

SOCIETE FRANCAISE D'ENERGIE NUCLEAIRE

Section n° 6 : "PHYSIQUE DES REACTEURS"

Réunion Technique :

**"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"**

10 juin 1999

3 2 / 2 1

La SFEN est une association
de personnes physiques,
sans but lucratif
(loi de 1901),
Société savante :
elle favorise l'avancement
des sciences et techniques
nucléaires ainsi que la
diffusion des connaissances
correspondantes.

SFEN
société française d'énergie nucléaire
67 rue Blomet
F-75015 PARIS

Tél. : 33 (0)1 53 58 32 10 - Fax : 33 (0)1 53 58 32 11
E.Mail : SFEN@wanadoo.fr - Site internet : www.sfen.org

**PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK**

DISCLAIMER

**Portions of this document may be
illegible in electronic image products.
Images are produced from the best
available original document**



N/REF. : SFEN 99/22
OBJET : **SFEN - SECTION TECHNIQUE N° 6**
RECUEIL DES PRESENTATIONS
DE LA JOURNEE DU 10 JUIN 1999

PARIS - LA DÉFENSE, le 2 juillet 1999.

A tous les participants,

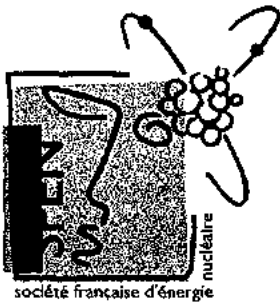
Veillez trouver ci-jointes les présentations de la Réunion Technique du 10 juin 1999 consacrée à :

"L'Hydraulique des Réacteurs à Eau Pressurisée"

Vous en souhaitant bonne réception, je vous prie d'agréer mes meilleures salutations.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J.P. Bourteele', with a long horizontal flourish extending to the right.

J.P. Bourteele



Programme de la journée

1. INTRODUCTION PAR LE PRESIDENT DE SEANCE

J.C. BOUCHTER (CEA/SMET)

2. L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

- 2.1 Présentation générale des écoulements à proximité d'une ligne de commande
Assemblage – Guide de grappe
D. Barbier (CEA/SH2C)
- 2.2 Thermohydraulique des cuves de REP aux conditions normales
A. Caruso (EDF/LNH) – S. Bellet (EDF/SEPTEN)
- 2.3 Les écoulements dans le cœur
J.P. Bourteele, F. Odras et J. Noailly (FRA) – A. Bergeron (CEA/SERMA)
- 2.4 Les écoulements dans le plénum supérieur
 - 2.4.1 : Simulation des essais BANQUISE
P. Dolléans (FRA/Procédé)
 - 2.4.2 : Qualification du code N3S-EF - Simulation des essais Banquise
S. Bellet (EDF/SEPTEN)

3. L'HYDRAULIQUE DES GENERATEURS DE VAPEUR

- 3.1 Description des générateurs de vapeur et études hydrauliques associées
A. Holcblat (FRA/Equipements primaires et Matériels)
- 3.2 Les écoulements dans les faisceaux
J. Garnier (CEA/SMET)
- 3.3 Couplage écoulement-structure entre le retour d'eau et l'enveloppe de faisceau
A. Gosse (EDF/DER)

6. CONCLUSION PAR LE PRESIDENT DE SEANCE

J.C. BOUCHTER (CEA/SMET)



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

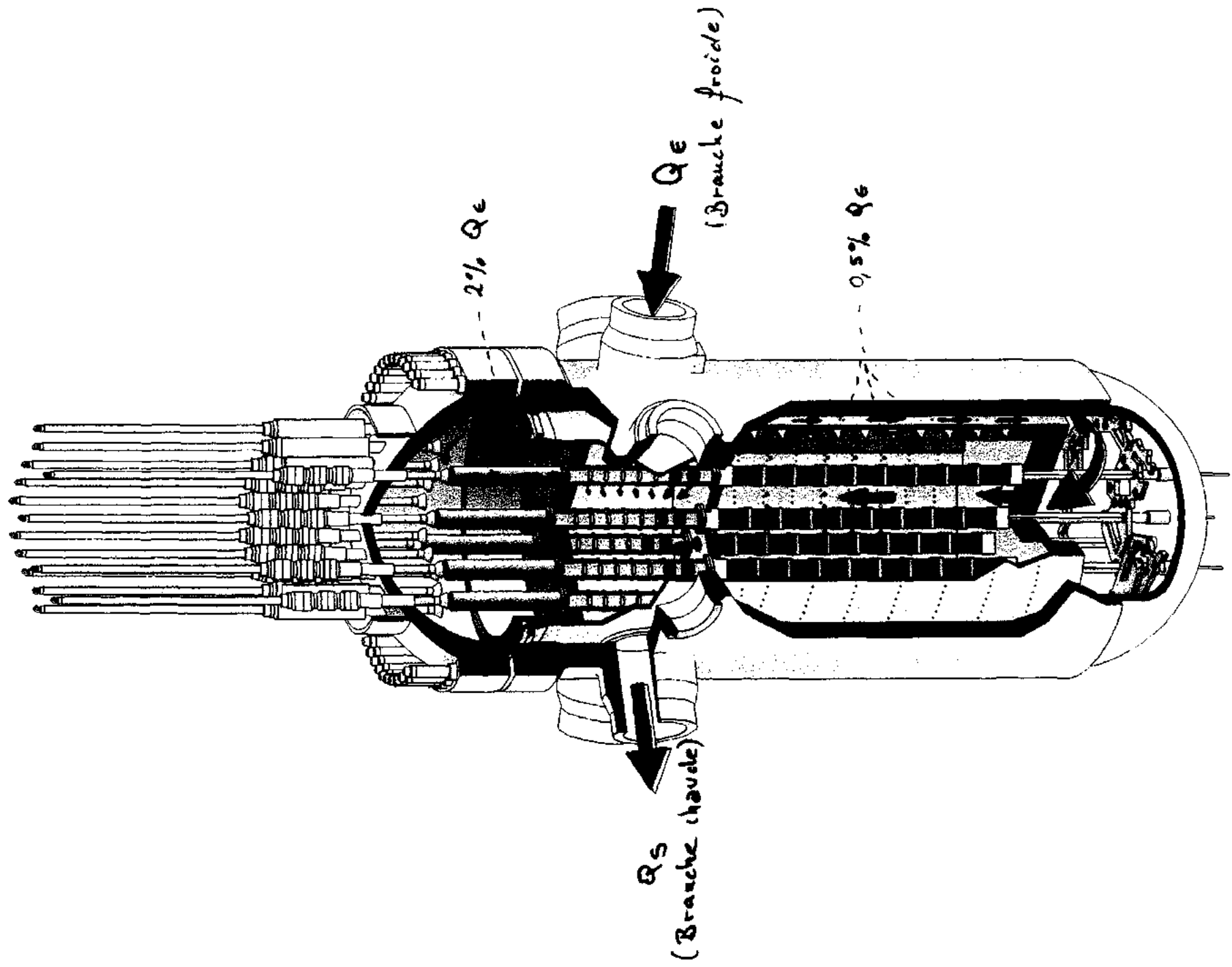
2

L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

2.1 Présentation générale des écoulements
à proximité d'une ligne de commande
Assemblage – Guide de grappe

D. Barbier (CEA/SH2C)

**PRESENTATION GENERALE DES
ECOULEMENTS A PROXIMITE
D'UNE LIGNE DE COMMANDE
ASSEMBLAGE - GUIDE DE GRAPPE.**



2% Q_e

Q_e
(Branche froide)

0,5% Q_e

Q_s
(Branche chaude)

1 Caractérisation thermohydraulique du coeur :

- ⇒ Fluide caloporteur : sûreté (marges vis à vis de la crise d'ébullition)
- ⇒ Aide à la conception de composants (grilles de mélange, embouts ...)

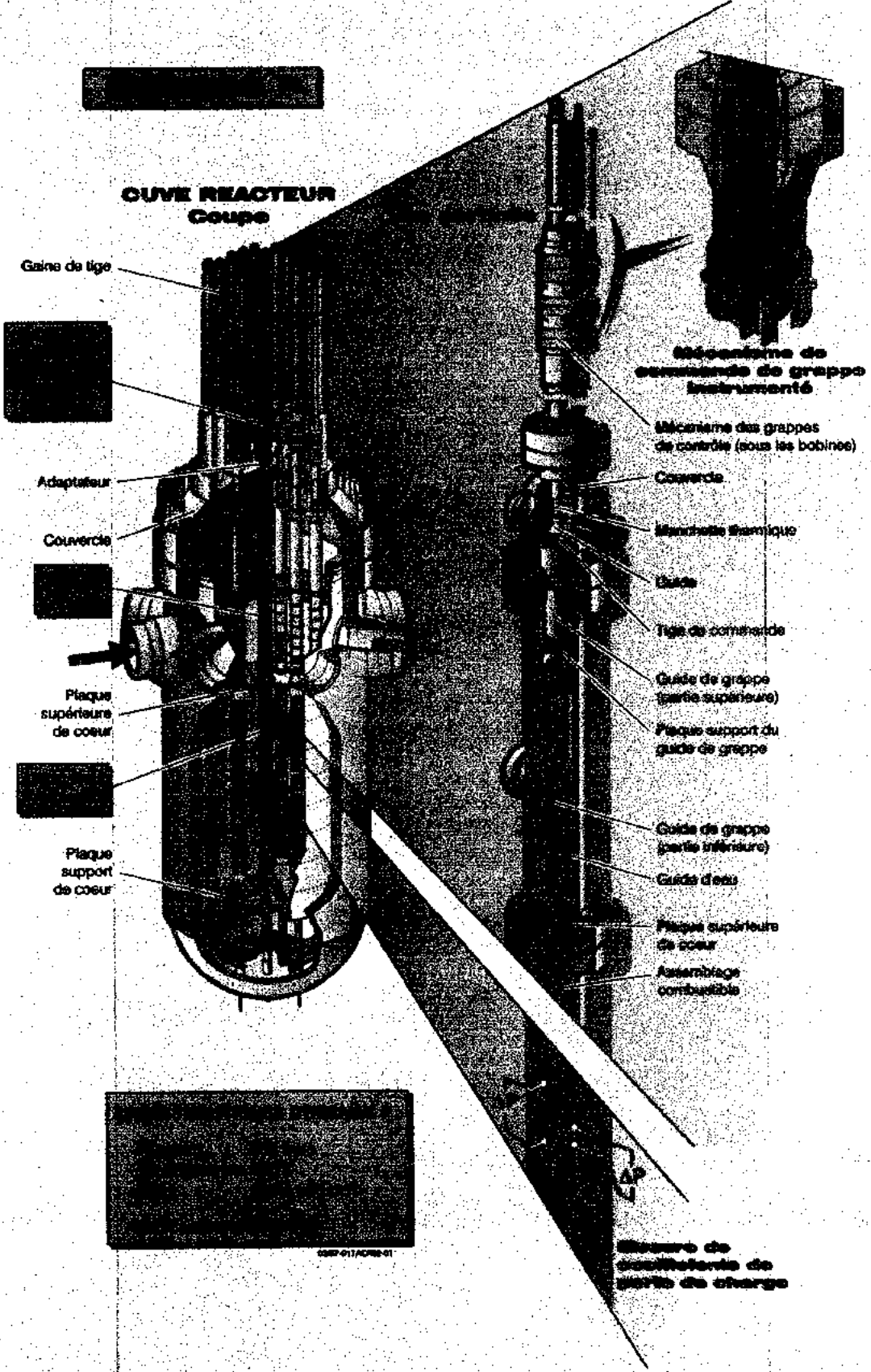
2 Caractérisation des sollicitations mécaniques des structures :

- ⇒ Chargement statique (arcures...)

$$U_i(x,t) = \bar{U}_i(x) + u_i'(x,t)$$

- ⇒ Chargement fluctuant (vibrations ...)

CUVE REACTEUR
Coupe



Gaine de tige

Adaptateur

Couvercle

Plaque supérieure de coeur

Plaque support de coeur

Mécanisme de commande de grappe instrumenté

Mécanisme des grappes de contrôle (sous les bobines)

Couvercle

Mécanisme électrique

Guide

Tige de commande

Guide de grappe (partie supérieure)

Plaque support du guide de grappe

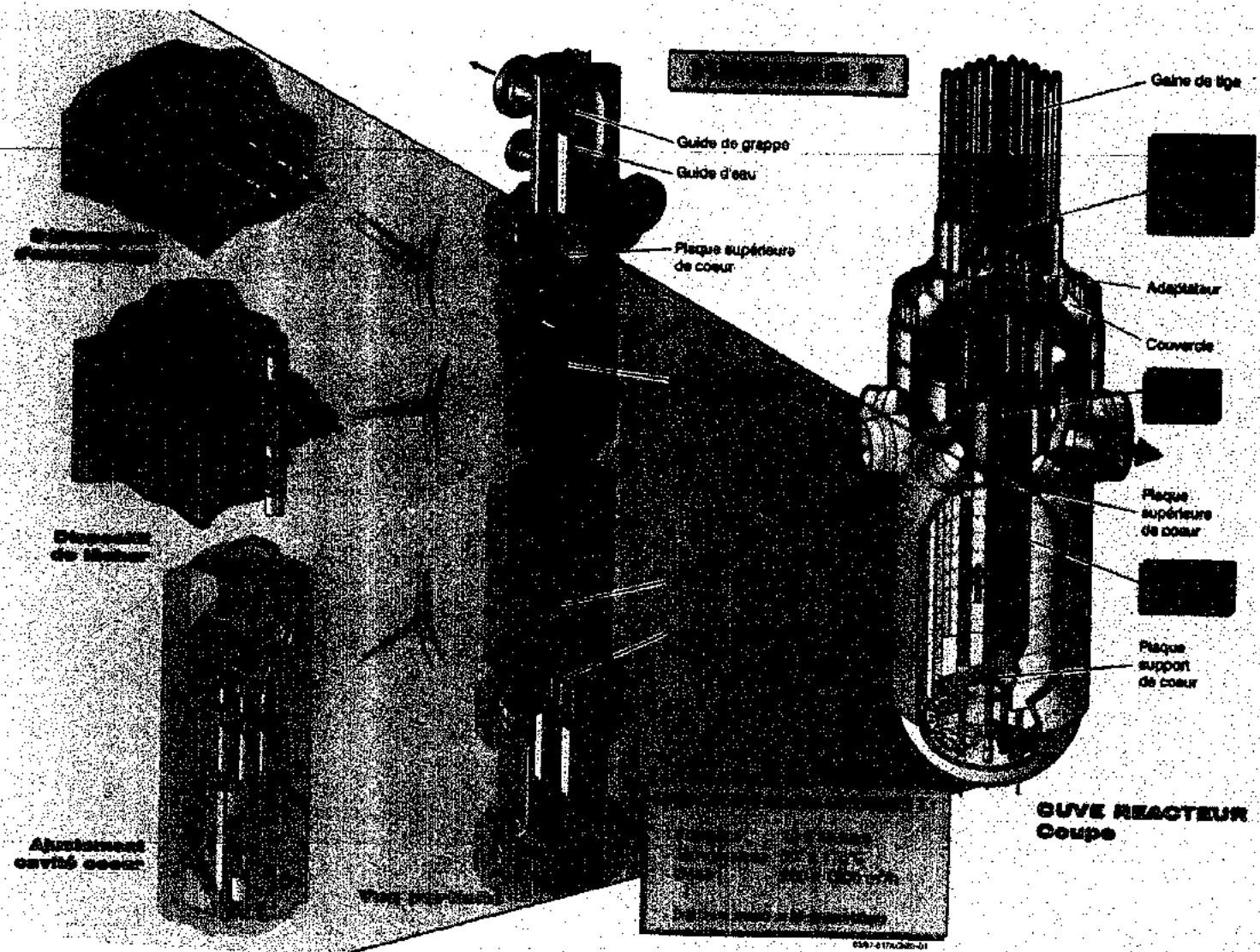
Guide de grappe (partie inférieure)

Guide d'eau

Plaque supérieure de coeur

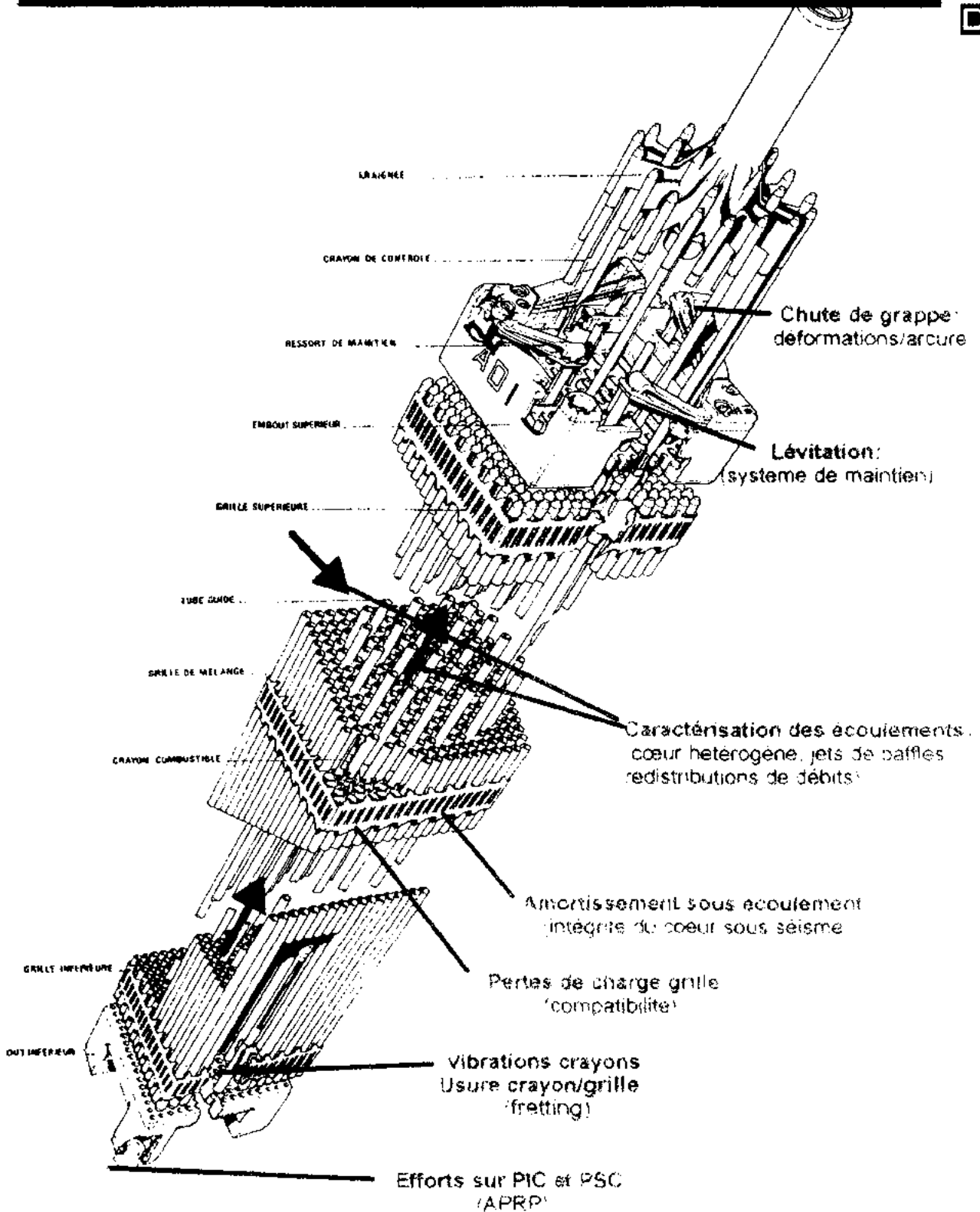
Assemblage combustible

Structure de sustentation de partie de charge



**CUVE REACTEUR
Coupe**

Les différents thèmes d'études du combustible

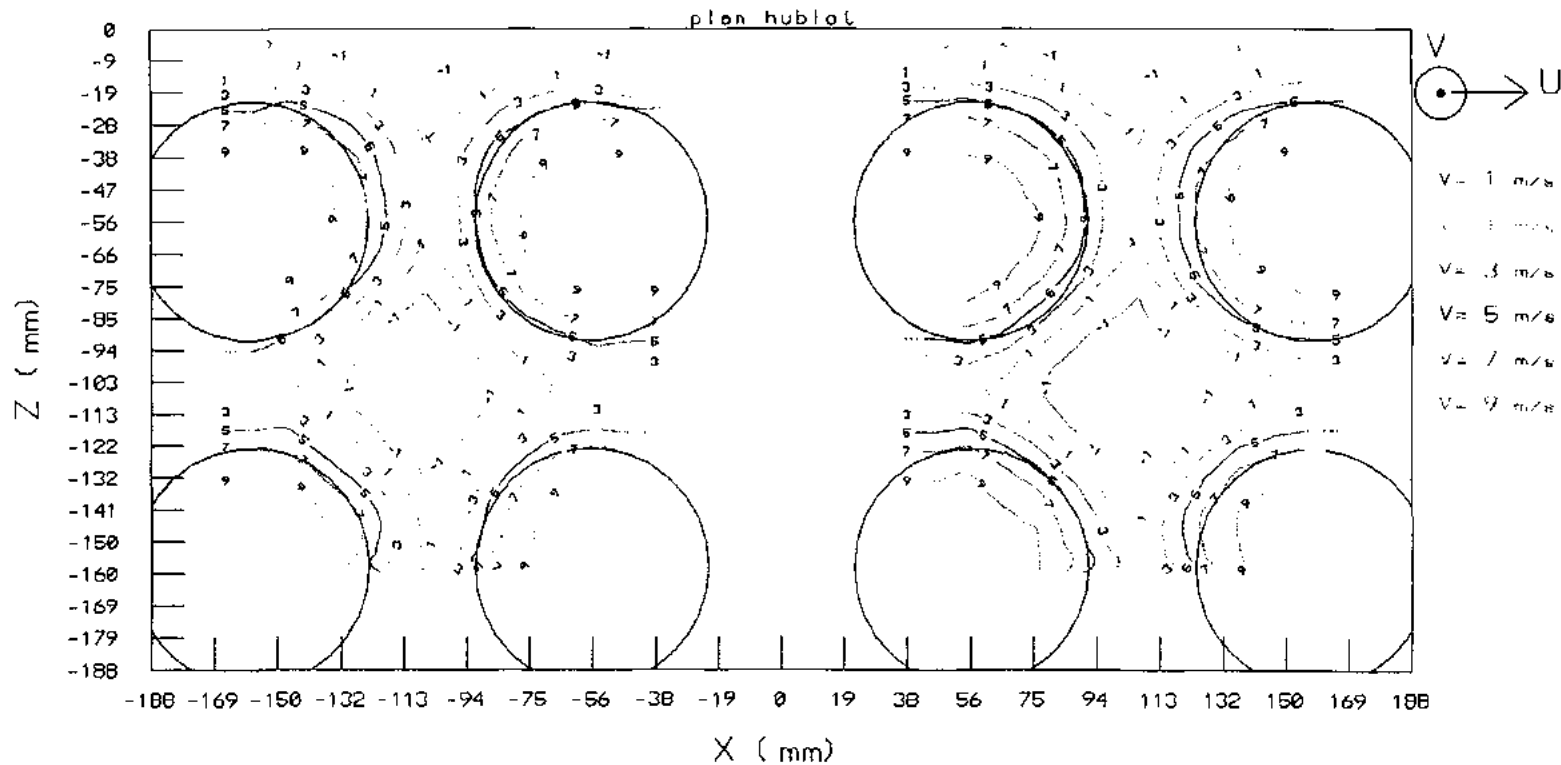


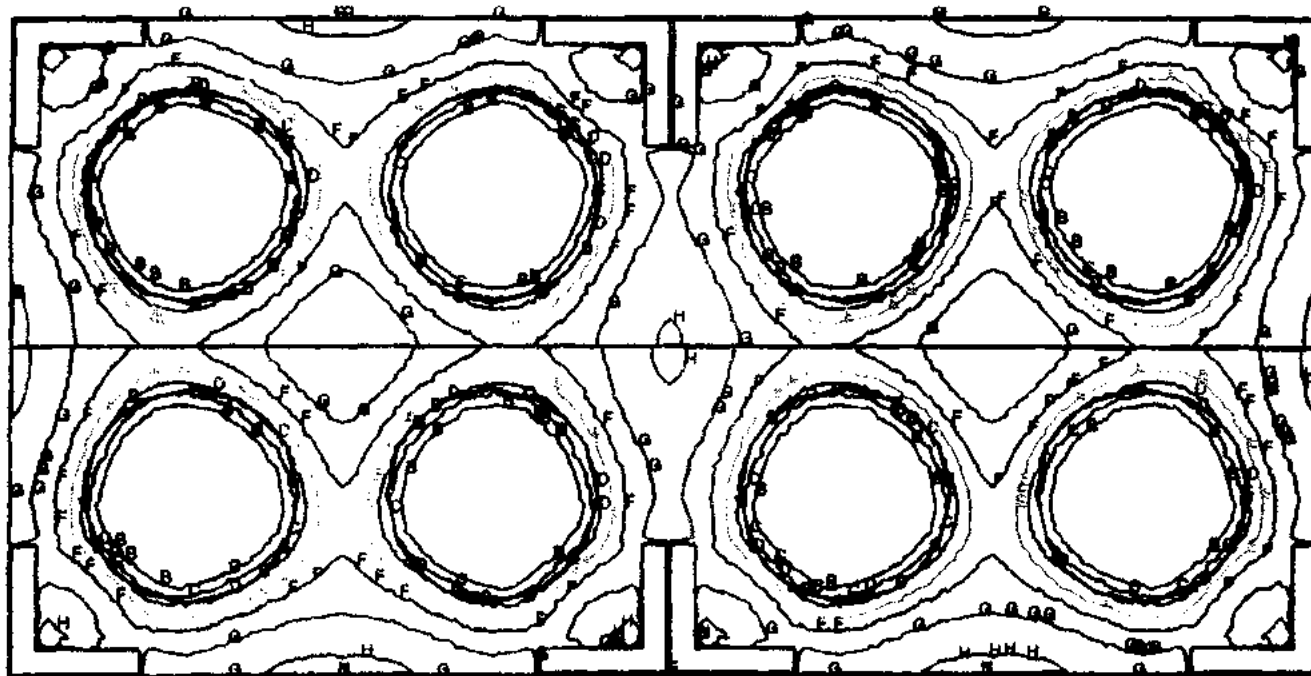
HYDRAULIQUE LOCALE ASSEMBLAGE:

