valide l'intérêt de la démarche proposée.

## **2 Vers une modélisation fonctionnelle systémique.**

L'approche actuelle est basée sur une modélisation empirique de type « boîte noire ». Le système d'élevage est considéré comme une entité qui exprime différentes réponses aux traitements appliqués. Cette approche n'est pas suffisante..

Les résultats doivent être valorisés en élaborant un modèle générique, c'est-à-dire un modèle adaptable à différentes situations (espèces, stade physiologique, ...) à partir de dénominateurs communs entre les comportements. Pour cela des données sont disponibles:

- obtenues sur la perche dans notre laboratoire
- obtenues sur la perche et d'autres espèces (bar, lotte) dans des laboratoires associés
- dans la bibliographie, avec une perte d'information sur le détail des résultats, mais avec un spectre d'espèces et de situations beaucoup plus grand.

Dans ce travail, l'expérimentation présentée ici pourra avoir un rôle important dans l'identification des **mécanismes biologiques** régulant le fonctionnement du système aquacole et le déterminisme des variables de sortie. Ces pistes, éclairées par la bibliographie pourraient permettre de comprendre ces mécanismes (métaboliques, hormonaux, sociaux...) qui serviraient alors de base pour la modélisation.

Cette modélisation mécaniste serait, par construction, générique (c'est-à-dire non-spécifique). Une première paramétrisation peut être envisagée sur les données de l'expérience présentée ici. En effet, celle-ci se prête particulièrement bien à cette tâche car 24 modalités très différentes les unes des autres sont testées. C'est un premier moyen de valider le modèle (et de le comparer au modèle linéaire). Le modèle pourra ensuite être testé, affiné et paramétré sur d'autres situations d'élevage de la perche pour étudier et valider son comportement.

Le modèle sera ensuite adapté (peut-être en le généralisant encore) sur d'autres espèces, telles que le bar et la lotte.

[1] Kobilinsky A., Logiciels Planor et Analys. Unité de Biométrie, INRA. (2000)

[2] Kobilinsky A., Les plans factoriels. *Plans d'expériences Applications à l'entreprise.*, pp 69-209. Ed. : Editions Technip. Paris (1997)