Jets d'alimentation



VITESSES AXIALES (920 m³/h) Y=60 mm



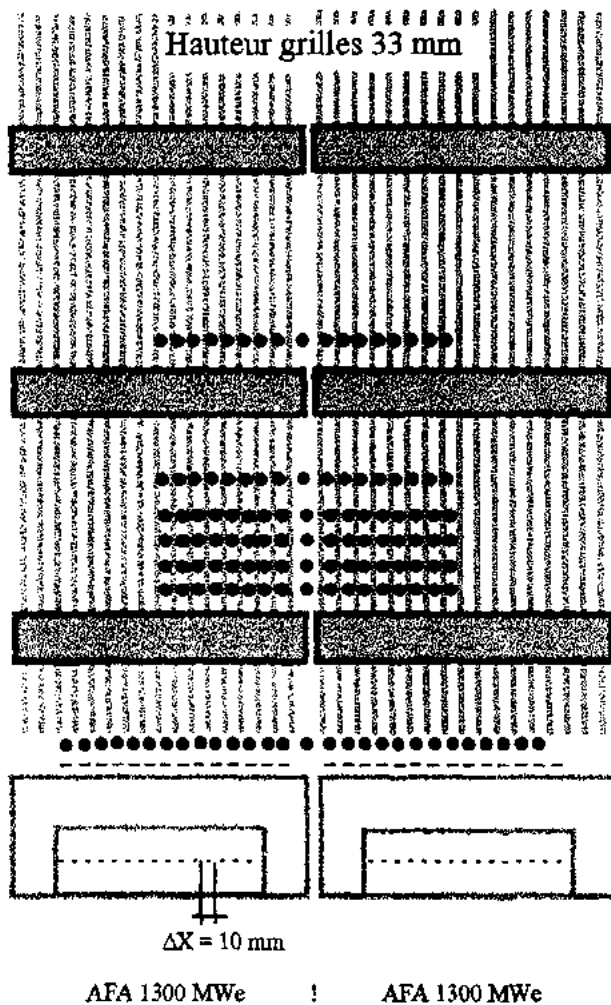


COMPONENT W
M/S
ITER = 1220
LOCAL MX = 10.44
LOCAL MN = -4.024

A	11.00
B	9.000
C	7.000
D	5.000
E	3.000
F	1.000
G	-1.000
H	-3.000

**CALCULS STAR-CD, COTE 60 mm: CARTES D'ISO -VALEURS
DES VITESSES AXIALES EN EQUILIBRE DE DEBIT**

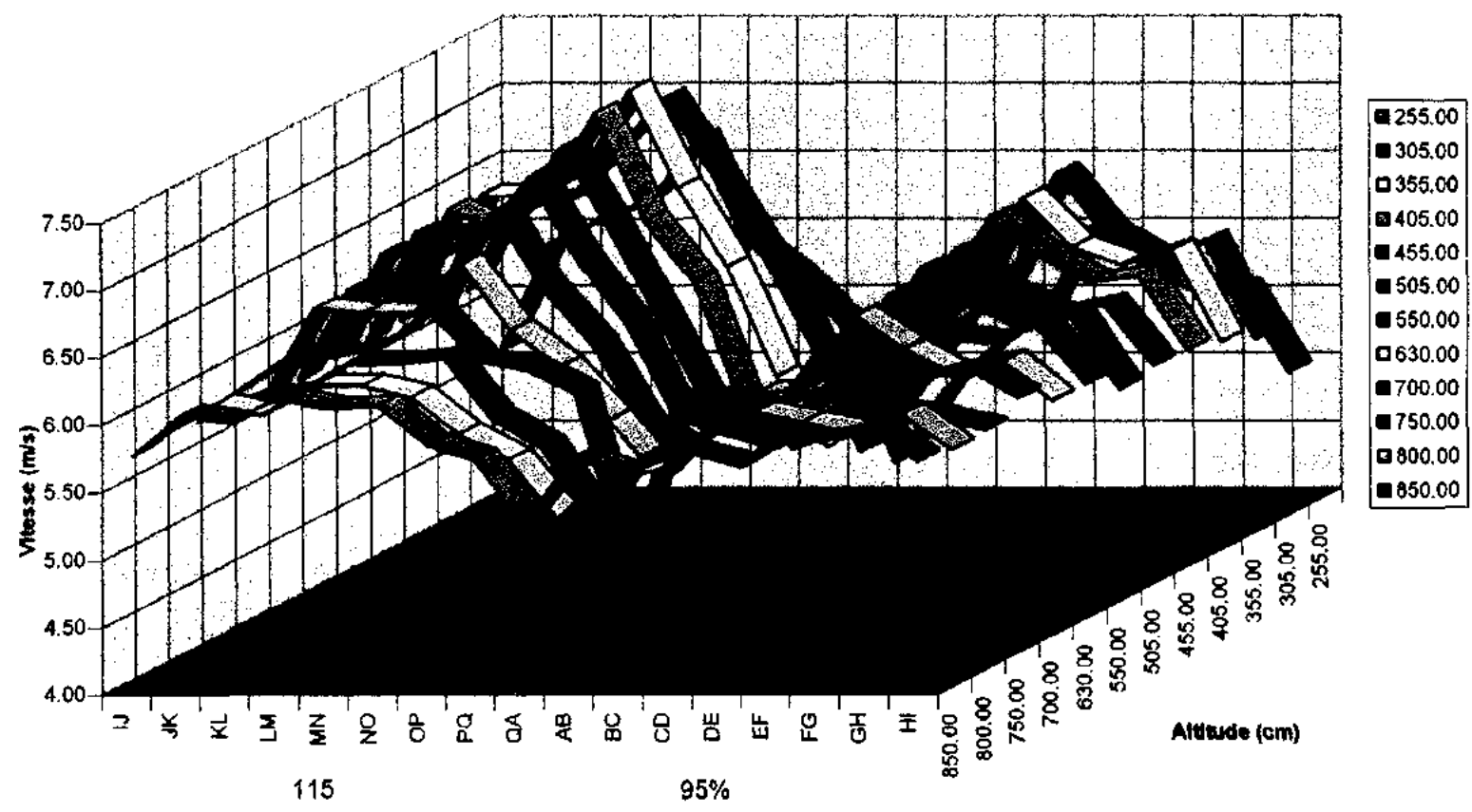
Exemple de maillage expérimental (THROMBOSE)



Moyenne des vitesses axiales (Thrombose 20 %)



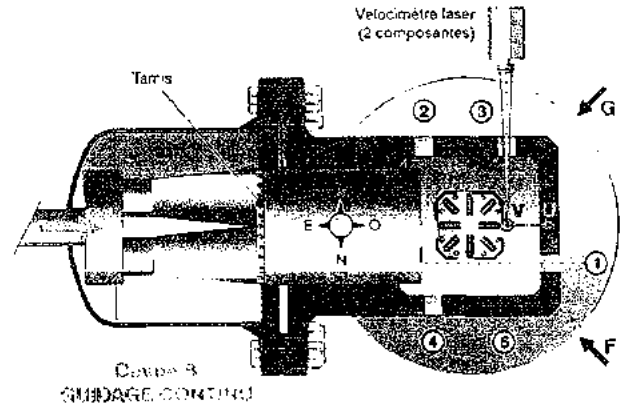
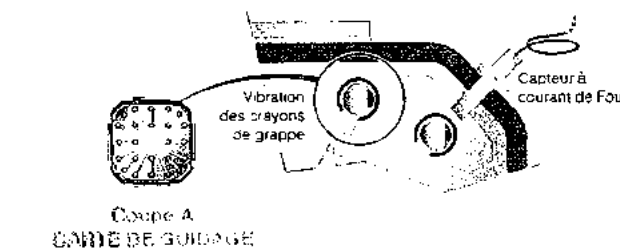
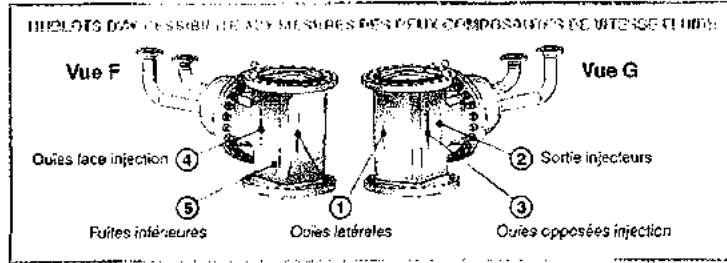
Moyennes par travées



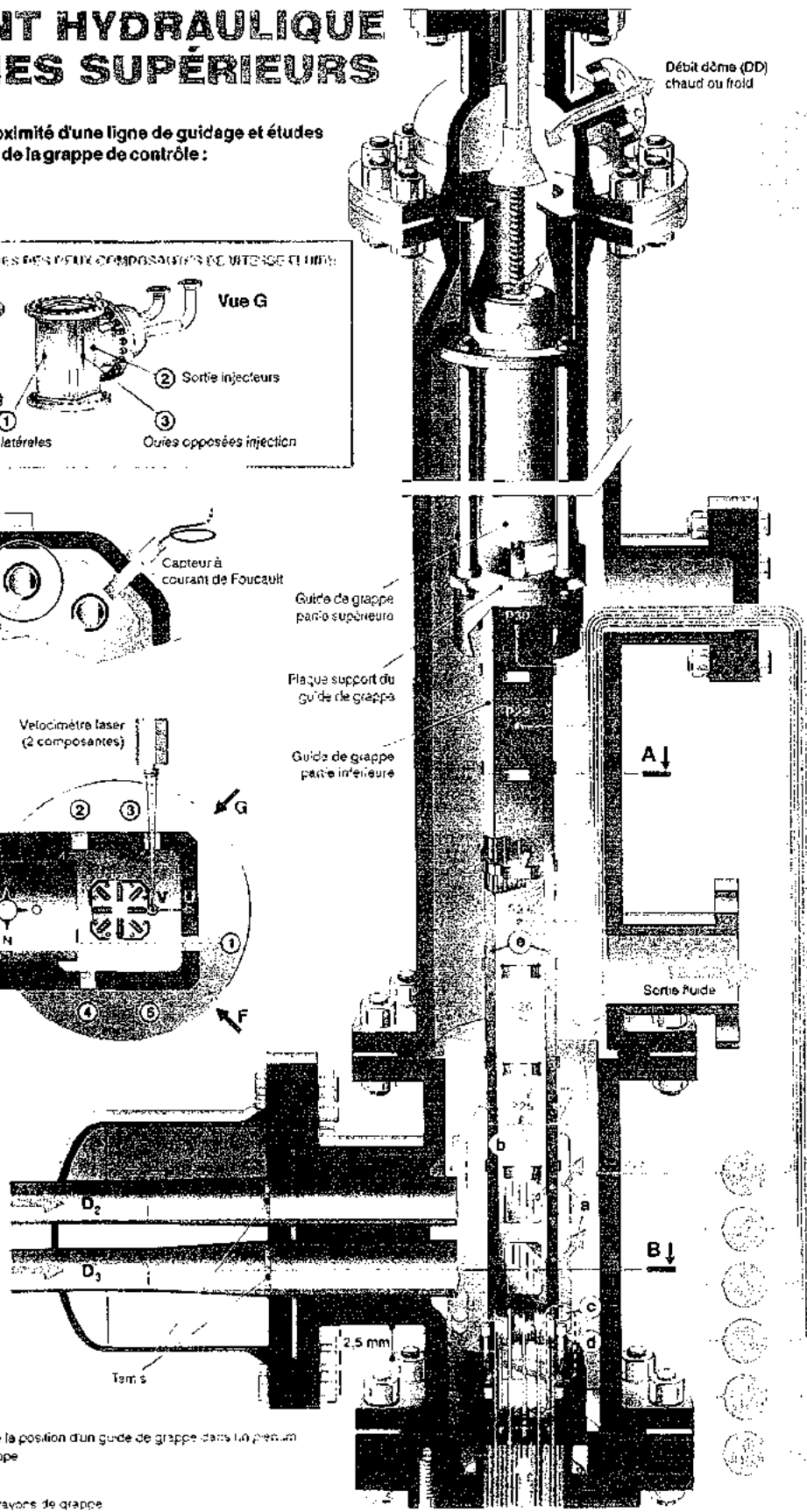
CHARGEMENT HYDRAULIQUE DES INTERNES SUPÉRIEURS

Études des écoulements à proximité d'une ligne de guidage et études des sollicitations mécaniques de la grappe de contrôle :

- cinétique de chute
- usure des grappes



- a Vitesses des orbes pures
- b Débit mesuré à l'intérieur du guidage discontinu
- c Vitesses orbes des broches de fixation
- d Vitesses jeu entre guide de grappe et plaque supérieure de cœur
- e Vitesses aux orbes des canots de guidage

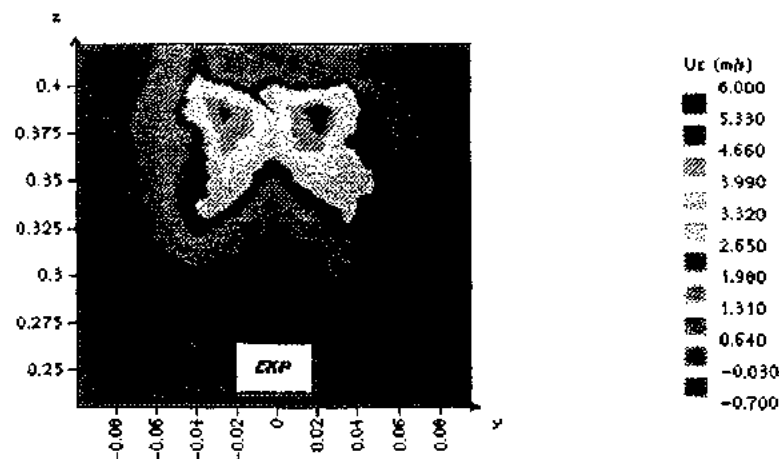


- Paramétrage de $(D_1)(D_2)(DD)$ représentatif de la position d'un guide de grappe dans la penne
- Ligne piézométrique interne au guide de grappe
- Mesures de temps de chute
- Mesures des débits de fuites aux cartés
- Mesures des déplacements vibratoires des brayons de grappe

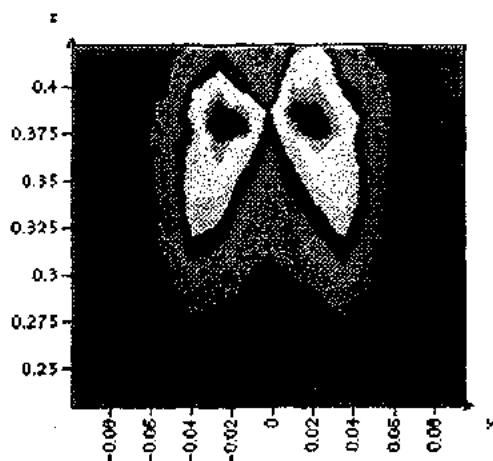
ÉCOULEMENTS A PROXIMITÉ DES GUIDES DE GRAPPE: Comparaison mesures - calcul N3S



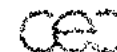
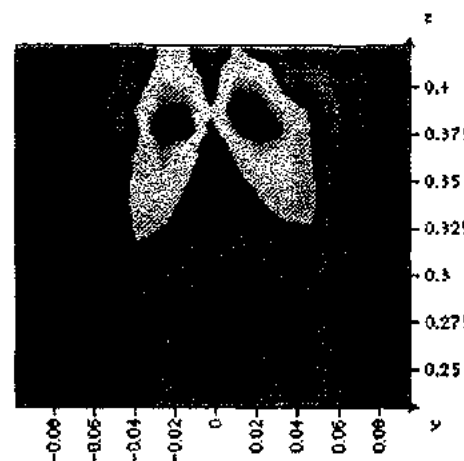
COMPARAISONS MESURES CEA - CALCUL N3S EDF
CONFIG
PLAN EN AVAL DE L'OUÏE EST INFÉRIEURE



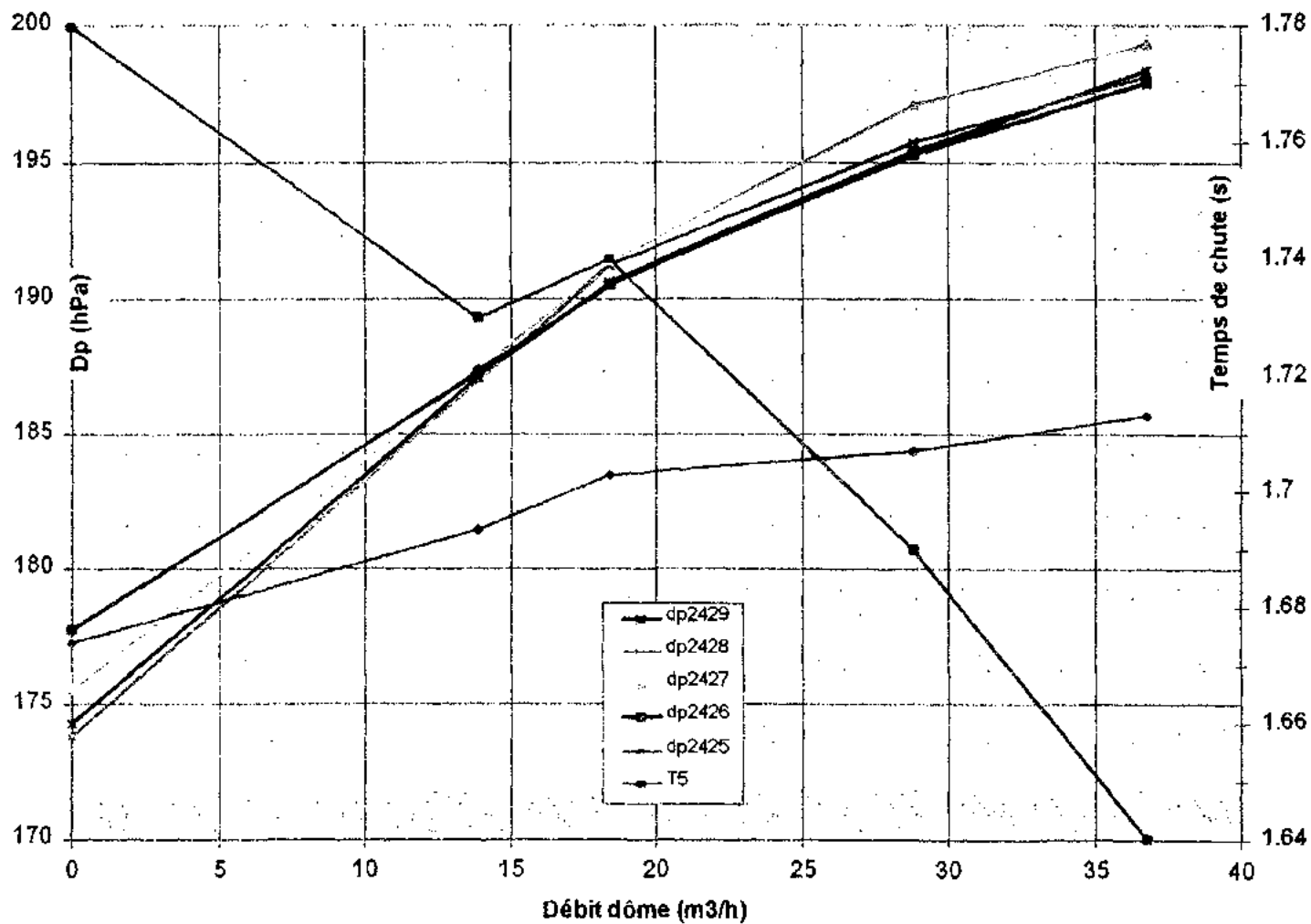
N3S
debit: 15%
90° - 7 90°

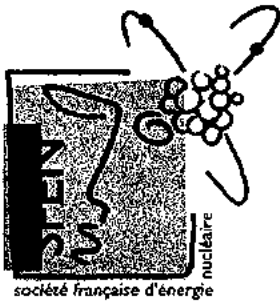


N3S
debit: 12%
90° - 7 90°



ÉCOULEMENTS A PROXIMITE DES GUIDES DE GRAPPE:





SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

2

L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

2.2 Thermohydraulique des cuves de REP aux conditions normales

A. Caruso (EDF/LNH) – S. Bellet (EDF/SEPTEN)

Thermohydraulique des cuves de REP aux conditions normales

A. Caruso (EDF/DRD/LNH)
S. Bellet (EDF/PI/SEPTEN)

Depuis 1998, EDF a initié un programme de R&D dont le principal objectif est de modéliser l'ensemble des écoulements dans la cuve d'un REP.

La démarche entreprise repose sur le remontage de différents dossiers existants, afin d'être capable de structurer une chaîne de calculs avec plusieurs codes sur les différents paliers du parc nucléaire, puis de l'appliquer sur la géométrie EPR de façon à évaluer l'impact des nouvelles conceptions sur la thermohydraulique de la cuve.

C'est pour cette raison que la DRD (Division Recherche et développement d'EDF) réalise de nombreuses études thermohydrauliques sur les composants de la cuve des REP. Les différents phénomènes rencontrés que l'on veut maîtriser sont la dilution en entrée coeur avec les accidents de réactivité, l'usure et le temps de chute des grappes de commande, la mesure de la température en branche chaude pour l'estimation des débits primaires, la déformation des assemblages combustibles. Les études de dilution sont relatives à la sûreté, l'usure des grappes à la maintenance, le temps de chute des grappes également à la sûreté. La mesure de la température en branche chaude concerne la sûreté, la conception et les marges d'exploitation, donc la disponibilité. En plus de la sûreté, la déformation des assemblages a également comme enjeu l'appréciation du dimensionnement par le constructeur.

A la demande du Pôle Industrie et du SEPTEN en particulier, toutes ces études sont coordonnées dans le cadre d'un Projet Pluriannuel de Recherche et Développement «Thermohydraulique des cuves de REP aux conditions normales», piloté par le LNH. L'objectif principal de ce projet est la modélisation numérique fine des écoulements dans les différents composants de la cuve avec les codes N3S et THYC, tout en assurant la cohérence des calculs. Il s'agit également de valider et/ou qualifier ces deux codes pour des calculs d'écoulements dans une cuve REP, afin de posséder une chaîne logiciel reconnue de l'Autorité de Sûreté et qui puisse être mise en oeuvre pour le palier EPR. Un troisième objectif de ces calculs thermohydrauliques concerne les déformations mécaniques des internes de cuve dues aux champs thermiques, étudiées à l'aide du code ASTER.

La complexité des écoulements entre l'entrée et la sortie de la cuve a conduit à décomposer cet ensemble en quatre zones :

- 1- Les entrées branches froides, downcomer et plenum inférieur (fond de cuve),
- 2 - Le coeur,
- 3 - Le plenum supérieur,
- 4 - Les sorties branches chaudes,

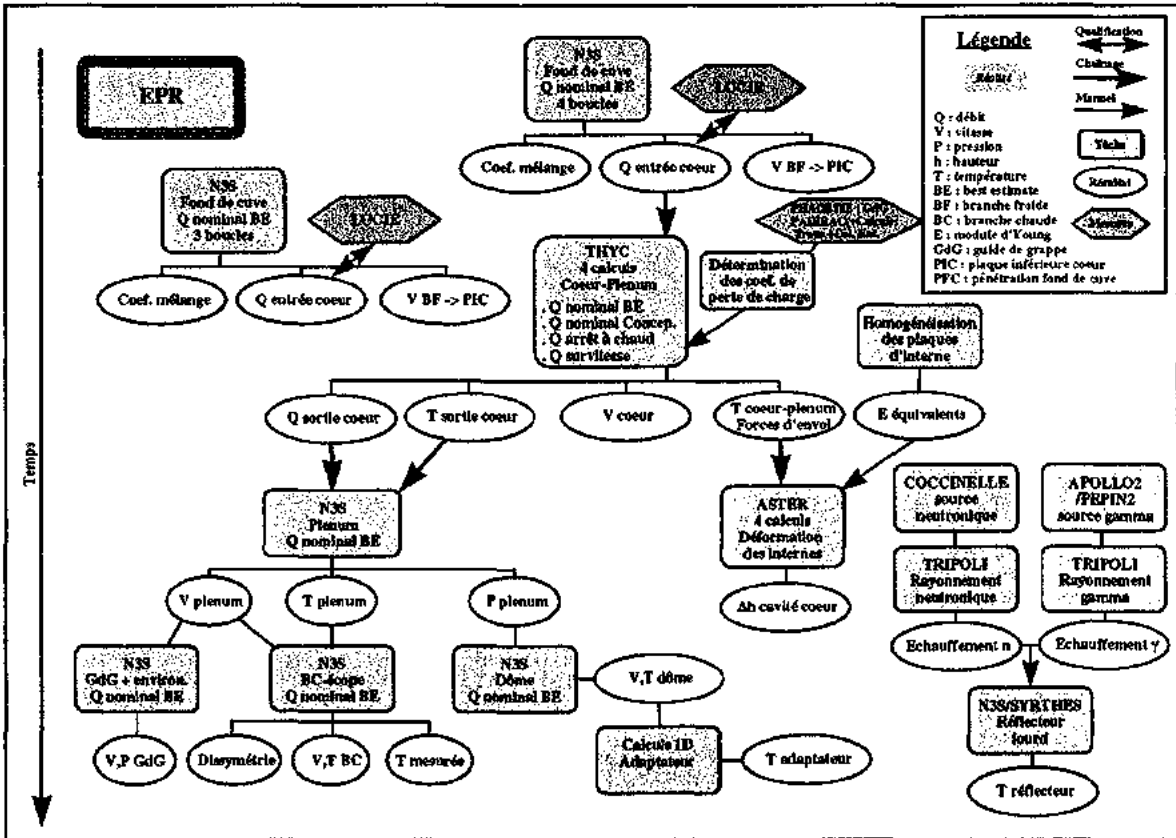
avec éventuellement des recouvrements géométriques partiels entre elles (par exemple coeur-plenum supérieur, plenum supérieur-branches chaudes) afin de limiter le risque de conditions aux limites mal posées ou mal connues.

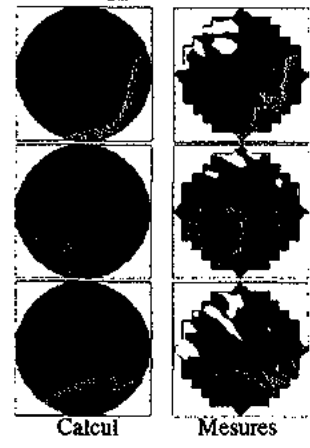
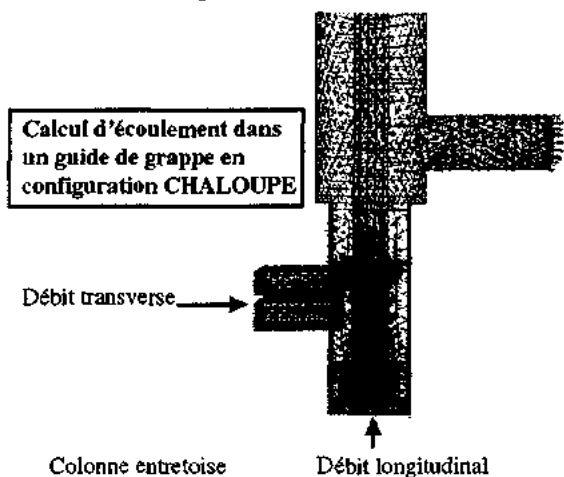
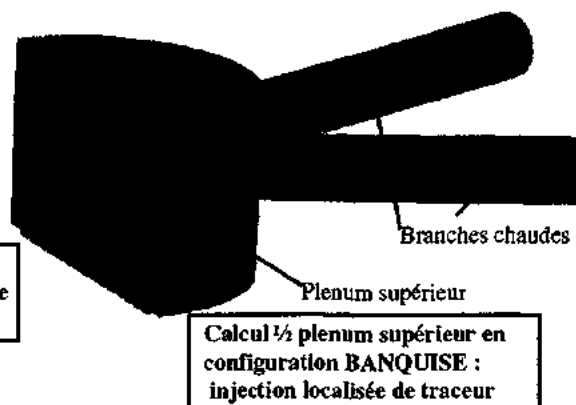
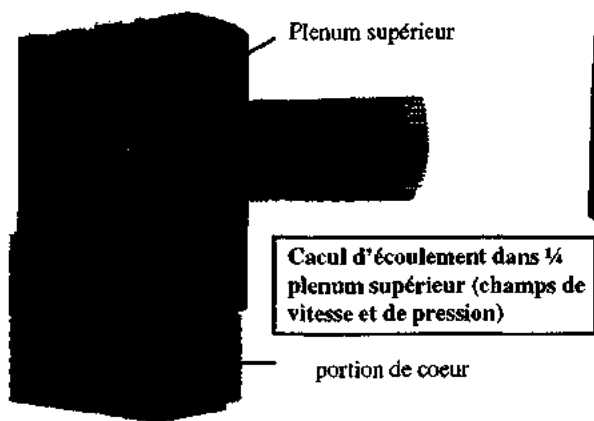
Les calculs d'écoulements dans le fond de cuve, le plenum supérieur et les branches chaudes sont réalisés à l'aide du code N3S et sont pris en charge par le département LNH (Laboratoire National d'Hydraulique). Ils permettent une approche fine des phénomènes thermohydrauliques (maillages raffinés) tandis que les calculs d'écoulements dans le coeur

pris en charge par les départements PhR (Physique des Réacteurs) et TTA (Transferts Thermiques et Aérodynamiques) à l'aide du code THYC, qui permet une approche plus globale des phénomènes thermohydrauliques. Les contraintes mécaniques dans le cœur sont calculées par le département AMV (Acoustique et Mécanique Vibratoire) à l'aide du logiciel ASTER, avec le soutien du département MMN (Mathématiques et Modèles Numériques) pour ce qui concerne la prise en compte d'une technique d'homogénéisation des plaques de cœur.

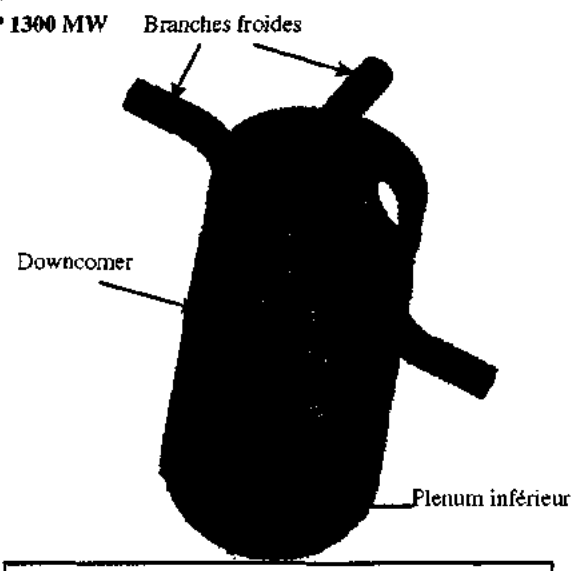
La mise en œuvre de maquettes expérimentales, globales (par exemple BANQUISE) ou locales (par exemple CHALOUPE), concerne d'une part la validation des outils logiciels, d'autre part la détermination de coefficients nécessaires à la mise au point des calculs THYC. Ainsi, les maquettes BANQUISE (plenum supérieur+branches chaudes 1300 MW), CHALOUPE (guide de grappe 1300) et LUCIE (fond de cuve EPR), réalisées par le CEA en fiche tripartite, permettent une validation des codes par comparaison de profils de vitesse ou de concentration d'effluents. Les maquettes PHACETIE, réalisée par TTA, et PADIRAC, réalisée par le LNH, permettent la détermination de coefficients de perte de charge des guides de grappes d'une part, et des trous d'eau et colonnes entretoises d'autres part, au niveau de la plaque supérieure du cœur, ceci pour différents paliers. Ces coefficients sont ensuite introduits dans le code THYC.

Le découpage en plusieurs zones de la cuve a entraîné la mise au point d'outils d'interfaçage entre les outils numériques (N3S-THYC, THYC-N3S, THYC-ASTER), de manière à réaliser une chaîne cohérente (gestion des conditions aux limites en particulier).





Maquette PADIRAC: Mesures des coefficients de pertes de charge des trous d'eau et colonnes entretoises



Etude du mélange dans la cuve (branches froides downcomer et plenum inférieur). Suivi d'un traceur dans une branche



Thermohydraulique des Cuves REP aux Conditions Normales de Fonctionnement

**A. CARUSO
EDF/DRD/LNH**

Contexte et Enjeux

- *Besoins rattachés à la sûreté, la disponibilité et la maintenance du parc*
- *Augmenter les marges d'exploitation des cuves REP par la compréhension des phénomènes engendrés dans la cuve (paliers actuels)*
- *Avoir un complément d'informations et un avis technique
(surveillance des études du constructeur)*



**Développer un outil permettant d'évaluer les évolutions de conception
en particulier sur l'EPR --> Consolidation des choix techniques de l'EPR**



Thermohydraulique des Cuves REP aux Conditions Normales de Fonctionnement

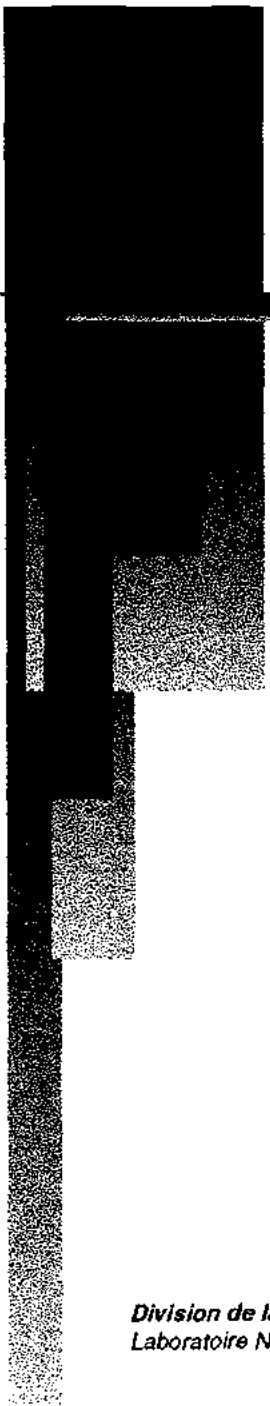
2

Objectif général du Projet

- *Structurer une chaîne de calculs cohérents permettant d'analyser la T/H fine et ses conséquences sur une cuve REP
--> Application au palier EPR*

Fonctionnement Normal : Maintenance, Sûreté, Disponibilité

- *Etudes des mélanges (dilution, pb de réactivité)*
- *Déformation des assemblages combustibles (cœur)*
- *Usure et temps de chute des grappes de commande*
- *Mesure de la température en BC (débits primaires, dissymétrie entre BC)*



Thermohydraulique des Cuves REP

aux Conditions Normales de Fonctionnement :

Objectifs détaillés

3

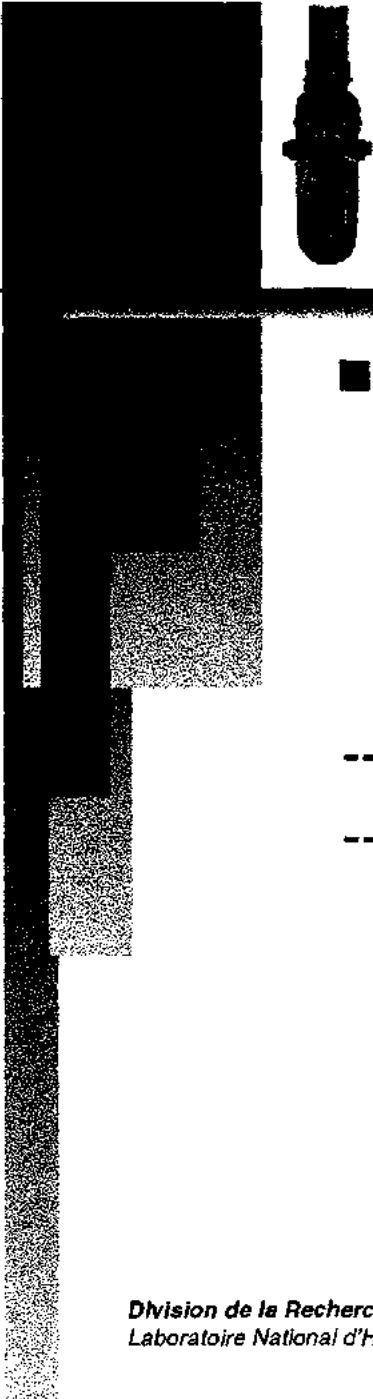
Modélisation de l'ensemble des écoulements dans la cuve pour 4 régimes : arrêt à chaud, PN, BE, survitesse pompes
Cuves 900, 1300, N4, puis EPR

■ *Cuve décomposée en 4 parties :*

- *Entrées BF, downcomer, plénum inférieur* (vitesses, débits PSC)
- *Cœur* (débits et températures sortie cœur, forces d'envol, déformation internes, variation volume, tenue mécanique)
- *Plénum supérieur* (vitesses globales et locales (GdG), températures)
- *Sortie BC* (températures écopés, dissymétries)

■ *EPR*

- *idem + Dimensionnement thermique du réflecteur lourd*
- *Thermohydraulique sous le couvercle*



Thermohydraulique des Cuves REP

aux Conditions Normales de Fonctionnement :

Outils logiciels

4

■ *Outils logiciels mis en oeuvre*

N3S (T/H plenum inf, plenum sup, BC, GdG)

THYC (T/H cœur-plenum), Coccinelle (Neutronique coeur)

ASTER (Tenue méca. internes de cœur)

SYRTHES/ TRIPOLI (T/H réflecteur lourd EPR)

--> Chaînage de codes

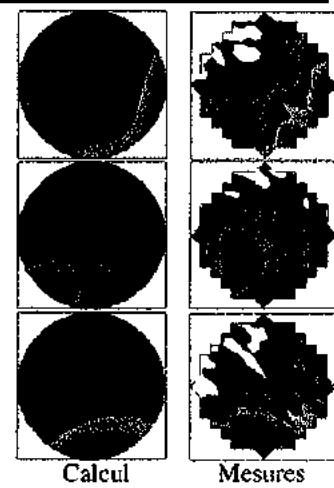
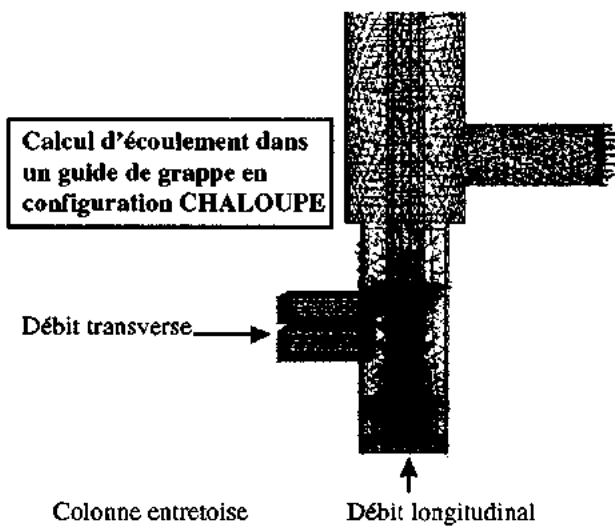
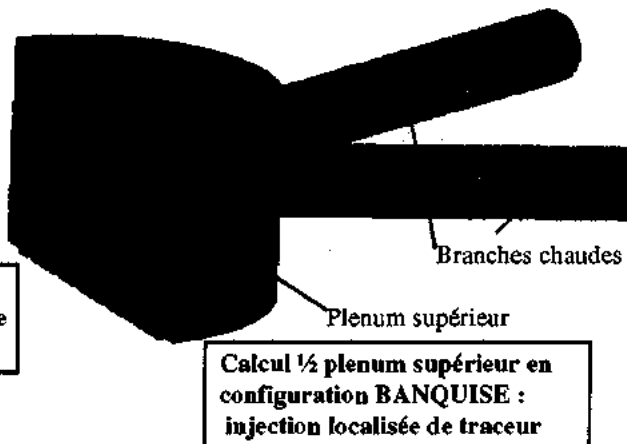
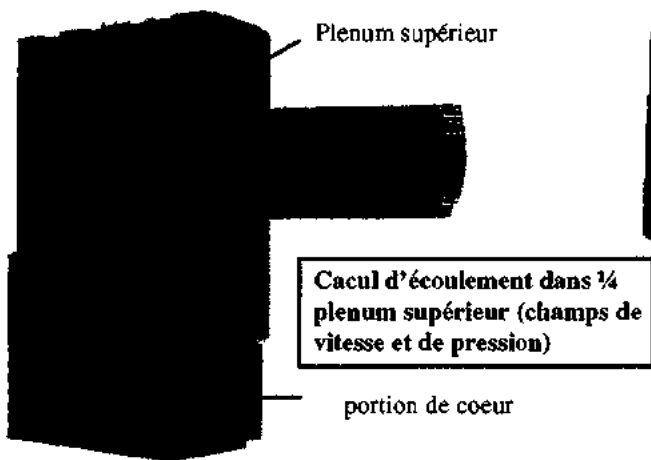
--> Qualification des codes (N3S, THYC)

Maquettes CEA : LUCIE, LACYDON, BANQUISE, CHALOUPE

Maquettes DER : PHACETIE (TTA),

PADIRAC, BORA-BORA (LNH)

Mesures sur site (Golfech)



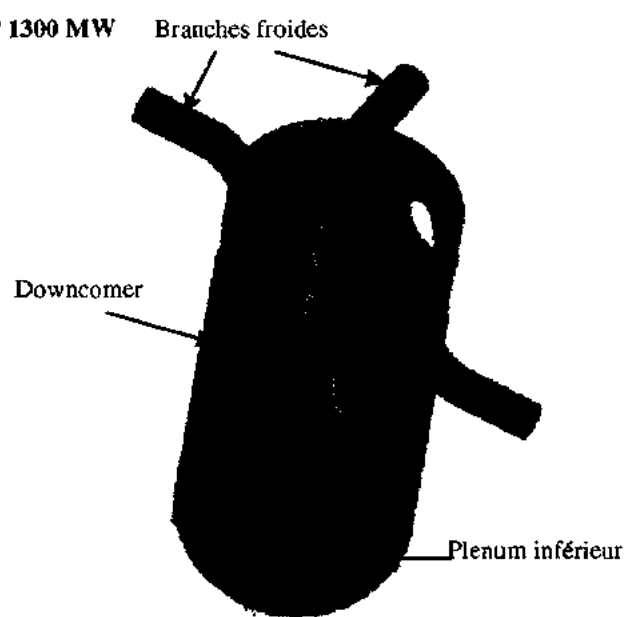
Comparaison sur des plans de coupe de la branche chaude



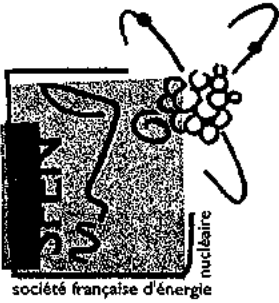
Vue d'ensemble de la maquette



Maquette PADIRAC: Mesures des coefficients de pertes de charge des trous d'eau et colonnes étroites



Etude du mélange dans la cuve (branches froides downcomer et plenum inférieur). Suivi d'un traceur dans une branche



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

2

L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

2.3 Les écoulements dans le coeur

J.P. Bourteele, F. Odras et J. Noailly (FRA) – A. Bergeron (CEA/SERMA)

SFEN

**Section Technique n° 6 :
"Physique des Réacteurs"**

L'Hydraulique des Réacteurs à Eau Pressurisée

LES ECOULEMENTS DANS LE CŒUR

J.P. Bourteele, F. Odras, J. Noailly (FRAMATOME) – A. Bergeron (CEA/SERMA)

Cadarache, le 10 juin 1999

L'IDEE DE BASE DE LA CONCEPTION DES CŒURS DES REACTEURS A EAU PRESSURISEE

✓ Réalisation du meilleur compromis économique donc recherche d'une *homogénéité* aussi grande que possible :

⇒ Température et pression moyennes de sortie de cuve aussi élevées que possible mais température et titre maximaux les plus proches possibles de la moyenne pour éviter les endommagements des matériaux :

- Cœurs cylindriques équipés des assemblages les plus voisins possible
- Homogénéisation de l'état thermohydraulique du fluide dans le cœur par la présence d'ailettes surmontant les grilles de structure de l'assemblage
- Conditions aux limites à l'entrée et à la sortie du cœur aussi homogènes que possible
- Assemblages renouvelés par tiers ou quart, pilotage par bore soluble, de manière à ce que le flux soit le plus plat possible
- ...

- ✓ **Il existe cependant d'inévitables disparités susceptibles de provoquer :**
 - Une réduction des marges de sûreté de fonctionnement de l'installation (par exemple, accroissement du risque d'apparition du phénomène de crise d'ébullition)
 - Des sollicitations plus importantes des matériels (par exemple, risque d'usure des crayons de combustible)

- ✓ **A ces disparités "organiques" se superposent parfois des hétérogénéités liées aux évolutions des produits (par exemple existence de cœurs mixtes avec grilles intermédiaires de mélange)**

- ✓ **Dans le domaine de l'hydraulique du cœur, les hétérogénéités sont provoquées par les écoulements transverses**

LES PRINCIPALES CAUSES DES ECOULEMENTS TRANSVERSES

- ✓ **Non-uniformité de l'alimentation des assemblages, se traduisant dans le bas du cœur par des redistributions de débit entre les différents assemblages**
- ✓ **Expansion des jets issus des quatre trous de fond support de cœur (et alimentant préférentiellement les canaux situés en regard de ces trous), se traduisant par un phénomène de redistribution de débit entre les divers canaux de l'assemblage**
- ✓ **Non-uniformité des pertes de charge en sortie de cœur, créant des écoulements transverses à l'extrémité supérieure de l'assemblage**
- ✓ **Non-uniformité de puissance entre assemblages adjacents**
- ✓ **Différences de résistance entre les différents types d'assemblage dans le cas de cœur hétérogène surtout dans le cas de la présence de Grilles Intermédiaires de Mélange (GIM) dans certains assemblages**

LES CONSEQUENCES DES ECOULEMENTS TRANSVERSES

- ✓ **Risque de vibration (et donc d'usure des crayons de combustible)**
- ✓ **Risque accru d'envol des assemblages de combustible (et donc d'usure) sous l'effet de la poussée hydrodynamique**
- ✓ **Risque accru de crise d'ébullition (et donc de perte d'intégrité de la première barrière)**

LES MOYENS DE CALCUL ET LEUR QUALIFICATION

- ✓ **STAR-CD et les essais THROMBOSE**
- ✓ **FLICA III-F et les essais ENVOL, MARIGNAN ET PROTO-X1**
- ✓ **FLICA IV et les essais AGATE et THROMBOSE**

STAR-CD ET LES ESSAIS THROMBOSE

✓ **Vérification de la compatibilité hydraulique entre assemblages**

✓ **Etudes réalisées**

Détermination des redistributions de débit en bas du cœur, source de vibration des crayons, d'usure par frottement aux points de contact des grilles et cause éventuelle de percement de ces crayons

✓ **Etudes envisagées**

- **Analyse des vitesses transverses affectant les crayons en haut du cœur**
- **Assemblages sollicités :**
 - **Par les vitesses transverses induites par la non-uniformité des pertes de charge en sortie de cœur**
 - **Par les vitesses transverses créées par la géométrie des ajutages de sortie de la cuve**
- **Vitesses transverses moins critiques pour les problèmes de vibration des crayons que celles situées en bas du cœur**

INTERET DES CALCULS STAR-CD

- ✓ **Jusqu'à présent, utilisation de codes d'analyse par sous-canaux caractérisant des écoulements moyens dans des cellules hydrauliques reliées par des lois d'échange (pas de représentation de la géométrie réelle des assemblages en bas du cœur)**
- ✓ **Grâce à l'accroissement des performances des stations de travail, description possible actuellement par des codes de calcul tridimensionnels de mécanique des fluides tels que STAR-CD des effets suivants :**
 - **Redistributions de débit dans les pieds des embouts**
 - **Transparence des plaques adaptatrices**
 - **Géométrie réelle du faisceau (crayons et tubes-guides)**
 - **Eventuelles différences de géométrie entre embouts voisins**

OBJECTIFS DES CALCULS STAR-CD

- ✓ Détermination des distributions de vitesse en bas des assemblages actuels, de transparence différente en fonction de leur système anti-débris, et étude des différents cas de compatibilité d'assemblages voisins
 - ⇒ Etablissement du lien entre les champs de vitesse et les niveaux de vibration des crayons et définition des cas les plus pénalisants pour la conception
- ✓ Détermination des distributions de vitesse en bas des assemblages pour des conceptions nouvelles : embouts fermés ou semi-fermés, embouts adjacents de hauteurs différentes...
- ✓ Interprétation plus fine des essais passés : par exemple, possibilité de faire des bilans de débit échangé que la mesure, trop locale, ne permet pas
- ✓ Meilleure interprétation des essais à venir : optimisation du nombre d'essais, choix des crayons à instrumenter en vibrométrie...
- ✓ Essais néanmoins indispensables :
 - Insuffisance de la prédiction du phénomène de vibration des crayons
 - Caractère démonstratif vis-à-vis d'un Client ou d'une Autorité de Sûreté

LES ESSAIS THROMBOSE

- ✓ **Coopération tripartite CEA/EDF/FRAMATOME**
- ✓ **Section d'essais bi-assemblage (2 assemblages AFA-XL 1300 Mwe) à 50 °C et 10 bar**
- ✓ **Déséquilibre de débit de 20 % entre les deux assemblages adjacents (Vitesse axiale de 5,3 m/s pour l'assemblage le moins chargé)**
- ✓ **Mesure simultanée de deux composantes de la vitesse (axiale et transverse) par vélocimétrie laser**

LA MODELISATION STAR-CD

- ✓ **650 000 mailles dont 420 000 mailles "fluides"**
240 Mo de mémoire RAM
Convergence en 900 itérations et environ 100 heures
- ✓ **Limitation en hauteur un peu au-delà de la première grille de mélange**
- ✓ **Modélisation de deux moitiés d'assemblage (par raison de symétrie)**

CONFRONTATION MESURE/CALCUL

✓ Ecoulements en amont des plaques d'embout

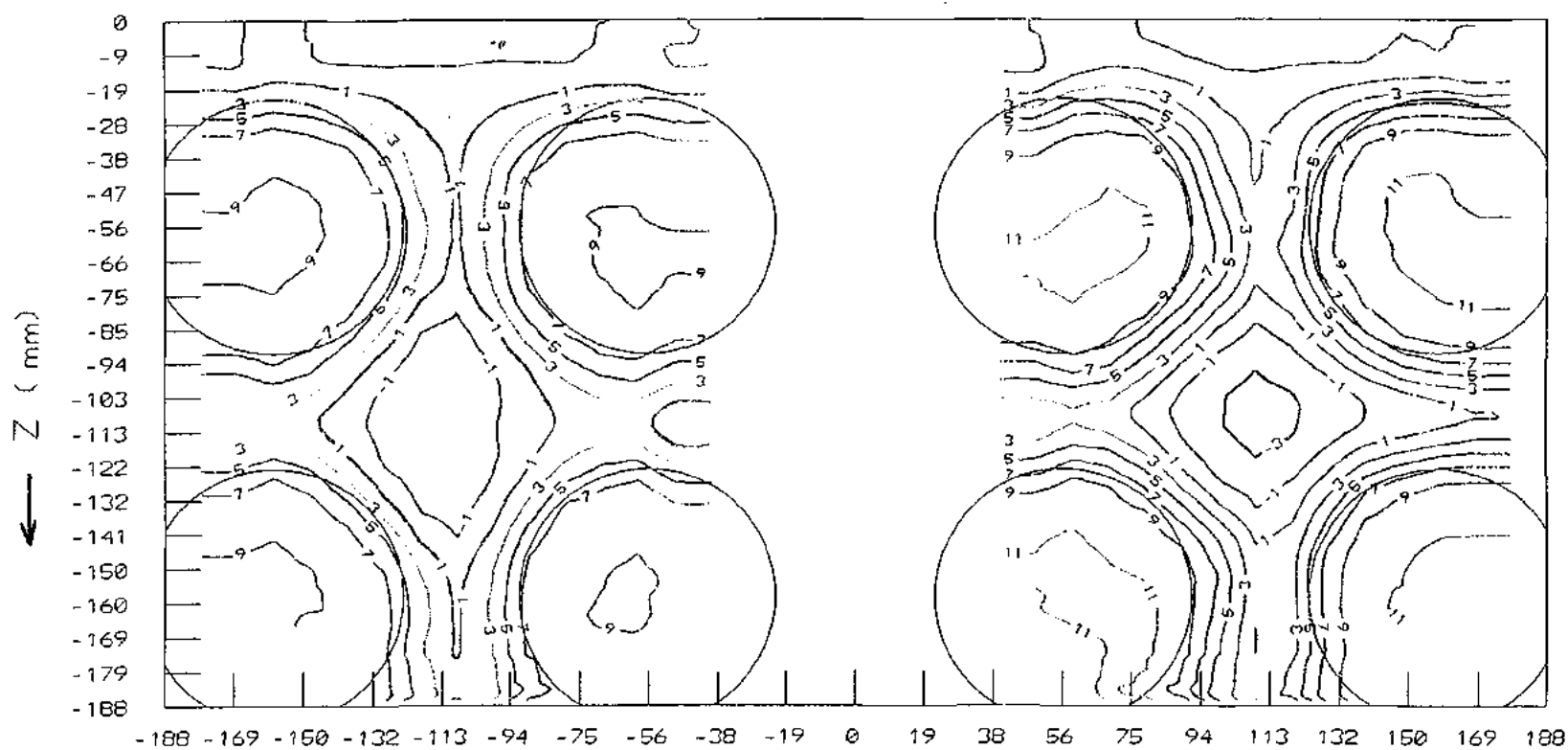
- Existence de vitesses axiales fortement négatives (-3 m/s) dans les parties centrales des assemblages et près des parois, conséquences de zones tourbillonnaires provoquées par la jonction de 4 jets et la jonction jets/paroi
- Bonne restitution par le calcul des champs d'iso-valeurs des vitesses axiales

✓ Longueur d'équilibre des débits

- Sur les 10 % de débit à restituer, 7 % le sont sous la plaque d'embout
- Redistribution lente des 3 % restant, à cause de la redistribution latérale importante
- Redistribution pratiquement totale sur environ 85 cm
- Bon accord mesure/calcul

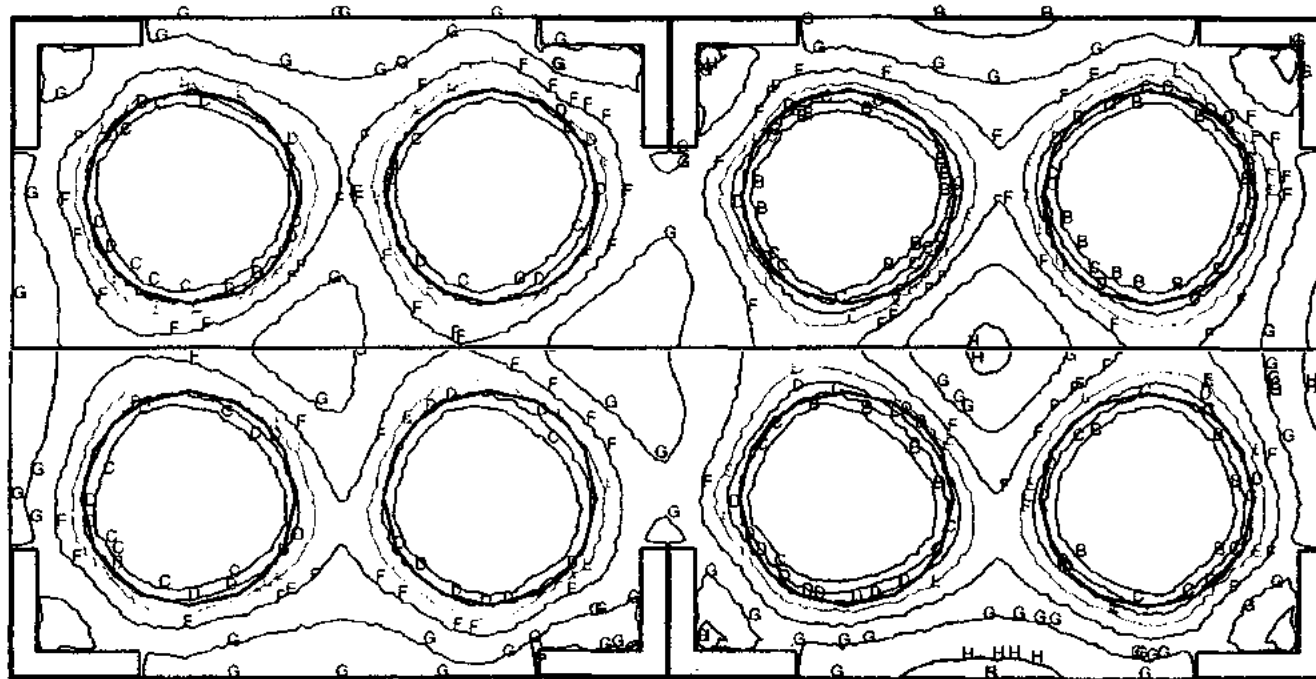
Essais THROMBOSE

CARTES D'ISO-VALEURS DE VITESSES AXIALES (à 60 mm de la plaque de cœur)



Calculs STAR-CD

CARTES D'ISO-VALEURS DE VITESSES AXIALES (à 60 mm de la plaque de cœur)



STAR

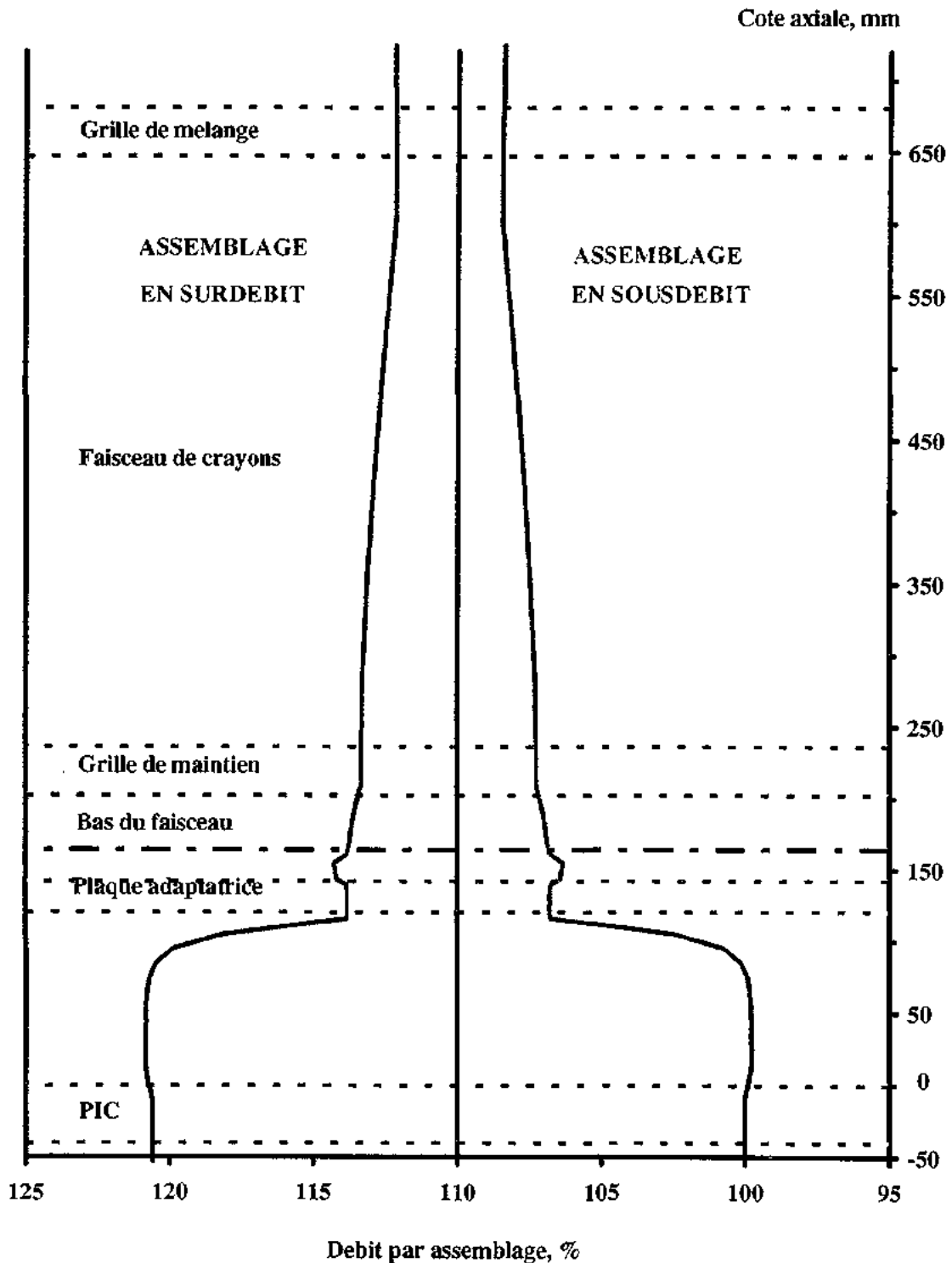
PROSTAR 2.30

19-FEB-98
COMPONENT W
M/S
ITER = 345
LOCAL MX = 10.43
LOCAL MN = -4.319

A	11.00
B	9.000
C	7.000
D	5.000
E	3.000
F	1.000
G	-1.000
H	-3.000

Calculs STAR-CD

VARIATION AXIALE DU DEBIT DANS CHAQUE ASSEMBLAGE



FLICA III-F ET LES ESSAIS ENVOL, MARIGNAN ET PROTO-X1

✓ Objectif

Evaluation de la poussée hydrodynamique s'exerçant sur les assemblages de combustible

✓ Ancienne méthode

Evaluation conservative, par le code ARIANE, de la poussée hydrodynamique maximale sur un assemblage fermé avec des facteurs de recalage

✓ Méthode actuelle

- **Evaluation plus fine, directement par le code d'analyse par sous-canaux FLICA III-F, des conditions de l'écoulement dans le coeur**
- **Développement d'un post-processeur, CARAFE, pour l'évaluation réaliste de la poussée hydrodynamique s'exerçant sur chacun des assemblages composant le coeur**

OBJECTIF DES ETUDES

✓ Fonctionnement normal

Démonstration de l'absence de décollement ("envol") des assemblages soumis à différentes forces :

- Poids de l'assemblage
- Poussée d'Archimède
- Poussée hydrodynamique : résultat des pertes de charge et de la variation de la quantité de mouvement entre l'entrée et la sortie de l'assemblage

$$P_{\text{hydro}} = S_{\text{ref}} \times \Delta P + \text{Quantité de mouvement}$$

- Effort de compression des ressorts

✓ Fonctionnement incidentels (survitesse des pompes)

- Maintien de l'assemblage non recherché
- Vérification que si des décollements se produisent, en cas de survitesse et après retour aux conditions normales, le maintien de l'assemblage reste assuré (maintien de la compression du ressort dans le domaine élastique)

MODELISATION THERMOHYDRAULIQUE

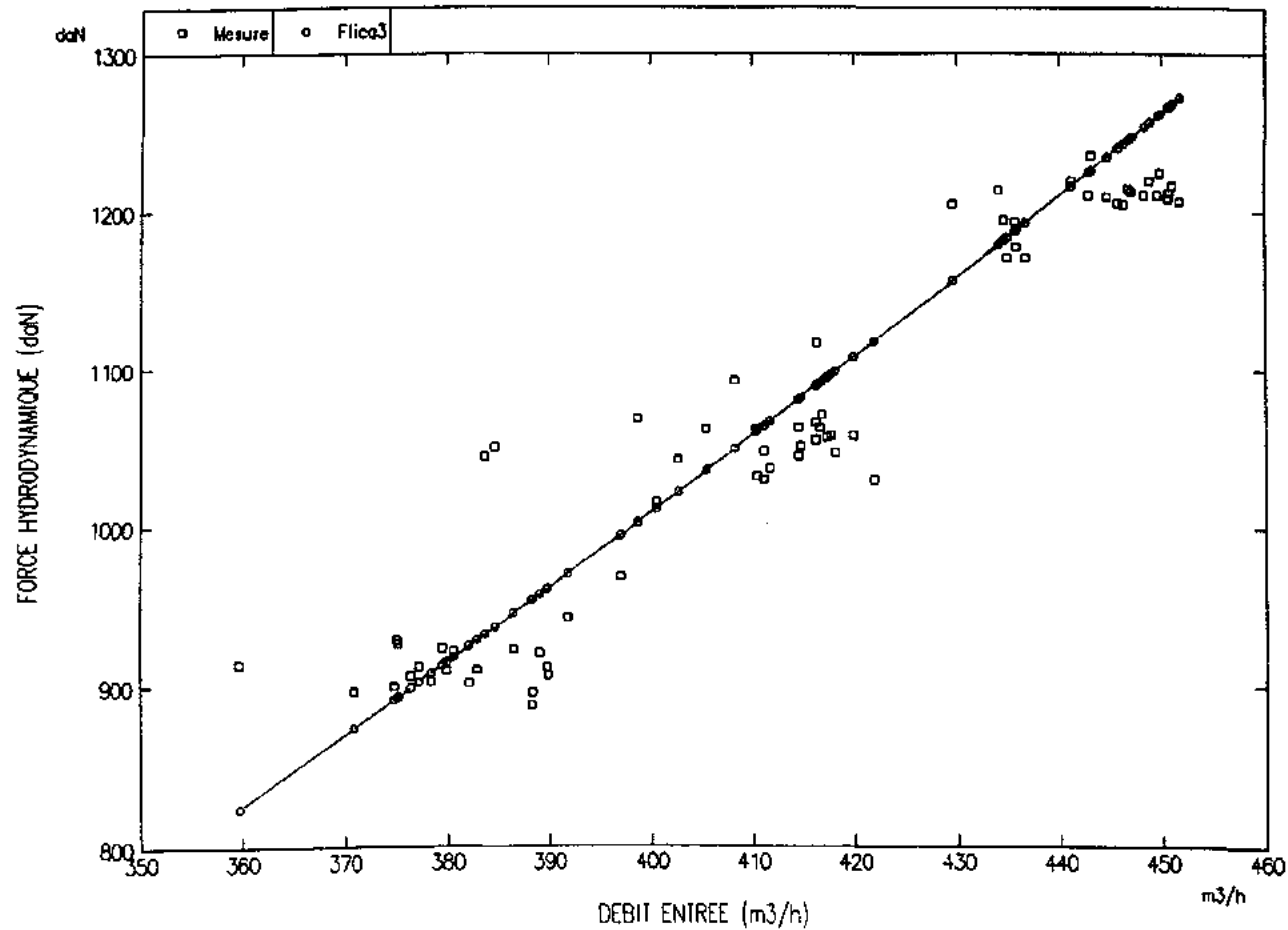
- ✓ Répartition de débit à l'entrée du cœur issue de l'exploitation des essais LACYDON
- ✓ Distributions de puissance (axiale et radiale)
- ✓ Différenciation (par des coefficients de perte de charge différents) des différents types d'internes supérieurs (essais Centre Technique de Framatome)
- ✓ Répartition de pression en sortie de cœur issue de calculs STAR-CD

QUALIFICATION DE FLICA III-F

- ✓ **Qualification des conditions d'application du théorème d'Euler : essais ENVOL**
 - **Evaluation, dans la boucle HERMES-T, de la poussée hydrodynamique s'exerçant sur un assemblage AFA-XL en fonction du débit d'alimentation**
 - **Conditions des essais :**
 - Pression : 10 bar
 - Température : 20 °C (flux thermique nul)
 - Débit volumique : de 350 à 450 m³/h
 - **Bonne comparaison calculs/mesures sur l'ensemble de la plage de débit testée (quelques points manifestement hors domaine parmi les mesures)**

Essais ENVOL

Comparaison calcul/mesure Poussée hydrodynamique en fonction du débit

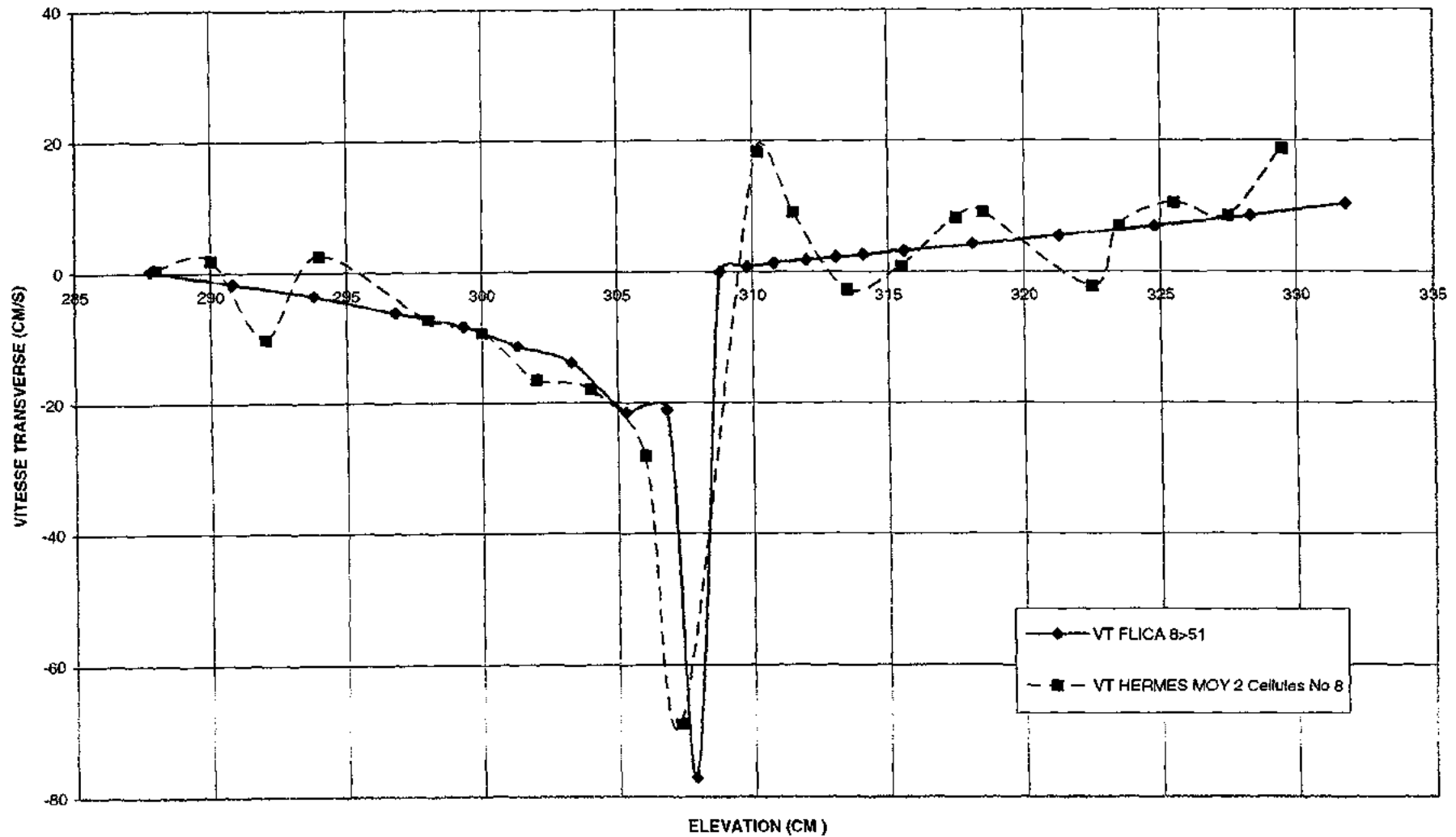


QUALIFICATION DE FLICA III-F (Suite)

- ✓ **Qualification du calcul des vitesses transverses dans un cœur mixte avec GIM : essais MARIGNAN (15x15) et PROTO-X1 dans la boucle HERMES-T**
 - **2 assemblages adjacents, l'un avec GIM, l'autre sans GIM**
 - **Détermination de deux composantes de la vitesse (axiale et transverse) au niveau d'une GIM (MARIGNAN)**
 - **Détermination des vitesses axiales au niveau des 3 Gim (PROTO-X1)**
 - **Vitesse axiale de l'ordre de 5 m/s, correspondant approximativement à la vitesse nominale dans le cœur**
 - **Bonne comparaison calculs/mesures sur l'ensemble de la plage de débit testée (quelques points manifestement hors domaine parmi les mesures)**
 - **Quelques modifications de détail de FLICA III-F (fermeture des grilles) et définition du maillage axial**
 - **Très bon accord mesures/calculs**

Essais MARIGNAN

Comparaison des vitesses transverses mesurées et calculées



FLICA IV ET LES ESSAIS AGATE ET THROMBOSE

✓ Objectif

Mise en œuvre, à terme et dans des conditions industrielles, d'une modélisation globale du cœur et des plenums

✓ Améliorations de FLICA IV par rapport à FLICA III-F

- Véritable code tridimensionnel
- Schéma numérique précis
- Possibilité de modélisation fine des composants de l'assemblage
- Prise en compte des inversions de débit

✓ Potentiel industriel de FLICA IV

- Calcul d'hydraulique dans le cœur à une échelle supérieure (moyenne spatiale) à celle de STAR-CD
- Inclusion dans un même calcul de diverses parties du cœur et des plenums avec possibilité de prise en compte de phénomènes diphasiques
- Coûts de calcul réduits vis-à-vis des codes d'hydraulique fine
- Etudes de sensibilité à divers paramètres aisées

VALIDATION HYDRAULIQUE DE FLICA IV

✓ Objectif

Démonstration des capacités du code à calculer les champs de vitesse macroscopiques autour de singularités modélisées par des pertes de charge intégrant implicitement les phénomènes locaux d'hydraulique fine

✓ Moyens

- Validation analytique de phénomènes ponctuels : essais AGATE à Grenoble
 - Grilles décalées (représentation des GIM)
 - Bouchage d'un sous-canal (recirculation de débit)
- Validation à l'échelle de l'assemblage :
 - Grilles décalées : essais THROMBOSE à Cadarache

Essais AGATE GRILLES DECALEES

Section d'essais

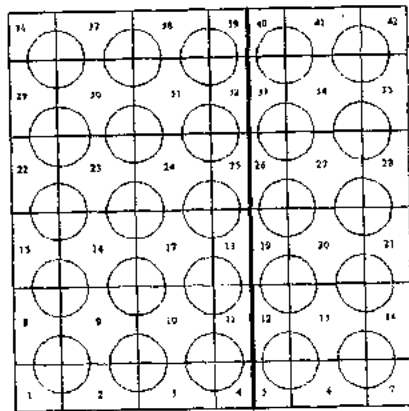
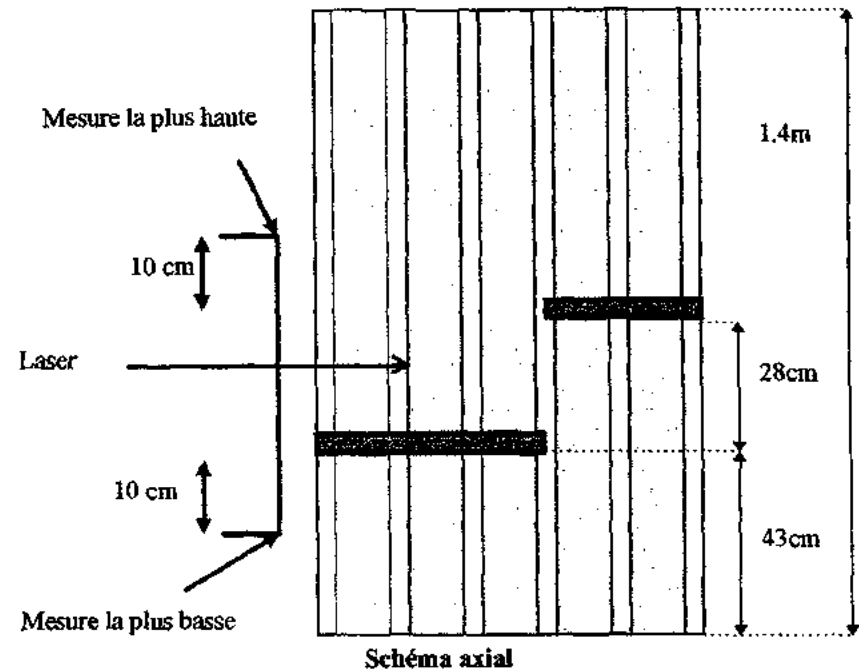
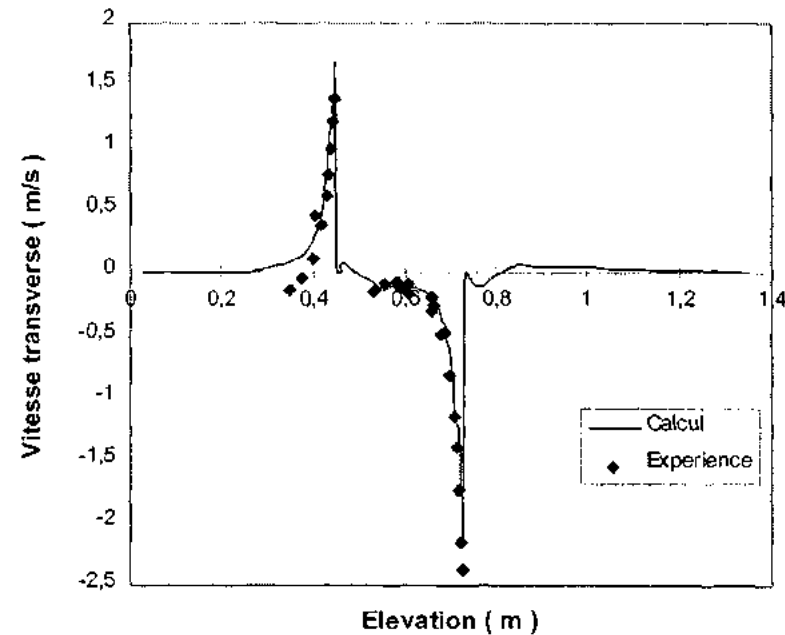


Schéma radial



Essais AGATE GRILLES DECALEES

Comparaison calcul FLICA IV/mesure Evolution axiale de la vitesse transverse



Evolution axiale de la vitesse transverse au couplage 17-18

Essais AGATE CANAL BOUCHE

Comparaison calcul FLICA IV/mesure
Evolution axiale de la vitesse transverse

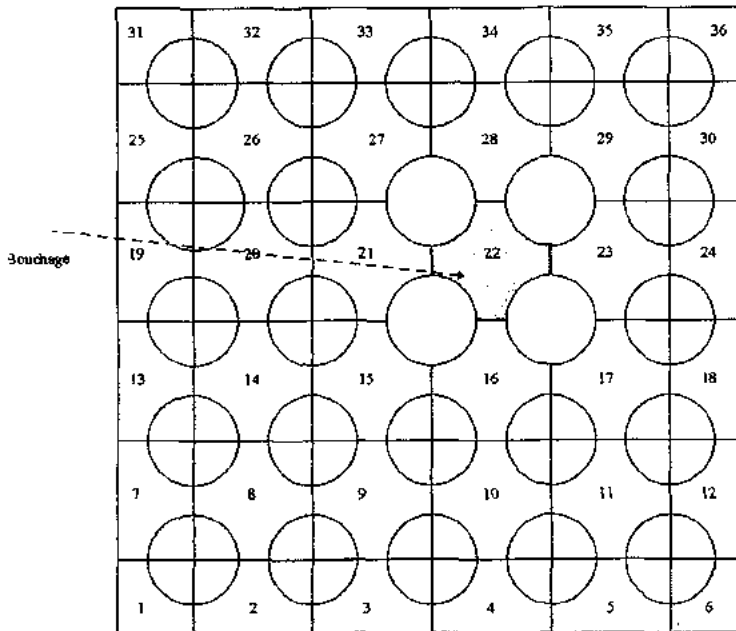


Schéma radial des essais

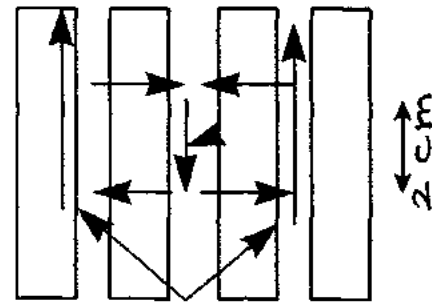
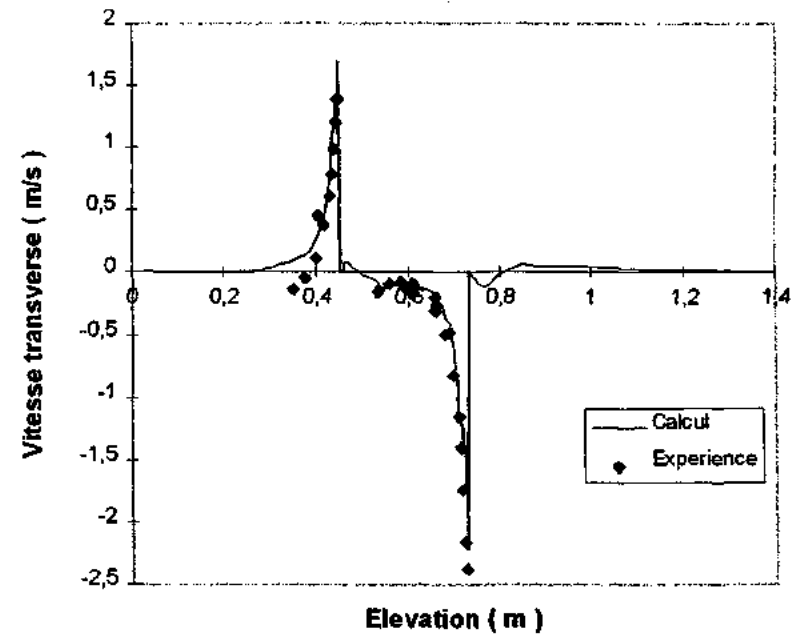


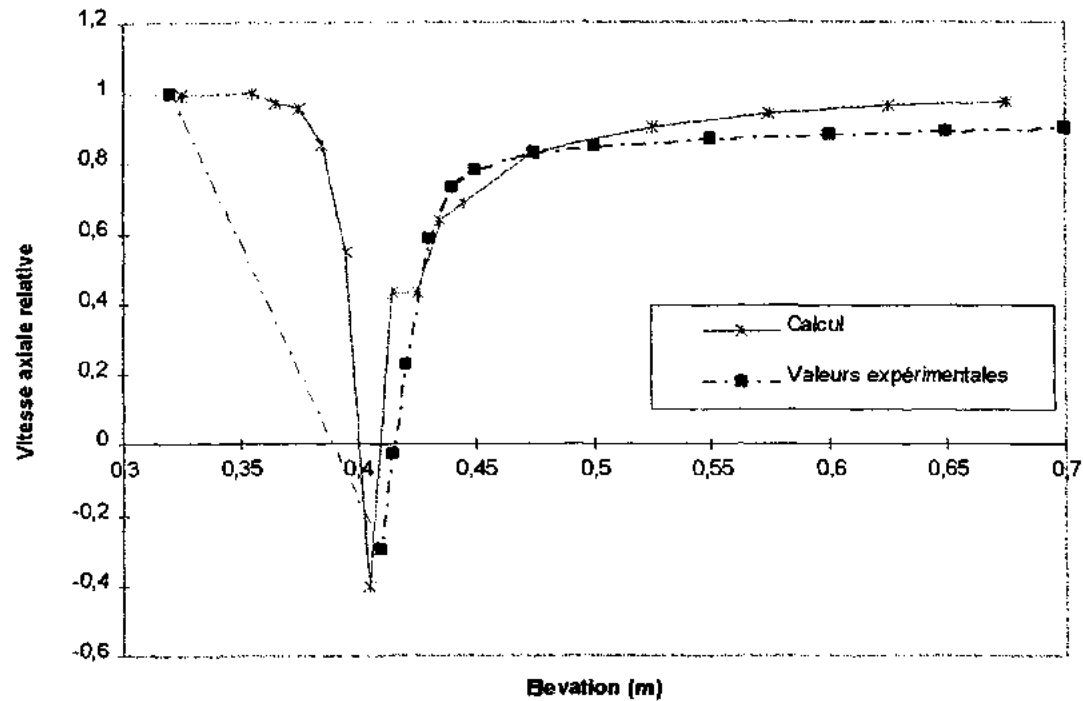
Schéma axial du phénomène



Evolution axiale de la vitesse transverse au couplage 17-18

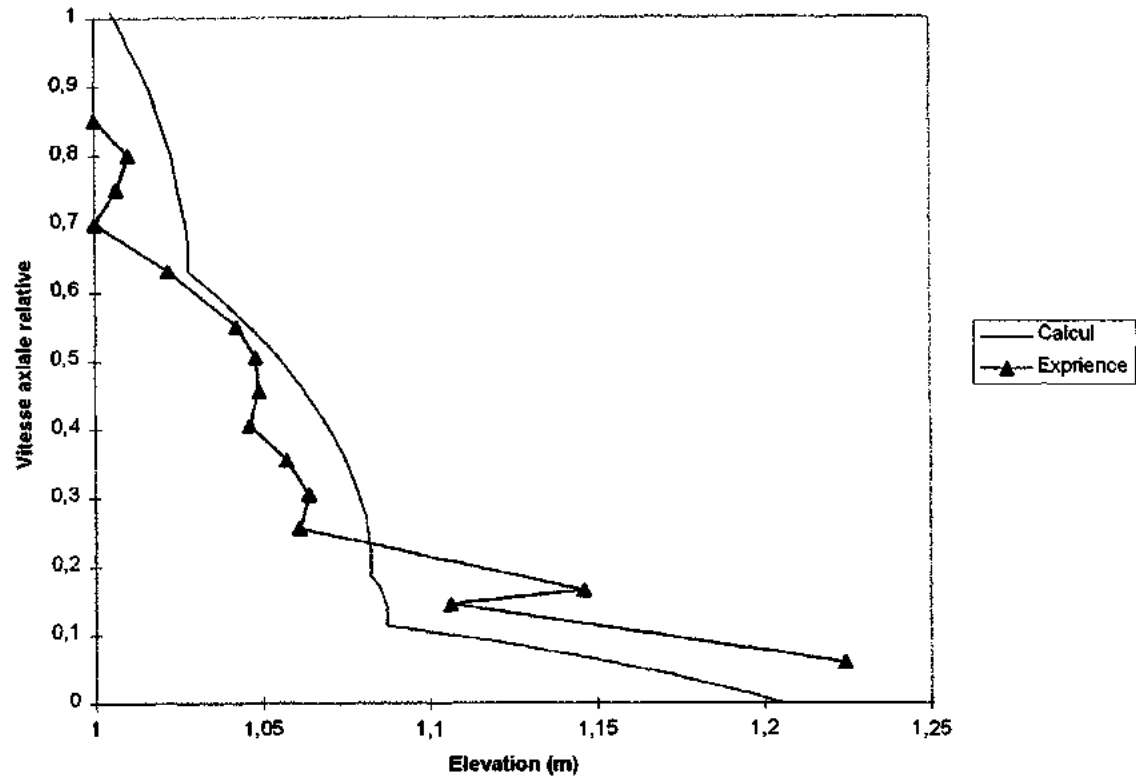
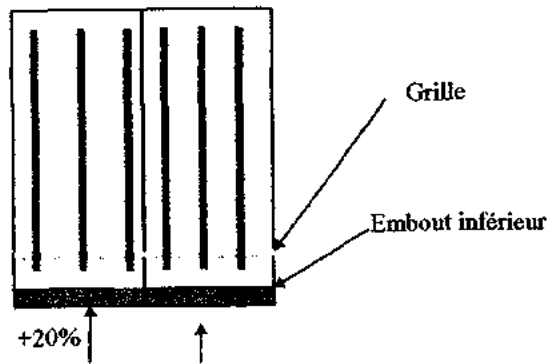
Essais AGATE CANAL BOUCHE

Comparaison calcul FLICA IV/mesure
Evolution axiale de la vitesse massique axiale relative dans le canal bouché



Essais THROMBOSE

Comparaison calcul/mesure Evolution axiale du rapport de débit entre les assemblages



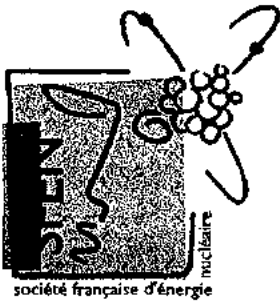
CONCLUSIONS

✓ **Les résultats des essais hydrauliques disponibles ont servi et serviront encore à qualifier les outils de calcul. La bonne détermination des débits transverses, selon l'objectif visé, s'obtient plus ou moins facilement et rapidement avec les outils de calcul actuels :**

- La modélisation des pieds d'assemblage par STAR-CD permet d'éviter des essais ou de mieux définir et alléger les essais de démonstration qui seront toujours nécessaires, en particulier pour les aspects vibratoires.
- FLICA III-F représente tout à fait correctement les phénomènes qui se produisent dans la partie courante du faisceau de crayons mais ne peut offrir la finesse de modélisation des extrémités d'assemblage que procurent les véritables codes d'hydraulique. Son utilisation doit alors s'assortir, le cas échéant, de certains conservatismes à définir au cas par cas.
- Il est démontré que FLICA IV présente toutes les possibilités de FLICA III-F mais offre des fonctionnalités supplémentaires, en particulier lorsque des inversions de débit se produisent.

CONCLUSIONS (Suite)

- ✓ **FLICA IV, avec des maillages de tailles comparables entre les plénums et le cœur (et la possibilité de prise en compte, lorsqu'il le faut, des phénomènes diphasiques), représente un bon compromis pour une modélisation industrielle simultanée de l'ensemble du cœur et des plénums.**
- ✓ **Une modélisation simultanée du cœur et des plénums qui serait associée à des calculs système fournissant des données globales permettrait de mieux représenter les conditions aux limites du cœur.**



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

2

L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

2.4.1 Les écoulements dans le plénum supérieur :
Simulation des essais BANQUISE

P. Dolléans (FRA/Procédé)

Écoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

OBJECTIF DES SIMULATIONS

- » Valider la méthodologie de calcul de l'hétérogénéité de température en branche chaude à l'aide du code STAR-CD

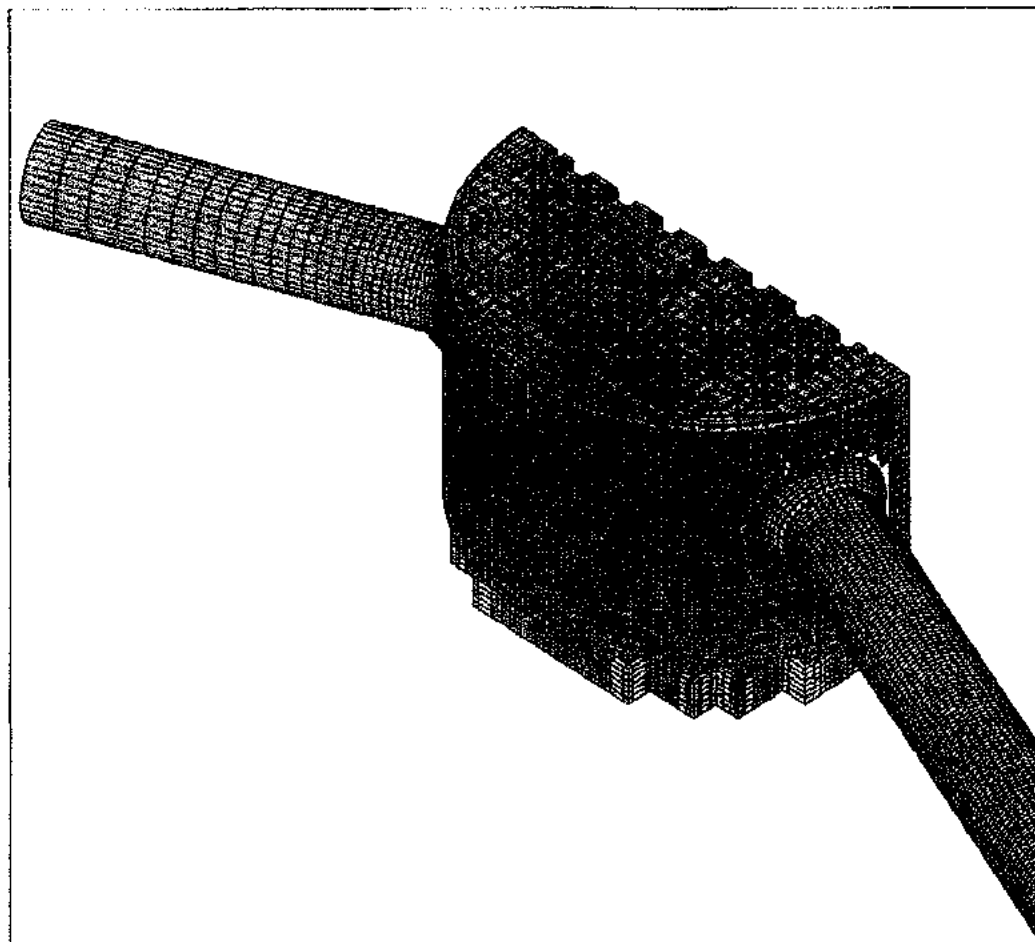
PRESENTATION DU PROGICIEL STAR-CD

- » commercialisé par Computational Dynamics - ADAPCO
- » résout les équations de Navier Stockes en utilisant une formulation en volumes finis
- » modèles de turbulence k- ϵ

Écoulements dans le plénum supérieur

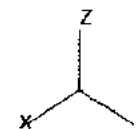
Simulation des essais BANQUISE

Maillage



STAR
D
PROSTAR 3.05

21-Jan-99
VIEW
0.843
0.843
1.000
ANGLE
-122.732
DISTANCE
3587.795
CENTER
2435.733
619.662
1919.640
EIHIDDEN PLOT

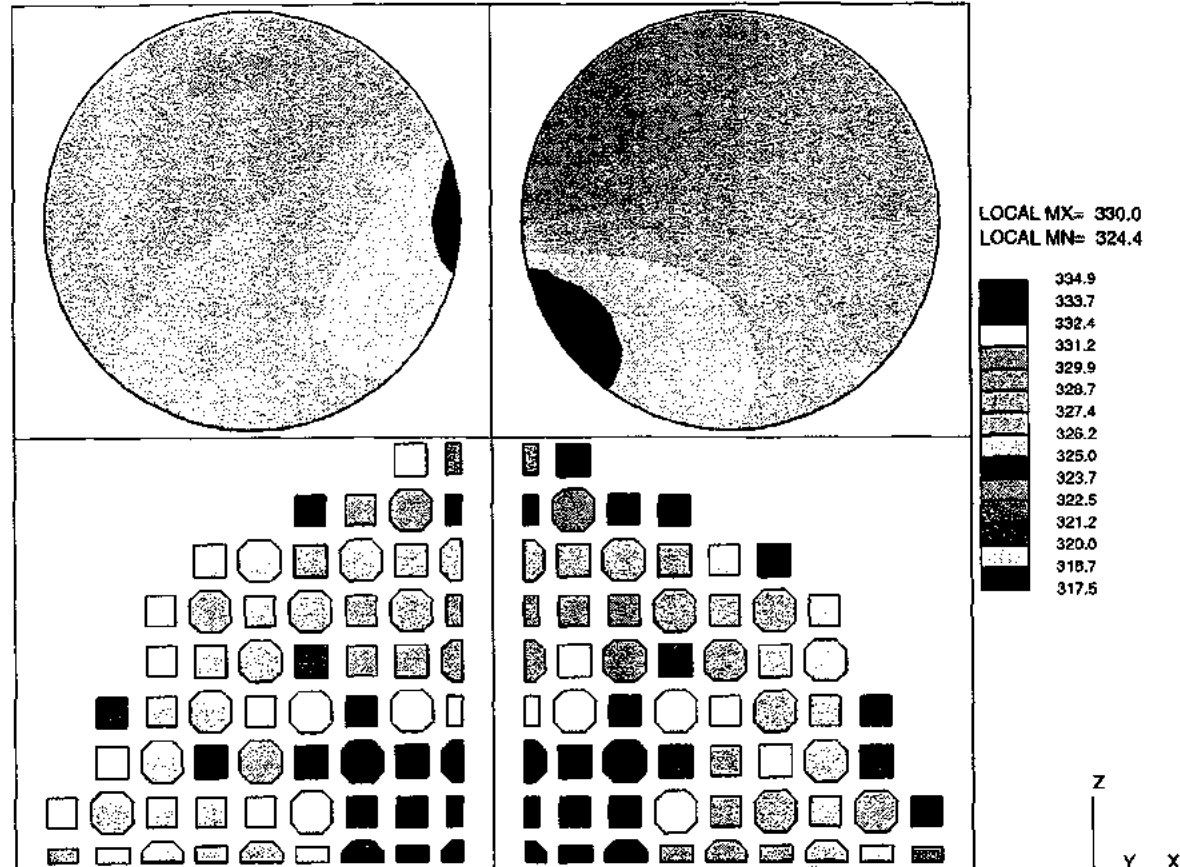


VUE D'ENSEMBLE DU DOMAINE MODELISE
MODELISATION INITIALE - MAILLAGE DE 162000 MAILLES BC1 RALLONGEE
THERMOHYDRAULIQUE DU PLENUM SUPERIEUR 1300 - MAQUETTE BANQUISE

Écoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

Hétérogénéités de température

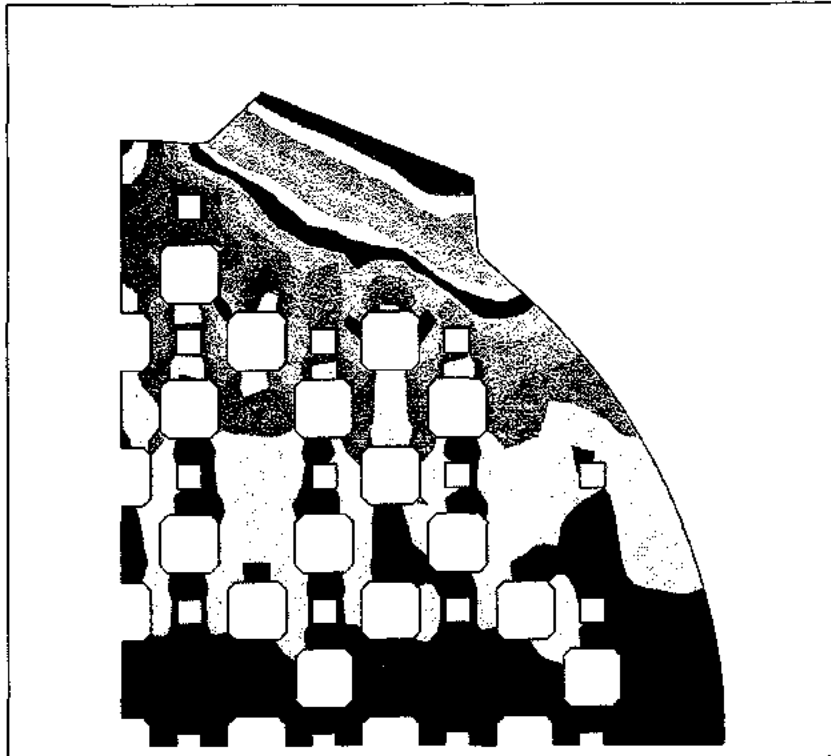


CHAMP DE TEMPERATURES EN SORTIE COEUR ET AU NIVEAU DES ECOPEES POUR LES BC 1 ET 4
 HETEROGENEITE THERMIQUE BRANCHES CHAUDES : 100% PN PE RCP114 (BC raffiness)
 PLENUM SUPERIEUR N4

Écoulements dans le plénum supérieur

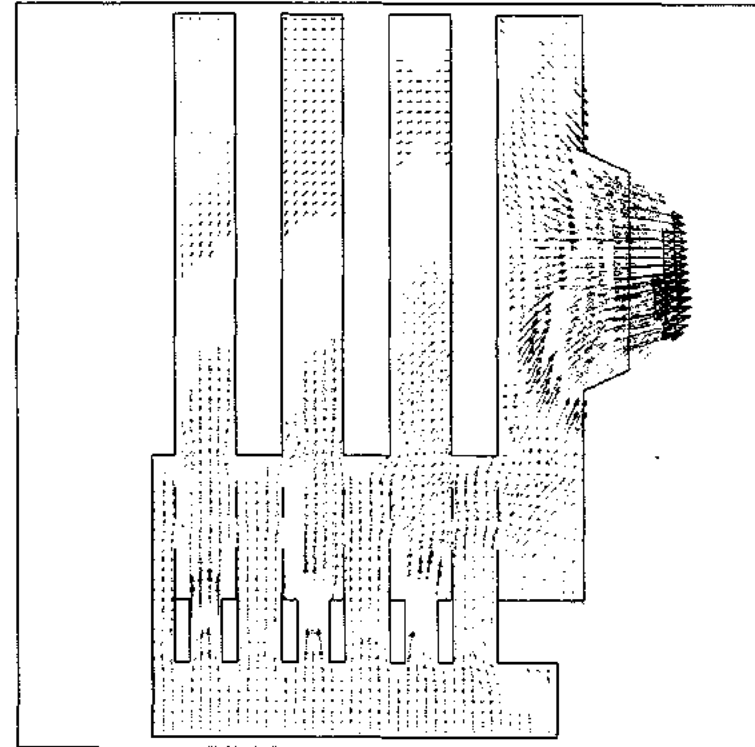
Simulation des essais BANQUISE

Écoulements



VITESSES TRANSVERSES DANS LE PLAN DE L'AXE TUBULURE

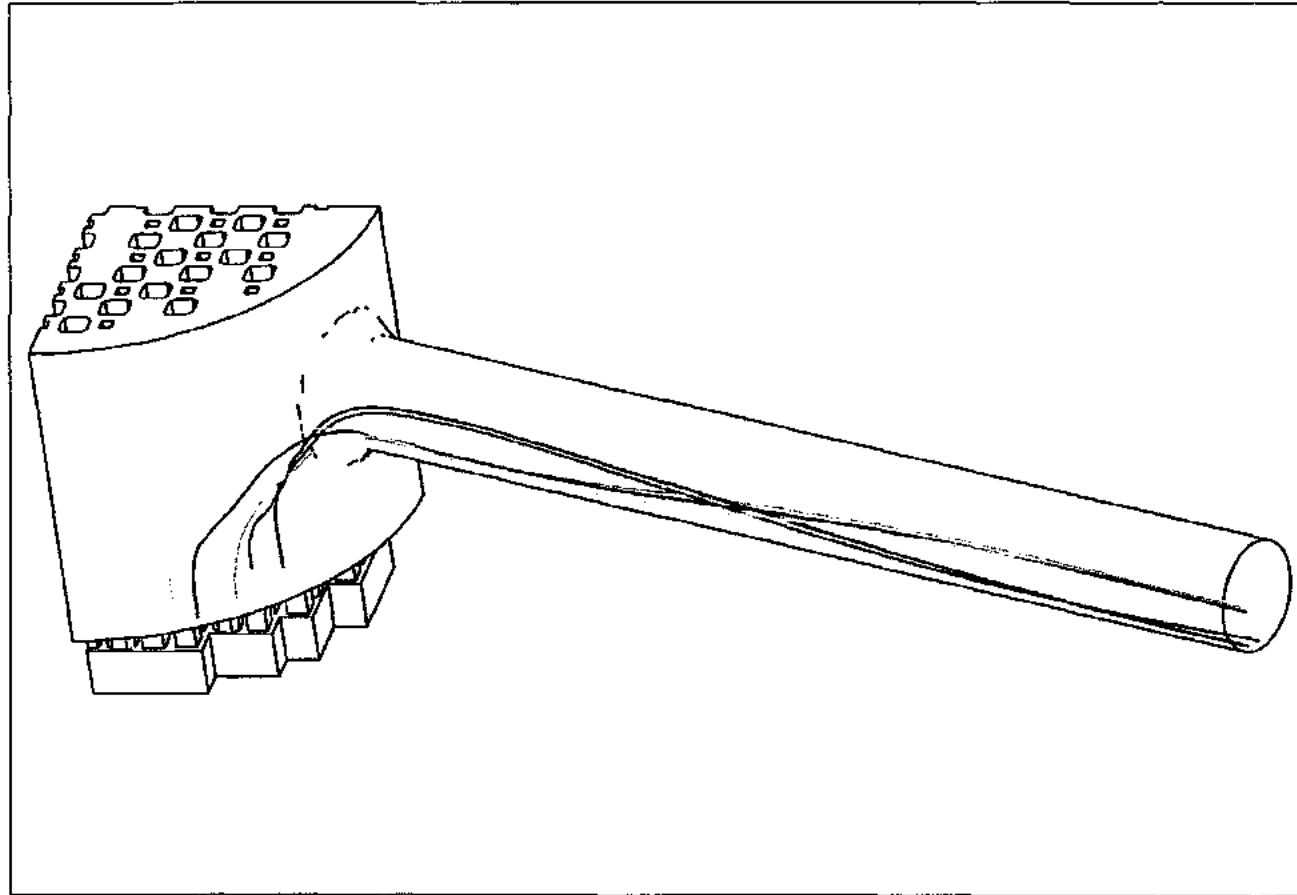
PLENUM SUPERIEUR N4



CHAMP DES VITESSES DANS UN PLAN VERTICAL ($x=860$ MM)

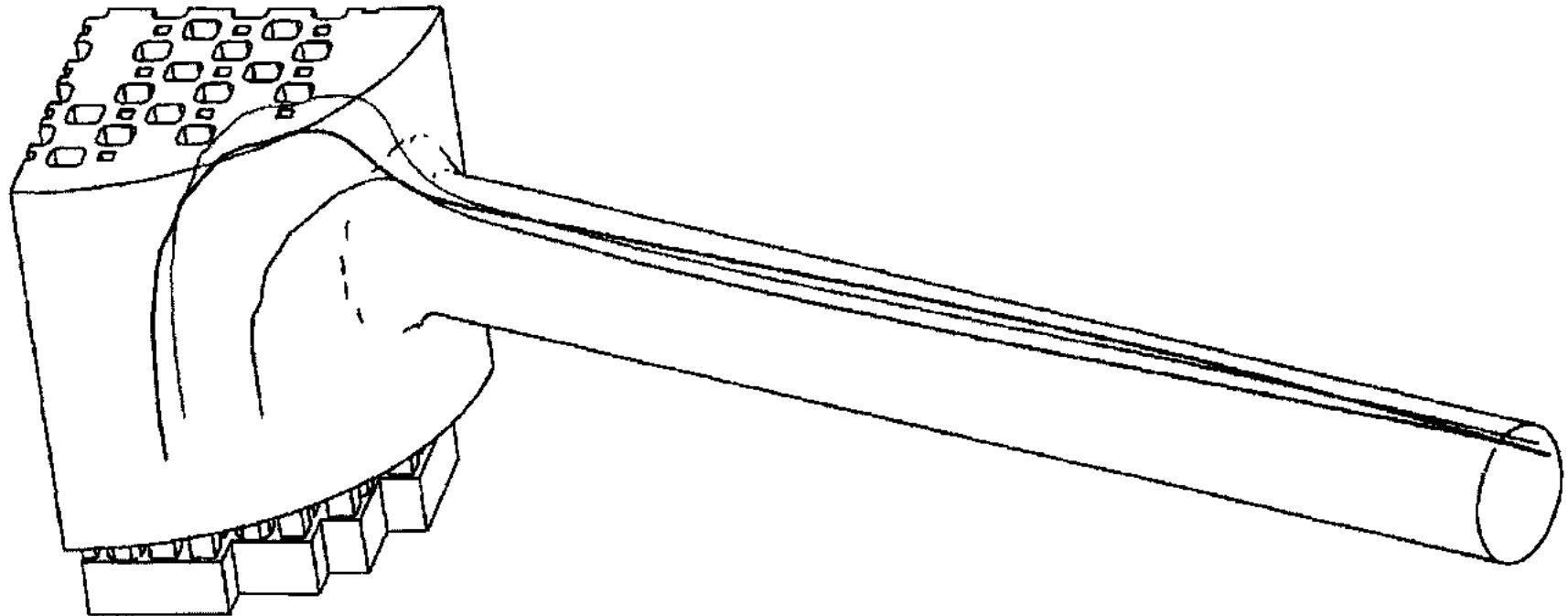
PLENUM SUPERIEUR N4

Écoulements dans le plénum supérieur Simulation des essais BANQUISE Lâcher de particules



MODELISATION DU QUART "BRANCHE CHAUDE 4" DE LA MAQUETTE BANQUISE
PLENUM SUPERIEUR DE TYPE 1300
TRACE DE PARTICULES LACHEES AU NIVEAU DE LA PLAQUE SUPERIEURE DU COEUR

Écoulements dans le plénum supérieur Simulation des essais BANQUISE Lâcher de particules



MODELISATION DU QUART "BRANCHE CHAUDE 4" DE LA MAQUETTE BANQUISE
PLENUM SUPERIEUR DE TYPE 1300
TRACE DE PARTICULES LACHEES AU NIVEAU DE LA PLAQUE SUPERIEURE DU COEUR



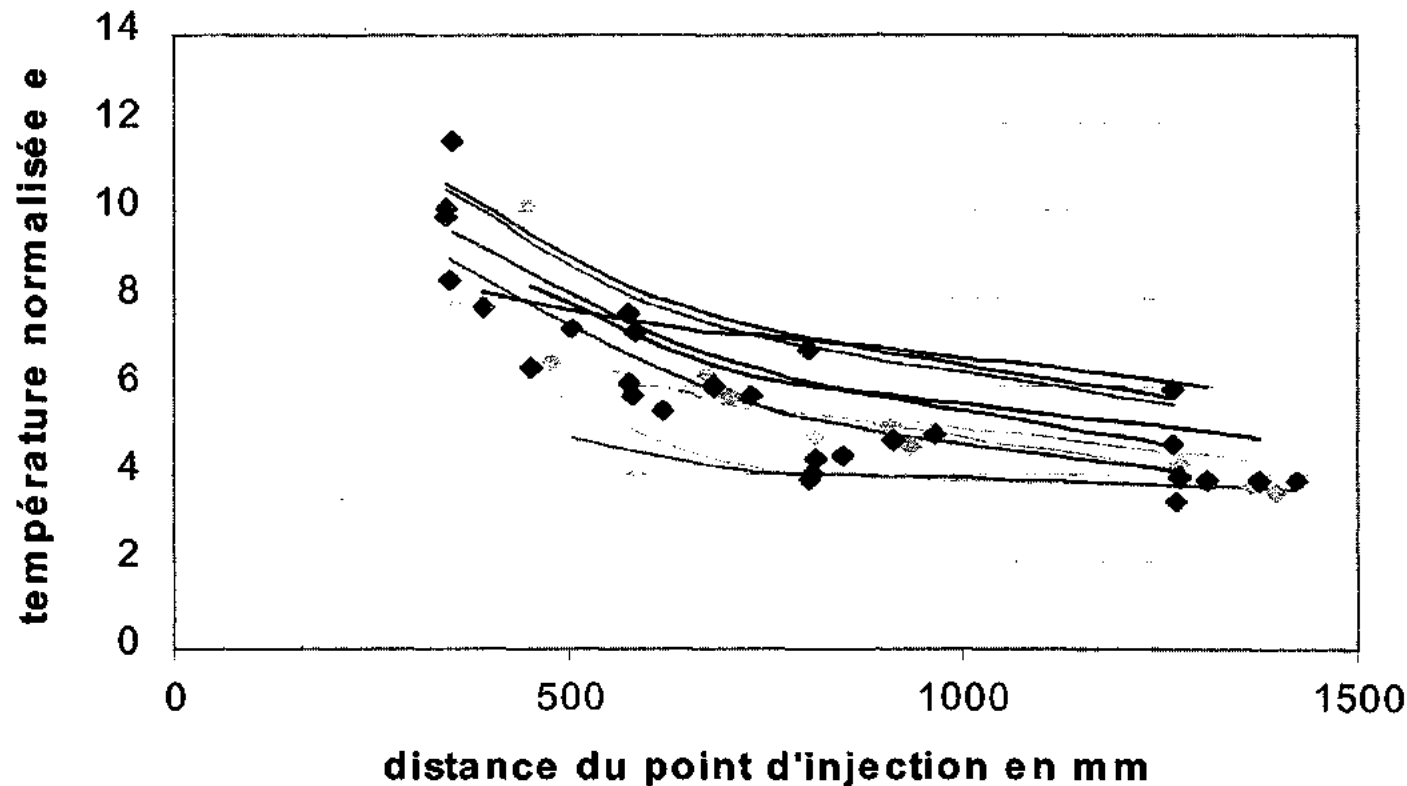
FRAMATOME
REALISATIONS NUCLEAIRES

Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Ph. DOLLEANS FRAMATOME/EP

Écoulements dans le plénum supérieur

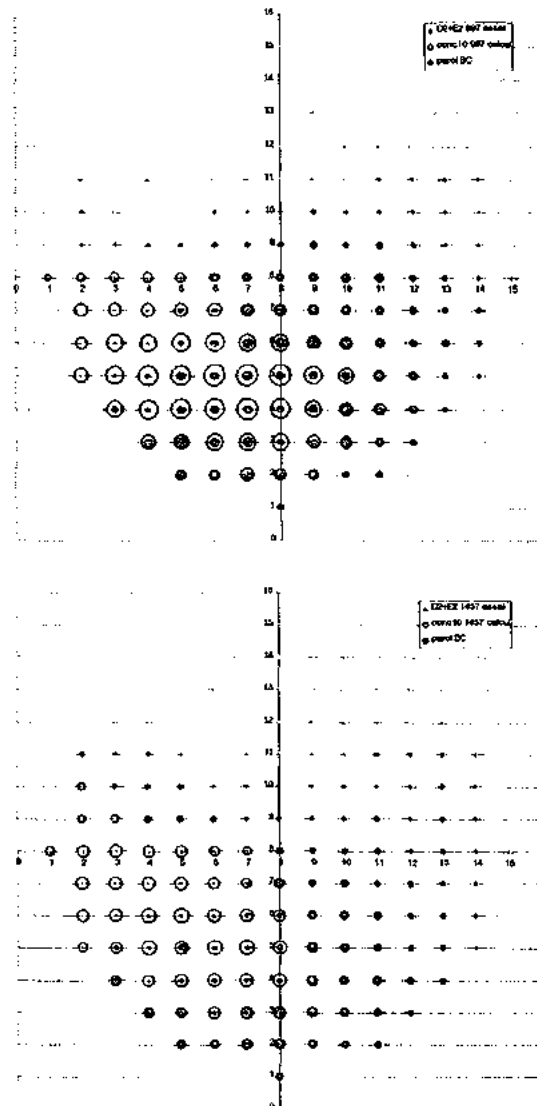
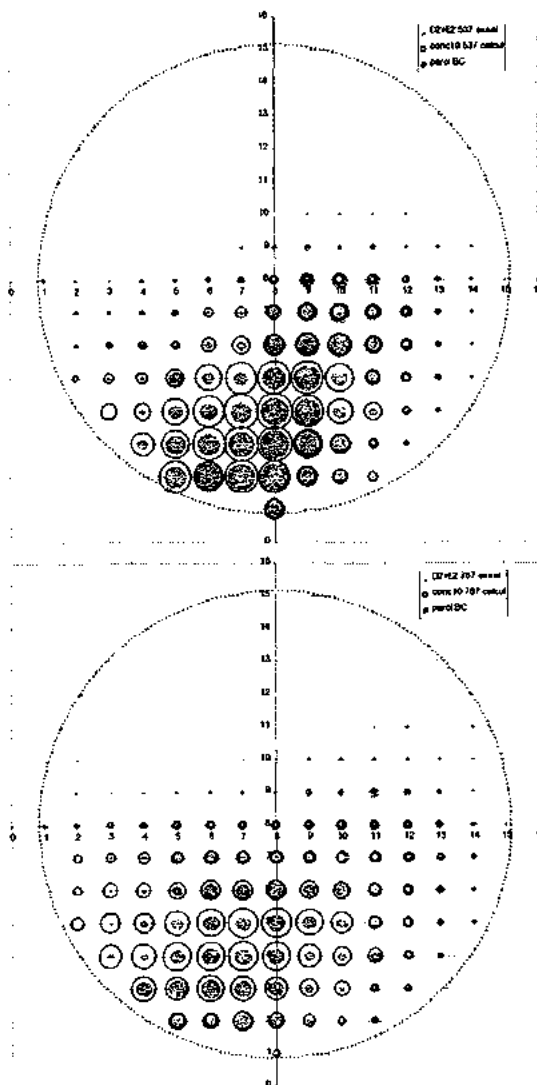
Simulation des essais BANQUISE

EVOLUTION DES MAXIMA LOCAUX DE TEMPERATURE NORMALISEE LE LONG DE LA BRANCHE CHAUDE



- ◆ C2, Maquette
- C2, Calcul
- ◆ H1, Maquette
- H1, Calcul
- ◆ C4, Maquette
- C4, Calcul
- ◆ E2, Maquette
- E2, Calcul
- ◆ D2, Maquette
- D2, Calcul
- ◆ G3, Maquette
- G3, Calcul
- ◆ E5, Maquette
- E5, Calcul
- ◆ E6, Maquette
- E6, Calcul
- ◆ A6, Maquette
- A6, Calcul
- ◆ D2+E2/2, Ma
- D2+E2/2, Ca

Écoulements dans le plénum supérieur Simulation des essais BANQUISE Traçage thermique emplacements D2+E2



Ecoulements dans le plenum superieur

Simulation des essais BANQUISE

Conclusions

- Validation de la méthodologie de calcul acquise
- comparaison satisfaisante des évolutions des maxima locaux de température normalisée le long de la branche chaude calculées et mesurées
- Les positions des taches thermiques dans la section 1 sont correctement prédites par calcul pour toutes les positions de traçage



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

2

L'HYDRAULIQUE DE LA CUVE DU REACTEUR

2.4.2 Les écoulements dans le plénum supérieur :
Qualification du code N3S-EF - Simulation des essais BANQUISE

S. Bellet (EDF/SEPTEN)

LES ECOULEMENTS DANS LE PLENUM SUPERIEUR

Qualification du code N3S-EF (EDF) - Contexte

Dans le cadre d'une étude (confiée au LNH à A. CARUSO) sur les écoulements dans les cuves des REP, EDF a engagé une qualification du code de thermohydraulique N3S. La compréhension des phénomènes d'hétérogénéité de température en branche chaude a entraîné la nécessité de maîtriser les écoulements provenant du plénum supérieur. Compte tenu de la géométrie complexe en cause, la qualification sur la base des essais coopératifs réalisés sur la maquette "Banquise" s'est vite imposée.

Présentation rapide du code

L'étude a été réalisée avec la version 3.3.2 du code de mécanique des fluides N3S-EF pour les écoulements incompressible. N3S-EF est un code, développé sous Assurance Qualité, permettant la modélisation en maillage non structuré (de triangles en 2D et de tétraèdres en 3D) d'écoulements de fluide incompressible ou compressible faiblement non isentropique dans des géométries bidimensionnelles ou tridimensionnelles en éléments finis. Le logiciel peut prendre en compte une ou plusieurs entrées, sorties ou obstacles. Les principaux phénomènes physiques pouvant être représentés incluent :

- la turbulence et l'aspect non isotherme,
- la compressibilité,
- les phénomènes de dilatabilité liés aux variations de température ou de masse molaire,
- les termes de gravité,
- la prise en compte d'effet de parois (frottement, échange thermique),
- l'aspect multi-espèces (fluide constitué d'espèces différentes dans une même phase),
- le transport de scalaires passifs.

Plusieurs modèles de turbulence sont implantés dans N3S-EF. Celui qui a été utilisé pour l'étude est le modèle k- ϵ couplé à des fonctions de parois.

Les options choisies pour les calculs doivent concilier à la fois la taille du maillage, la précision de calcul associée et le temps de calcul nécessaire pour la convergence des résultats. D'un point de vue solveur pour l'étape de pression-continuité, la méthode itérative des gradients conjugués a été préférée au détriment du solveur direct, car la taille mémoire engendrée par l'importance du maillage ne permet pas son utilisation sur le calculateur CRAY C90. Le calcul a été mené en utilisant un schéma temporel avec un pas de temps constant, afin de vérifier un éventuel comportement instationnaire ou périodique.

Hypothèses générales

Les effets de densité ont été négligés, compte tenu de l'aspect fortement forcé de la convection (nombre de Froude $\gg 1$). Les variations spatiales de la masse volumique en fonction de la température ont également été négligées, compte tenu de sa très faible variation dans la gamme de température de la maquette. La température est donc considérée comme un scalaire passif au niveau de la modélisation numérique.

La présence des écopés en extrémité des branches n'influence pas la structure de l'écoulement en amont de celles-ci, l'écoulement étant très fortement convectif et turbulent dans les branches (nombre de Reynolds élevé). Le fait de ne considérer qu'un demi-plénum suppose la présence d'un plan de symétrie.

Géométrie et maillage

Le domaine modélisé comprend un demi-plénum muni des internes supérieurs (21 colonnes entretoises et 8 demi-colonnes, 33 guides de grappes entiers et 7 demi-guides, 35 trous d'eau), deux branches chaudes et leurs écopés respectives. Les caractéristiques des trous

sont différentes selon qu'ils correspondent à un trou d'eau, un trou de colonne ou un trou de guide (surface, diamètre,...).

Le maillage a été réalisé avec le logiciel I-DEAS version Master Series 6 de la société SRDC, par la société XANTH. La figure 1 illustre le raffinement du maillage. Il comporte au total 1 217 652 noeuds de vitesse, 172 323 noeuds de pression et 809 004 éléments tétraédriques P1-iso P2 (noeuds pression aux 4 sommets des tétraèdres, noeuds vitesse aux 4 sommets et au 6 milieux d'arêtes).

Conditions aux limites

Les entrées de fluide se situent au niveau de la plaque supérieure de coeur. Le débit total traversant correspond au "débit maquette" de Banquise. Le calcul n'a été réalisé que pour un seul débit maquette de 330 l/s. Une condition de débit uniforme (même débit par orifice de la PSC) a été retenue tout en respectant les vitesses de chaque orifice en fonction de leur section de passage fluide.

Une condition de sortie libre a été prescrite à l'extrémité de chacune des branches (condition de contrainte nulle).

Comparaisons des résultats calculs / Banquise

Les calculs ont été effectués avec un nombre de courant moyen de 0.83 et maximal de 1.3. Les calculs de l'hydraulique ont été arrêtés après que les historiques de vitesse en différents points du domaine soient quasiment constants.

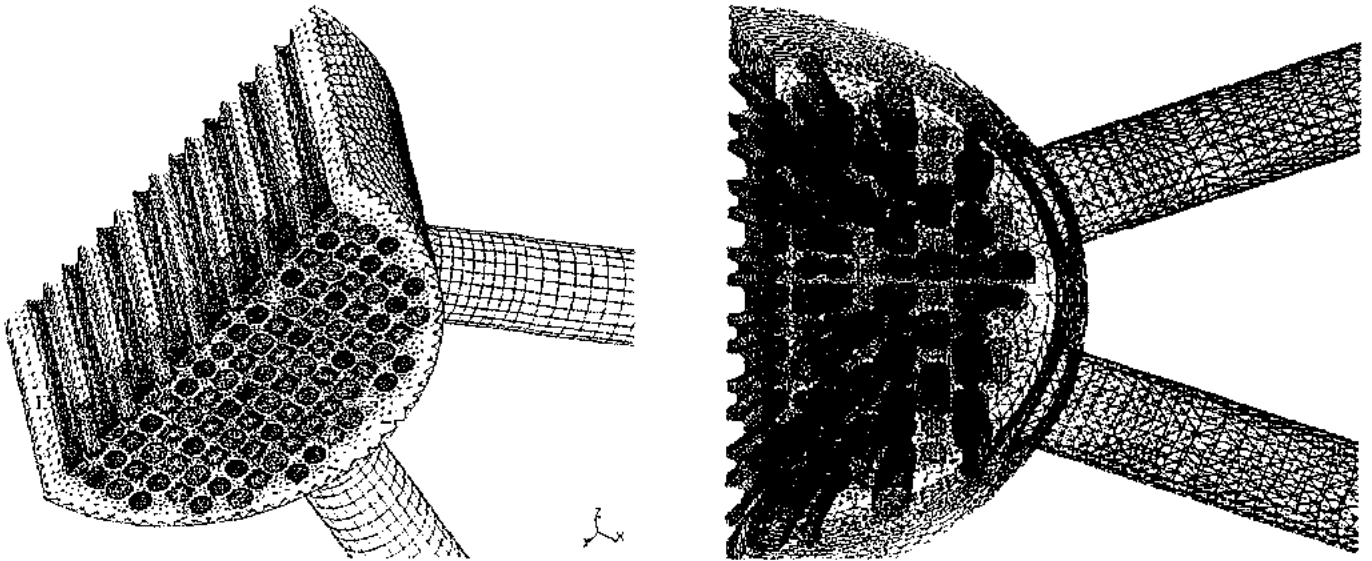
Sur la figure 2, qui illustre le champ de température de peau obtenue pour une injection en D2, on constate l'étonnant contraste auquel sont soumis les écoulements dans le plénum. En effet, malgré une forte agitation turbulente, le fluide est relativement canalisé au travers des structures. Ce comportement est observé quelle que soit la position de l'injection. Le transfert de fluide entre la plaque supérieure de coeur et la branche chaude est donc sans recirculation majeure, avec une bonne symétrie et se fait de manière assez guidée. La figure 3 met en évidence que le fluide entrant dans la zone centrale de la plaque se retrouve préférentiellement dans la partie supérieure des branches alors que celui provenant de la périphérie du coeur est plutôt guidé vers la partie inférieure.

En ce qui concerne la température (la figure 4 illustre la comparaison mesures-calculs des traçages thermiques pour quelques injections à différents plans de mesure), les résultats sont globalement satisfaisants d'un point de vue qualitatif, les taches thermiques "calculées" se situant au même endroit que celles "mesurées". Il est par contre difficile de conclure d'un point de vue quantitatif, compte tenu de la méconnaissance de certaines données comme les incertitudes de mesures expérimentales, les cartes de débit qui servent de conditions aux limites au niveau de la plaque supérieure du coeur.

La figure 5 montre la comparaison des champs de vitesse radiale obtenus par le calcul N3S-EF et la maquette BANQUISE (par technique PIV), pour trois plans de coupe situés respectivement à 537 mm, 767 mm et 997 mm de l'axe de symétrie du plénum. D'un point de vue structure globale de l'écoulement, le calcul retrouve la présence des tourbillons (3 puis 2, entre les différentes coupes). Toutefois, l'intensité des vitesses radiales calculées a tendance à décroître au fur et à mesure que le fluide avance dans la branche, alors que les mesures montrent l'effet inverse. Ceci peut être dû au modèle de turbulence qui a tendance à détruire les effets de swirl en conduite, mais également à la non prise en compte, dans le calcul, de la géométrie réelle de la sortie BC, en forme de té, qui aurait pour effet d'accroître l'intensité de ces tourbillons. Néanmoins comme le montre le transport de la température, l'influence de ces structures radiales est faible en regard du transport et de la dispersion longitudinale, le long de la branche.

Conclusions

La qualité des résultats obtenus, quelles que soient les injections, permet de conclure sur la bonne aptitude du code N3S à prédire les écoulements dans les plénum et branches chaudes d'un REP.



**Figure 1 : Maillage global du plénum,
vue du coeur et à partir de la plaque supérieure de coeur**

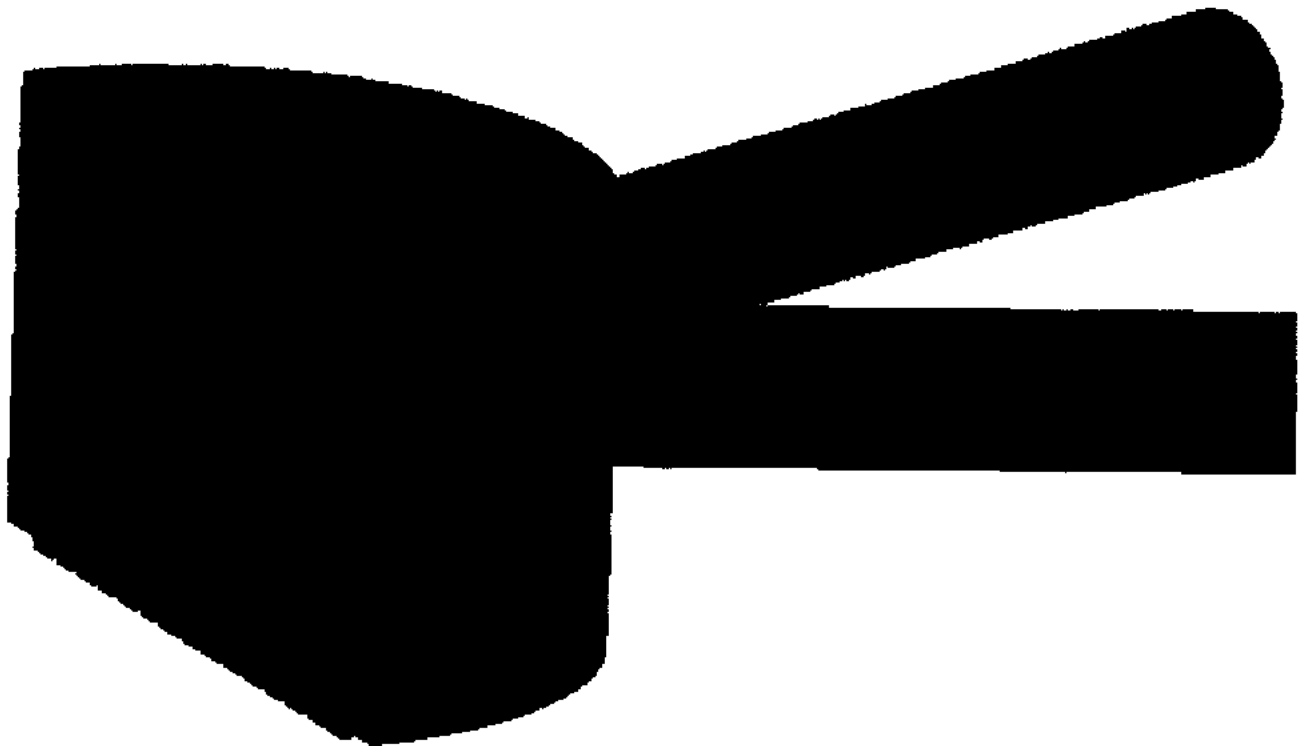


Figure 2 : Température de peau pour une injection en D2

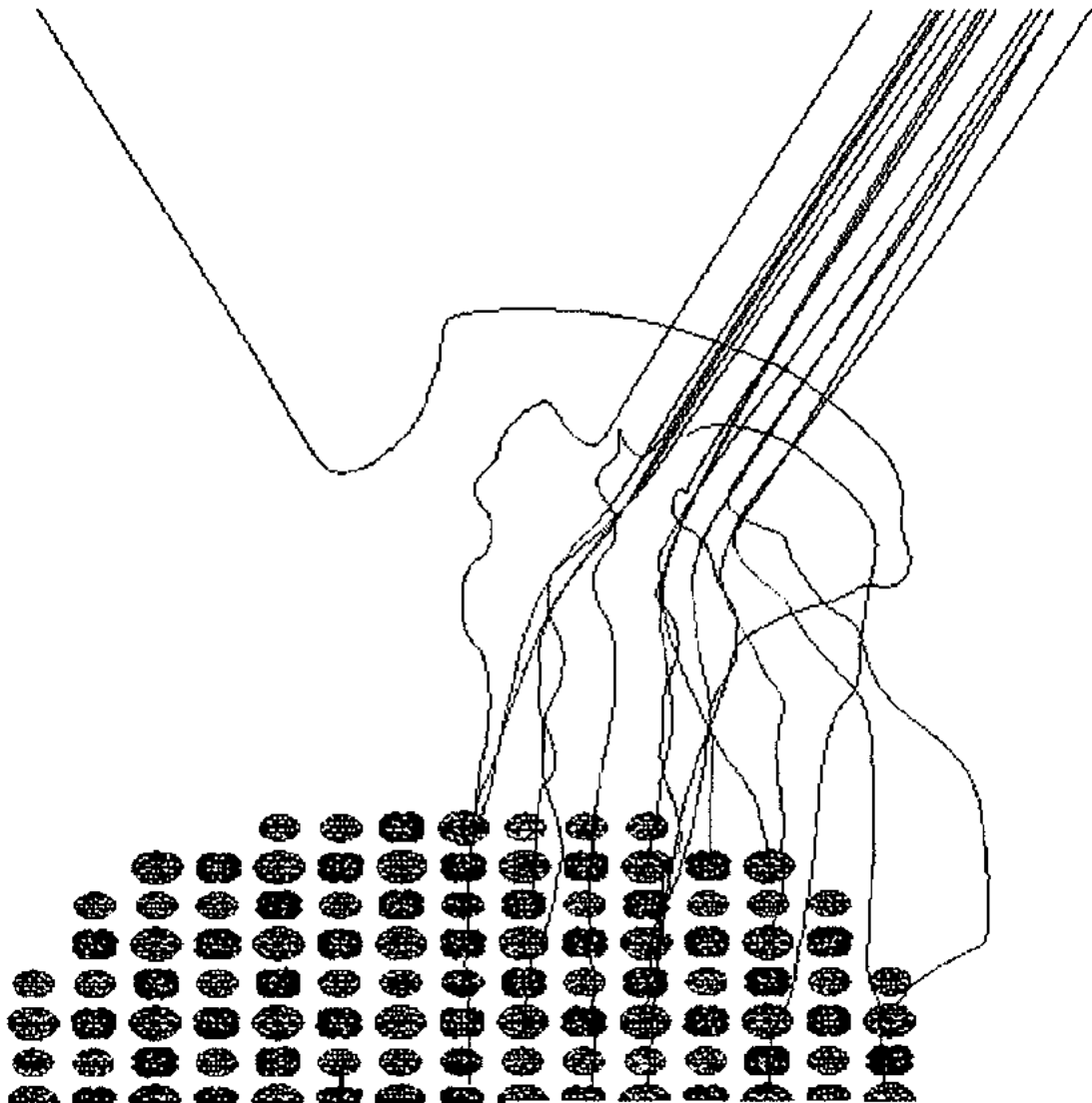


Figure 3 : lignes de courant d'un quart de plénum (BC4)

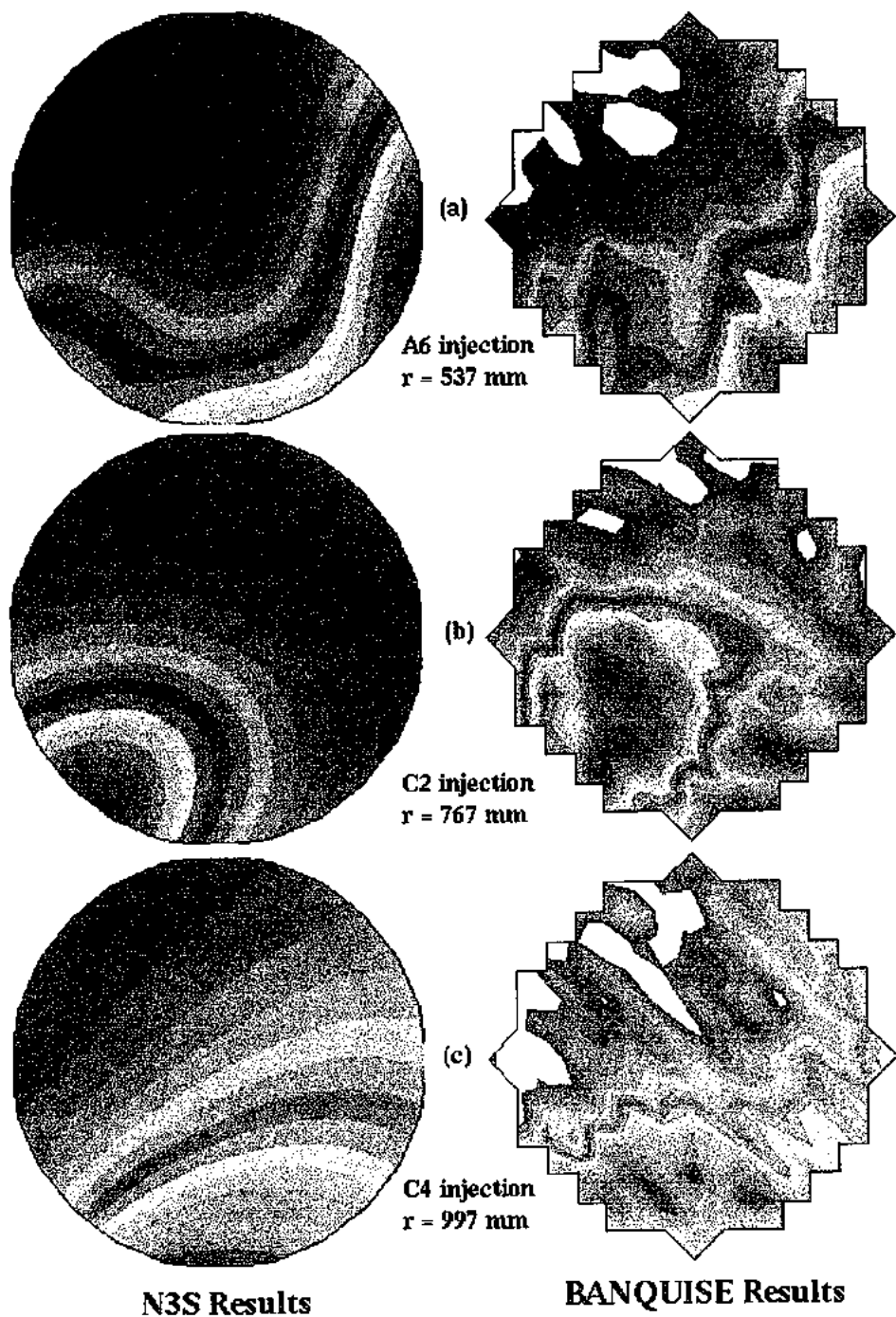
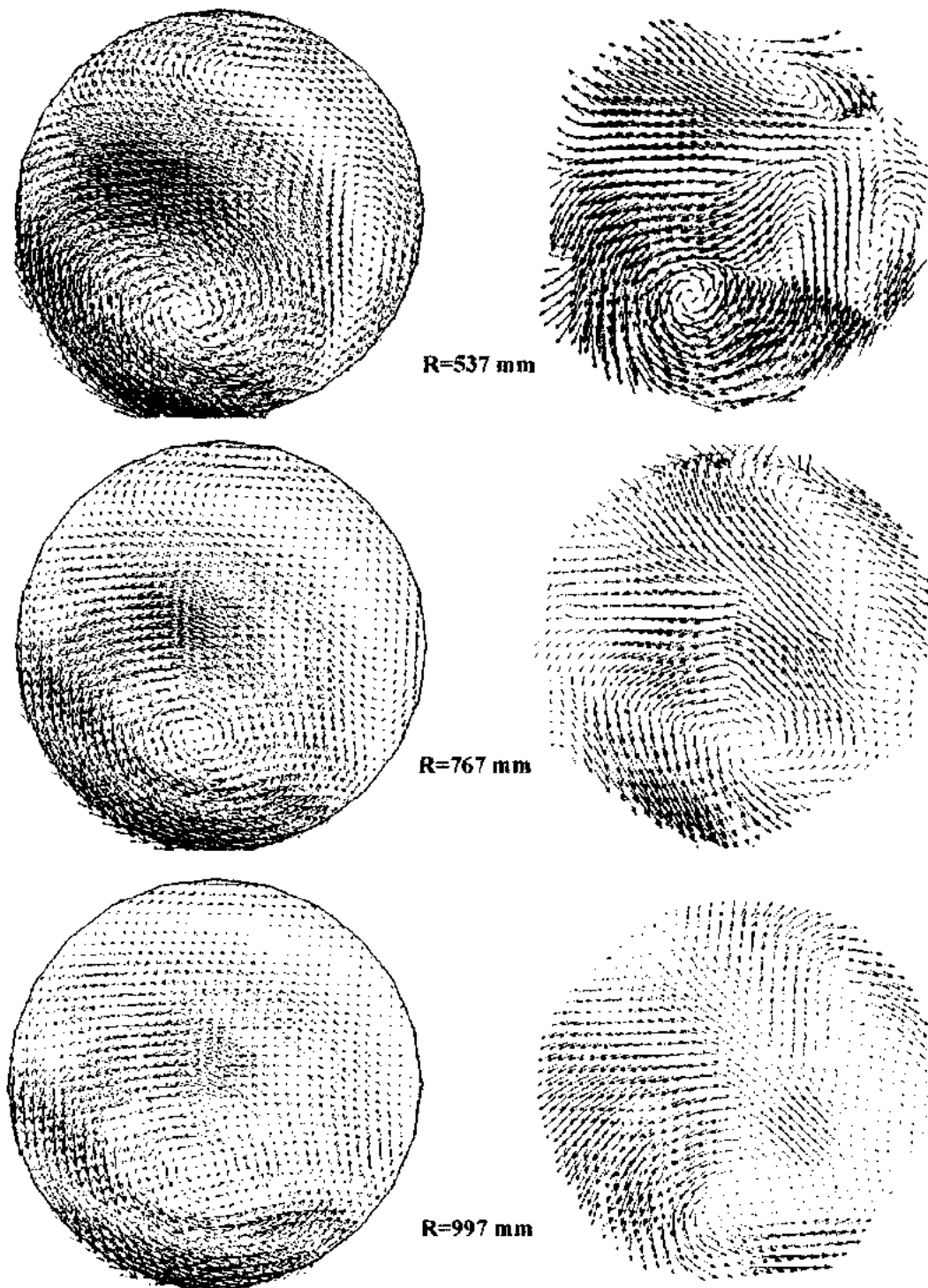


Figure 4 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et numériques : Champ de température pour différents plans de coupe sur la BC 4



N3S Results

BANQUISE Results

Figure 5 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et numériques :

Champ de vitesse pour différents plans de coupe sur la BC 4



Ecoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

➤ OBJECTIF

**Dans le cadre de la compréhension des hétérogénéités
de température en branche chaude**

Qualification du code de Thermohydraulique N3S-EF

**Développé par EDF/DER -LNH à Chatou
Version 3.3.2**

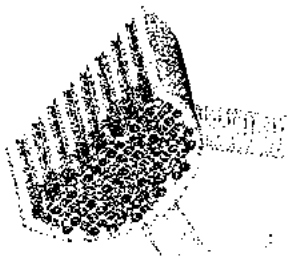
**Code éléments finis - maillage non structuré
de tétraèdres**



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES



Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET



Ecoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

➤ **Options, Hypothèses et C.L. du calcul**

Modèle de turbulence K-Epsilon couplé à des fonctions de parois

Densité et variation de masse volumique négligés

Plan de symétrie pour un demi-plénum

Maillage avec I-DEAS (MS6)

1 217 652 noeuds, 809 004 tétraèdres

Conditions d'entrée = Q uniforme maquette 330 l/s

Conditions de sortie libre aux branches



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET





Écoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

➤ COMPARAISON Calculs / Mesures

LIGNES DE COURANT = Fluide guidé
Pas de recirculation majeure
(plénum et branches)

Centre du coeur  **Haut de la BF**

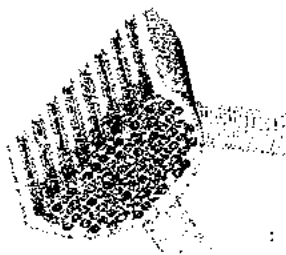
Périphérie  **Bas de la BF**



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES



Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET

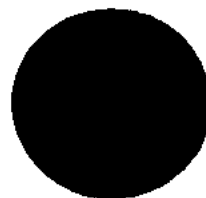


Écoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

➤ COMPARAISON Calculs / Mesures

TACHES THERMIQUES en BC



Localisation identique des taches thermiques



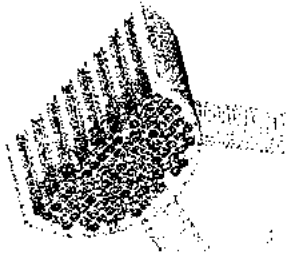
Vrillage des écoulements le long de la branche



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET





Écoulements dans le plénum supérieur Simulation des essais BANQUISE

➤ COMPARAISON Calculs / Mesures

CHAMP de VITESSE radiale
le long de la branche



Même évolution des tourbillons
en nombre et en location en s'éloignant du cœur



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET





Ecoulements dans le plénum supérieur

Simulation des essais BANQUISE

CONCLUSIONS

Accord entre mesures et calculs



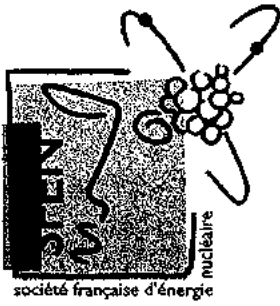
Bonne aptitude du code N3S à prédire les écoulements dans le plénum et les branches chaudes



POLE INDUSTRIE
SERVICE ÉTUDES ET PROJETS THERMIQUES ET NUCLÉAIRES

EDF
Electricité
de France

Réunion technique SFEN du 10 Juin 1999 / Serge BELLET



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

3

L'HYDRAULIQUE DES GENERATEURS DE VAPEUR

3.1 Description des générateurs de vapeur
et études hydrauliques associées

A. Holcblat (FRA/Equipements primaires et Matériels)

**DESCRIPTION DES GENERATEURS DE VAPEUR
ET
ETUDES HYDRAULIQUES ASSOCIEES**

**A.Holcblat
FRAMATOME
10/06/99**

SOMMAIRE

1. PRESENTATION GENERALE DES G.V. REP

1.1. ROLE

1.2. DESCRIPTION

1.3. LES ECOULEMENTS

2. EXEMPLES D'ETUDES HYDRAULIQUES

2.1. DRAINAGE DES CADRES SECHEURS

2.2. STRATIFICATION DANS LA LIGNE ALIMENTAIRE

2.3. ECOULEMENT DANS LE RETOUR D'EAU

2.4. ECOULEMENT SUR LA PLAQUE TUBULAIRE

2.5. TRANSITOIRES D'INJECTION

3. CONCLUSIONS

PRESENTATION GENERALE DES GV DES REP

1.1 ROLE

LES GENERATEURS ONT 2 ROLES :

- PRODUIRE DE LA VAPEUR
- ISOLER LE CIRCUIT PRIMAIRE RADIOACTIF DU CIRCUIT SECONDAIRE INACTIF

POUR UN POINT UN POINT DE FONCTIONNEMENT FIXE PAR LE PRIMAIRE :

- PUISSANCE THERMIQUE
- DEBIT PRIMAIRE
- TEMPERATURE MOYENNE PRIMAIRE

LE GENERATEUR DE VAPEUR TRANSFORME L'EAU ALIMENTAIRE EN VAPEUR AUX CONDITIONS IMPOSEES :

- PRESSION DE LA VAPEUR > LIMITE (58 A 74 BAR)
- HUMIDITE DE LA VAPEUR < LIMITE (0,10 A 0,25 %)

1.2. DESCRIPTION

LE GENERATEUR DE VAPEUR EST UN EVAPORATEUR TUBULAIRE VERTICAL A CIRCULATION NATURELLE, AVEC SECHAGE MECANIQUE DE LA VAPEUR.

ENSEMBLE EVAPORATEUR

- **CIRCUIT PRIMAIRE :**
 - . BOITES A EAU
 - . FAISCEAU TUBULAIRE

- **CIRCUIT SECONDAIRE :**
 - . ENVELOPPE DE FAISCEAU
 - . RETOUR D'EAU
 - . PLAQUE DE DISTRIBUTION
 - . PLAQUES ENTRETOISES ET BARRES ANTI VIBRATOIRES
 - . TORES ALIMENTAIRES NORMAL (ARE) ET DE SECOURS (ASG)

- **GV BOUILLEUR :**
 - . 1 RETOUR D'EAU

- **GV ECONOMISEUR :**
 - . 2 RETOURS D'EAU
 - . 100 % EAU ALIMENTAIRE COTE FROID
 - . 1 PLAQUE DE SEPARATION DANS LE FAISCEAU

ENSEMBLE DE SECHAGE

- **SEPARATEURS A CYCLONE**

- **SECHEURS A CHEVRONS**

1.3. LES ECOULEMENTS

- FONCTIONNEMENT EN PUISSANCE :

- . THERMOSIPHON
- . EAU ALIMENTAIRE INJECTEE DANS LE BALLON
- . MELANGE AVEC EAU SEPARÉE PAR LES CYCLONES
- . DESCENTE DANS LE RETOUR D'EAU
- . MONTEE ET VAPORISATION DANS LE FAISCEAU
- . SEPARATION DANS LES CYCLONES

TAUX DE CIRCULATION = DEBIT TOTAL FAISCEAU / DEBIT VAPEUR

- FONCTIONNEMENT A TRES BASSE PUISSANCE :

- . 2 NIVEAUX LIBRES : BALLON - CYCLONES
- . ECHANGES THERMIQUES A TRAVERS L'ENVELOPPE DE FAISCEAU

2. EXEMPLES D'ETUDES HYDRAULIQUES

2.1 DRAINAGE DES CADRES SECHEURS

OBJECTIF :

- **CALCULER LA PROFONDEUR DES BACS DE RECUPERATION**

MOYEN EMPLOYE :

- **PROGRAMME LIDO**

VALIDATION : *ESSAIS A EDF-CHATOU*

- **MAQUETTE DE 2 CADRES SECHEURS**
- **ALIMENTATION UNIFORME LE LONG DU CANAL PAR RUISSELLEMENT SUR LES PLAQUES-CHICANES**

2.2. STRATIFICATION DANS LA LIGNE ALIMENTAIRE

PROBLEME :

- STRATIFICATION A BAS DEBIT
- FLEXION DE LA TUYAUTERIE
- RISQUE DE FAIENCAGE

OBJECTIF :

- ABAISSER LE SEUIL DE STRATIFICATION

MOYEN :

- MISE AU POINT D'UNE HELICE ANTI-STRATIFICATION

VALIDATION :

- ESSAIS HYDRAULIQUES SUR MAQUETTES
- ESSAIS THERMOHYDRAULIQUES SUR LA MAQUETTE ADAGIO (CEA)
- ESSAIS SUR SITE SUR LES GV DE BEZNAU

RESULTATS :

- REDUIT LE TEMPS NECESSAIRE POUR ELIMINER LA STRATIFICATION A LA MISE EN ROUTE DE L'ARE A FAIBLE DEBIT (1 A 3 % DU DEBIT NOMINAL A 100 %PN)
- REDUIT LE GRADIENT THERMIQUE VERTICAL A LA COUPURE DE L'ALIMENTATION

2.3. ECOULEMENT DANS LE RETOUR D'EAU

PLUSIEURS ETUDES PORTENT SUR LES PERTURBATIONS DE L'ECOULEMENT DUES AUX OBSTACLES DANS LE RETOUR D'EAU :

- **BLOCS ANTI-SISMIQUES**
- **BLOCS SUPPORTS DE L'ENVELOPPE**

MOYEN :

- **CALCUL 3D AVEC LE CODE STAR CD**

EXEMPLE :

OBJECTIF :

SUR CERTAINS GV GV51, ON A OBSERVE UNE DEGRADATION DES BLOCS-SUPPORTS, ACCOMPAGNEE D'UNE FISSURATION DE L'ENVELOPPE.

CE PHENOMENE EST ATTRIBUE :

- **A LA DEFORMATION PROGRESSIVE DES BLOCS LORS DE TRANSITOIRES NOCIFS**
- **PUIS AUX VIBRATIONS DE L'ENVELOPPE GENEREES PAR LE DETACHEMENT TOURBILLONAIRE A L'AVAL DES BLOCS.**

POUR EVITER LE RISQUE DE CREATION DE CORPS MIGRANTS, ON A MIS EN PLACE SUR 3GV DES ETRIERS ENGLOBANT L'ENSEMBLE BLOC-SUPPORT, TENON, BLOC ANTI-ENVOL

A CETTE OCCASION, ON A FAIT UNE ETUDE POUR REDUIRE CES VIBRATIONS EN OPTIMISANT LA FORME DES ETRIERS.

RESULTATS :

**LA FREQUENCE DE DETACHEMENT CALCULEE EST PROCHE DE LA FREQUENCE MESUREE DES VIBRATIONS DE L'ENVELOPPE
LA FORME DE L'ETRIER PREVU EST OPTIMALE.**

2.4. ÉCOULEMENT SUR LA PLAQUE TUBULAIRE

OBJECTIF :

POUR EVITER LES DEPOTS EN PIED DE TUBES, ON FORCE L'ÉCOULEMENT A BALAYER LA PLAQUE TUBULAIRE AU MOYEN D'UNE PLAQUE DE DISTRIBUTION.

IL FAUT DIMENSIONNER SES ORIFICES (TROUS DE PASSAGE DES TUBES, TROU CENTRAL)

MOYEN :

- **CODE 3D GENEPI**

VALIDATION :

- **ESSAIS ESOPE A EDF-CHATOU**

2.5. TRANSITOIRES D'INJECTION

OBJECTIF :

PLUSIEURS TRANSITOIRES DU DOSSIER DE SITUATIONS SONT DES TRANSITOIRES MONOPHASIQUES AVEC DES INJECTIONS PERIODIQUES DANS LE BALLON :

- **MAINTIEN DE NIVEAU EN ARRET A CHAUD**
- **REFROIDISSEMENT DE LA CHAUDIERE**

IL FAUT PREVOIR LES CHARGEMENTS THERMIQUES INDUITS SUR LES STRUCTURES.

MOYEN : CODE 1D ANETH

EXEMPLE : INJECTION ASG 3 % SUR CHOOZ B1

ON OBSERVE UNE PETITE CIRCULATION AU-DESSUS DE LA PLAQUE DE SEPARATION DU FAISCEAU.

BON ACCORD MESURES-CALCULS SUR :

- **LE DEBIT DE CIRCULATION**
- **LES TEMPERATURES BALLON ET RETOUR D'EAU**

LES ESSAIS MONTRENT QUE LES CHARGEMENTS THERMIQUES PRIS EN COMPTE DANS LE DAC SONT SOIT TRES PROCHES DES MESURES (PLAQUE TUBULAIRE), SOIT TRES CONSERVATIFS (JOINT FINAL).

CONCLUSIONS

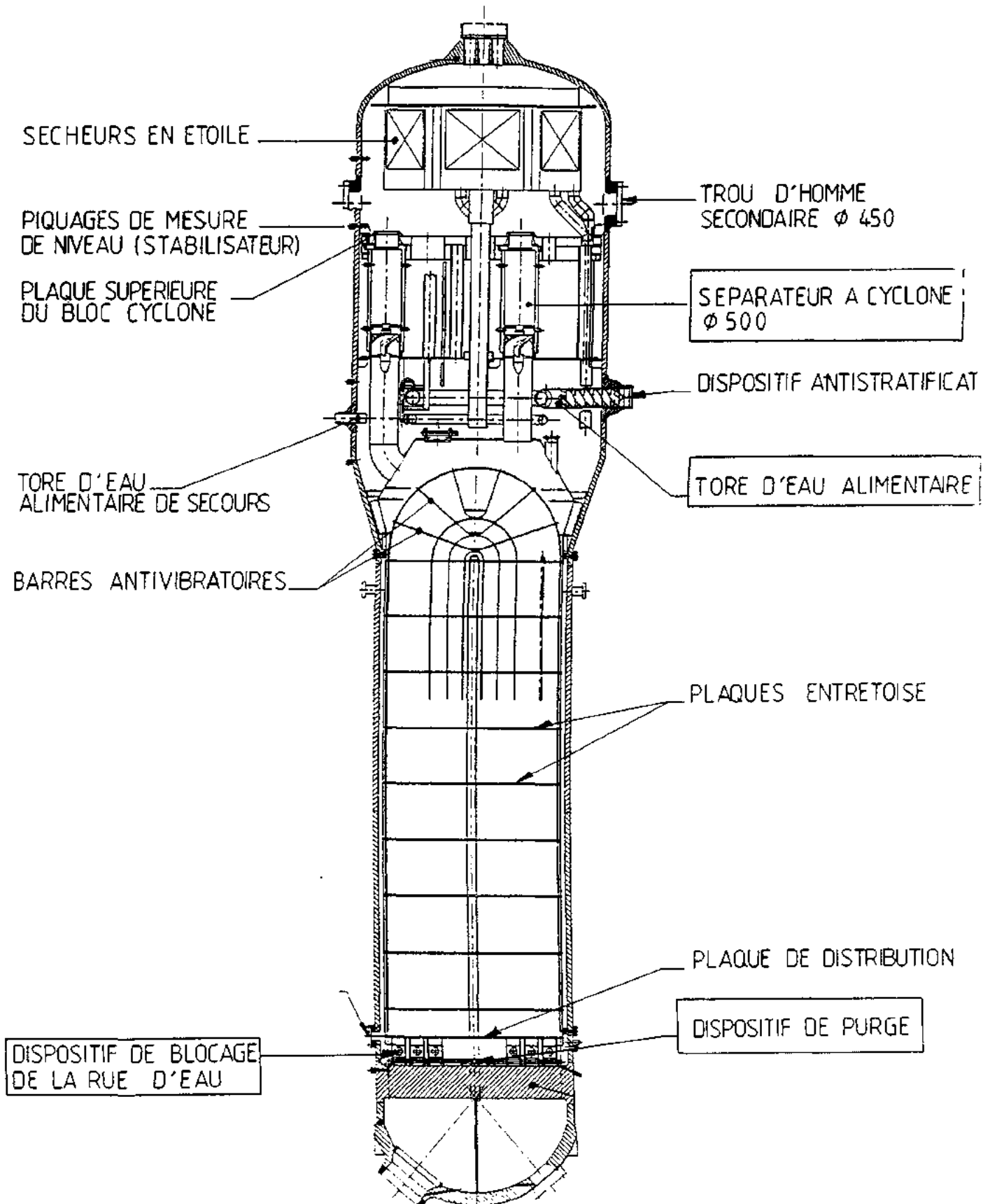
COMPTE TENU DE SON ROLE D'EVAPORATEUR, LA PLUPART DES ETUDES DE GV PORTENT SUR LE FAISCEAU TUBULAIRE ET NECESSITENT DES CODES DIPHASIQUES.SPECIFIQUES, NOTAMMENT POUR MODELISER L'ENSEMBLE DE L'APPAREIL.

CEPENDANT, PLUSIEURS ZONES FONCTIONNENT EN MONOPHASIQUE, SOUVENT AVEC GRADIENT THERMIQUE.

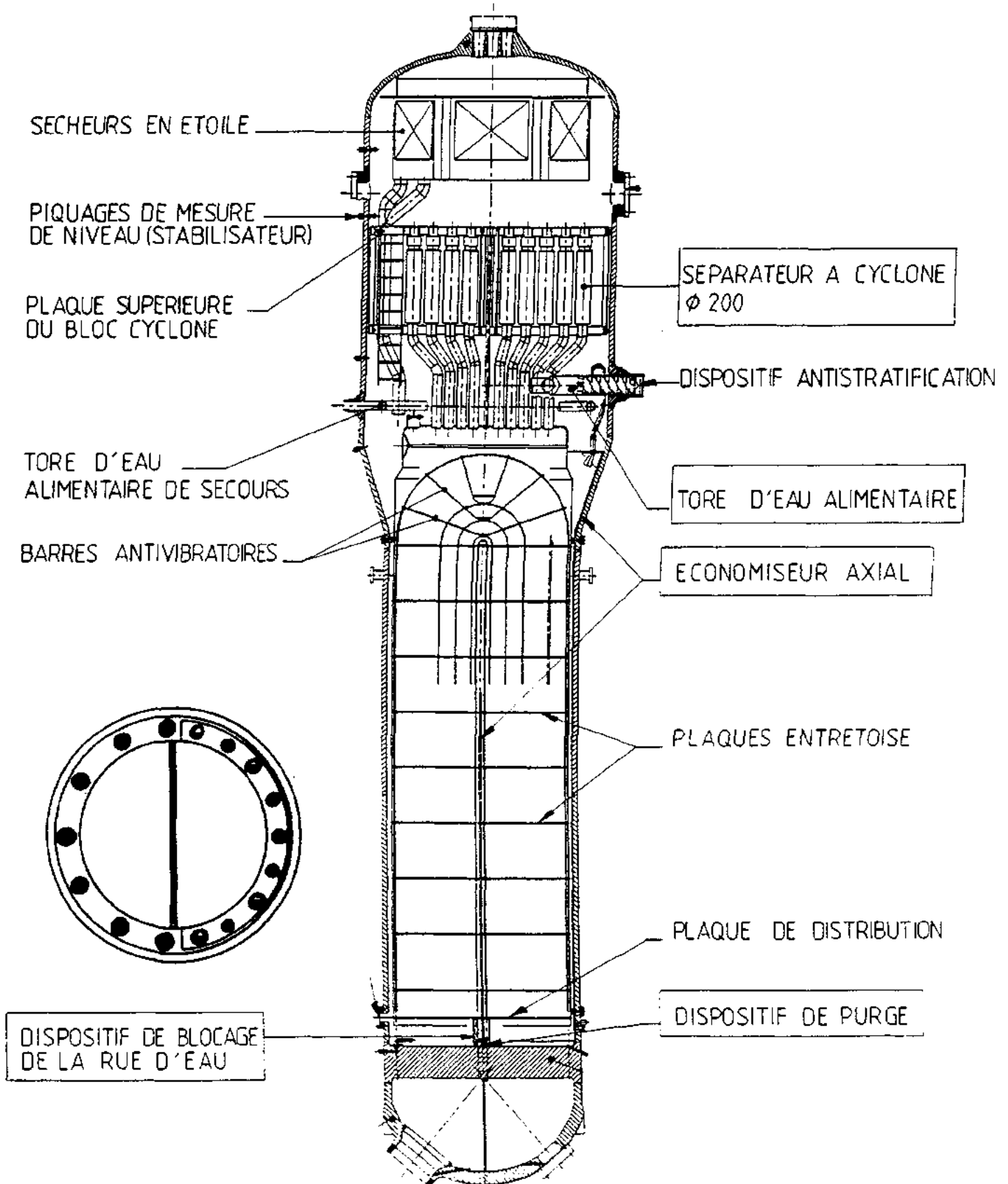
LES ETUDES LES CONCERNANT, BASEES SOUVENT SUR DES ESSAIS DANS LE PASSE, SONT DE PLUS EN PLUS TRAITÉES PAR LE CALCUL GRACE AU PROGRES DES MACHINES ET A L'ARRIVEE A MATURITE DE CODES 3D AVEC DES MODELES DE TURBULENCE SOPHISTIQUES.

CES ETUDES SONT UN DES ELEMENTS IMPORTANTS DE LA CONCEPTION DU GV. LES RESULTATS DES ESSAIS SUR SITE MONTRENT LA JUSTESSE DES SOLUTIONS RETENUES.

GENERATEUR DE VAPEUR BOUILLEUR



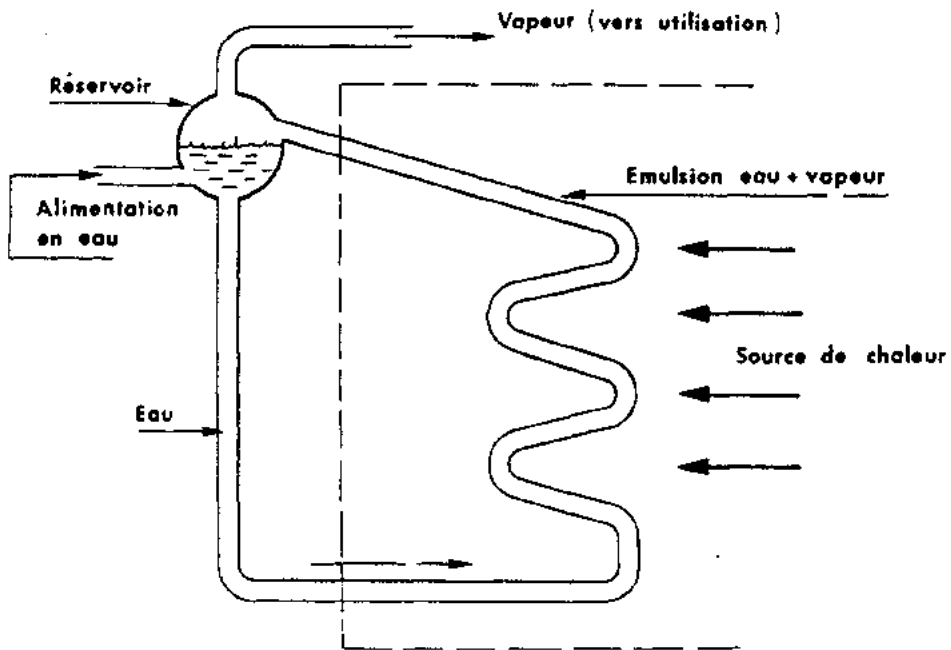
GENERATEUR DE VAPEUR ECO AXIAL





Principes de fonctionnement :

. Générateurs de vapeur à circulation naturelle



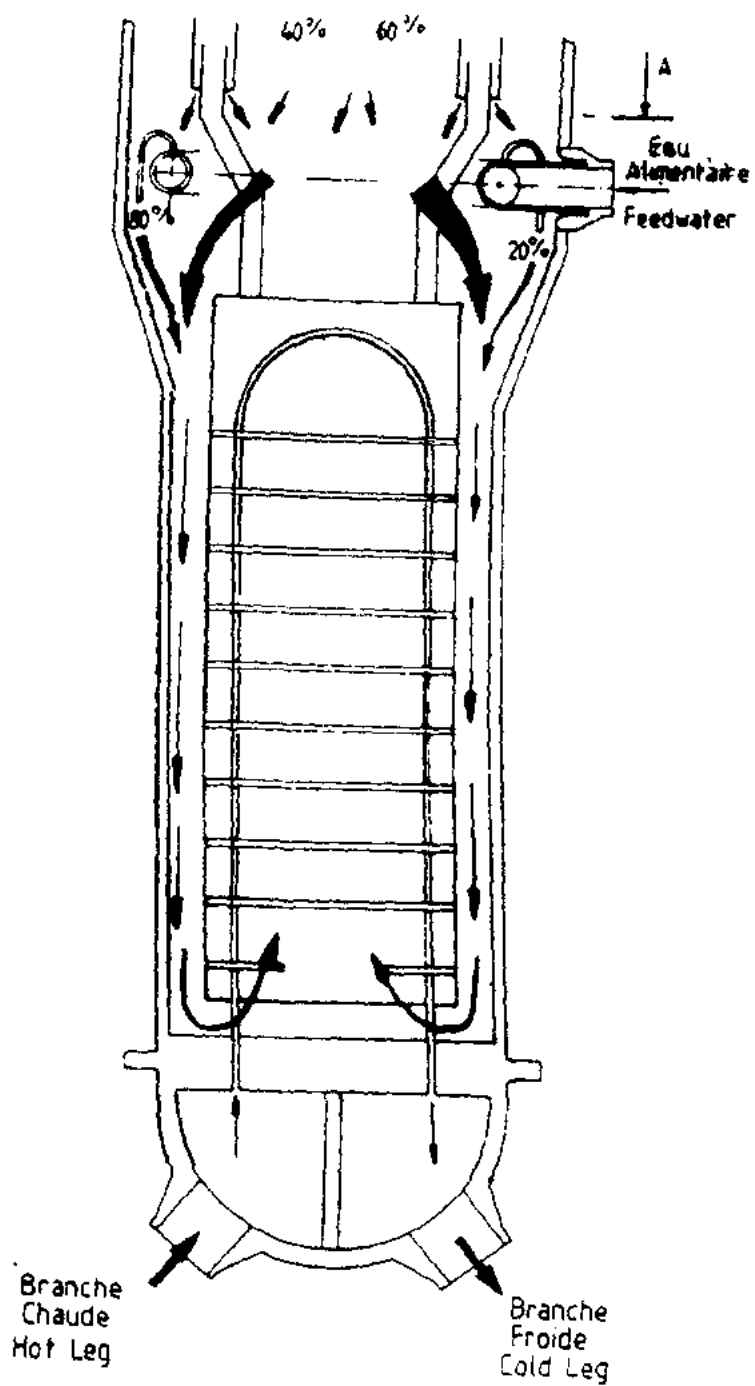
Dans un tel générateur de vapeur, la force motrice qui assure la circulation du fluide est la différence de masse volumique entre la colonne froide (eau) et la colonne chaude (eau + vapeur) : c'est un thermosiphon.

Dans le réservoir s'effectue la séparation eau - vapeur. La partie non vaporisée du débit recircule dans le générateur.

La vapeur fournie est saturée.

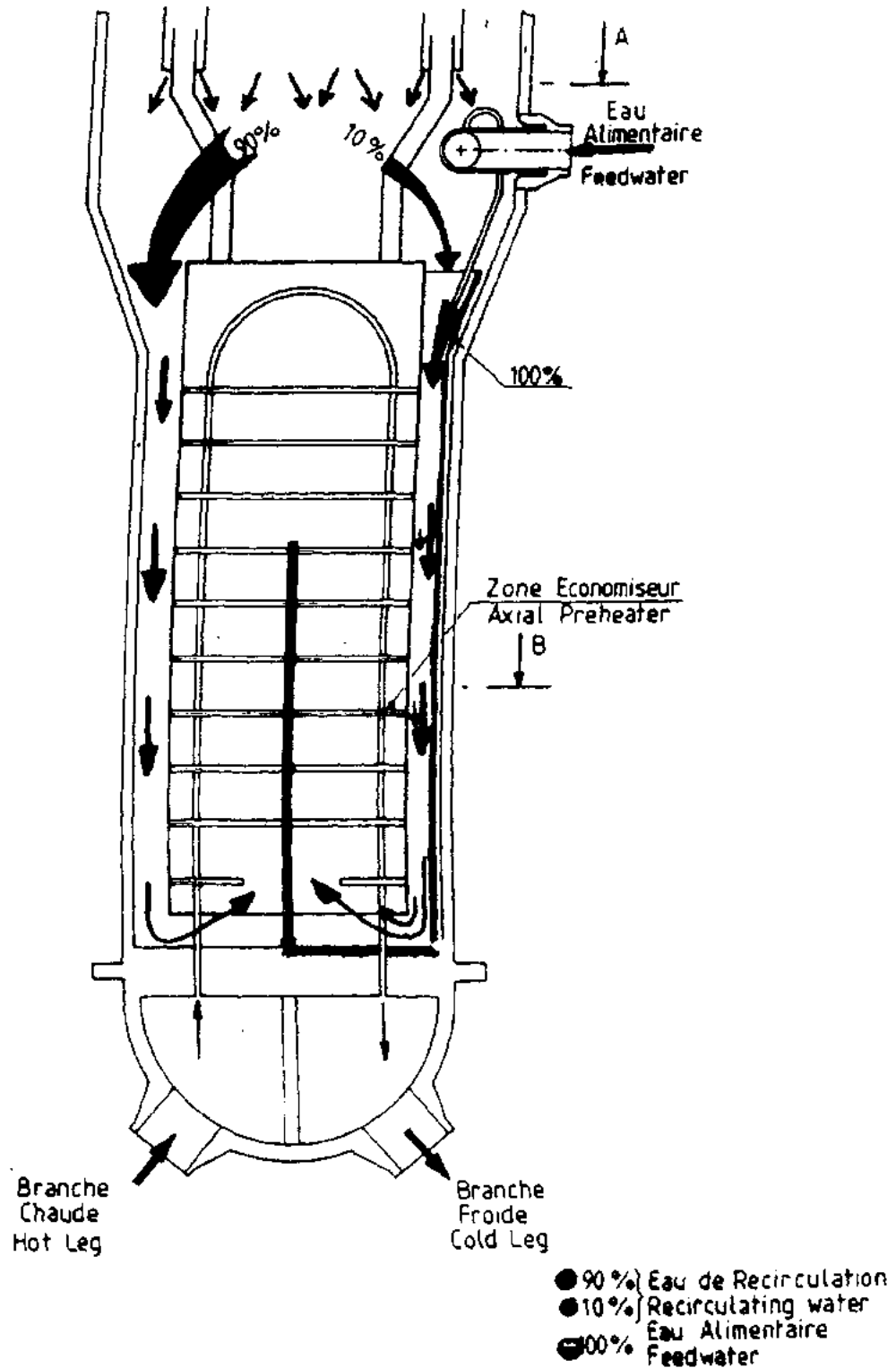


GV BOUILLEUR FONCTIONNEMENT A PLEINE CHARGE





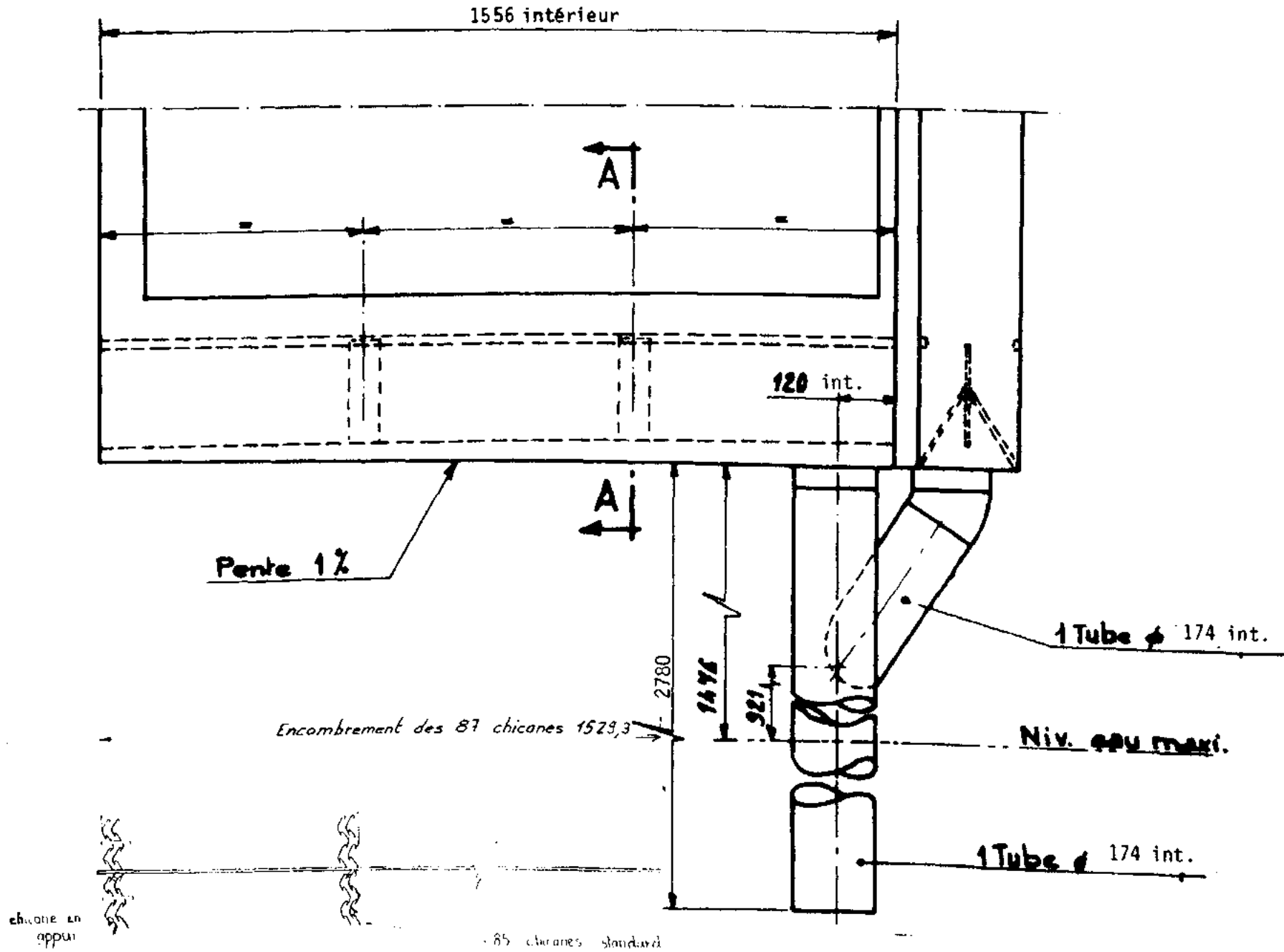
GV ECONOMISEUR AXIAL FONCTIONNEMENT A PLEINE CHARGE



Branche
Chaude
Hot Leg

Branche
Froide
Cold Leg

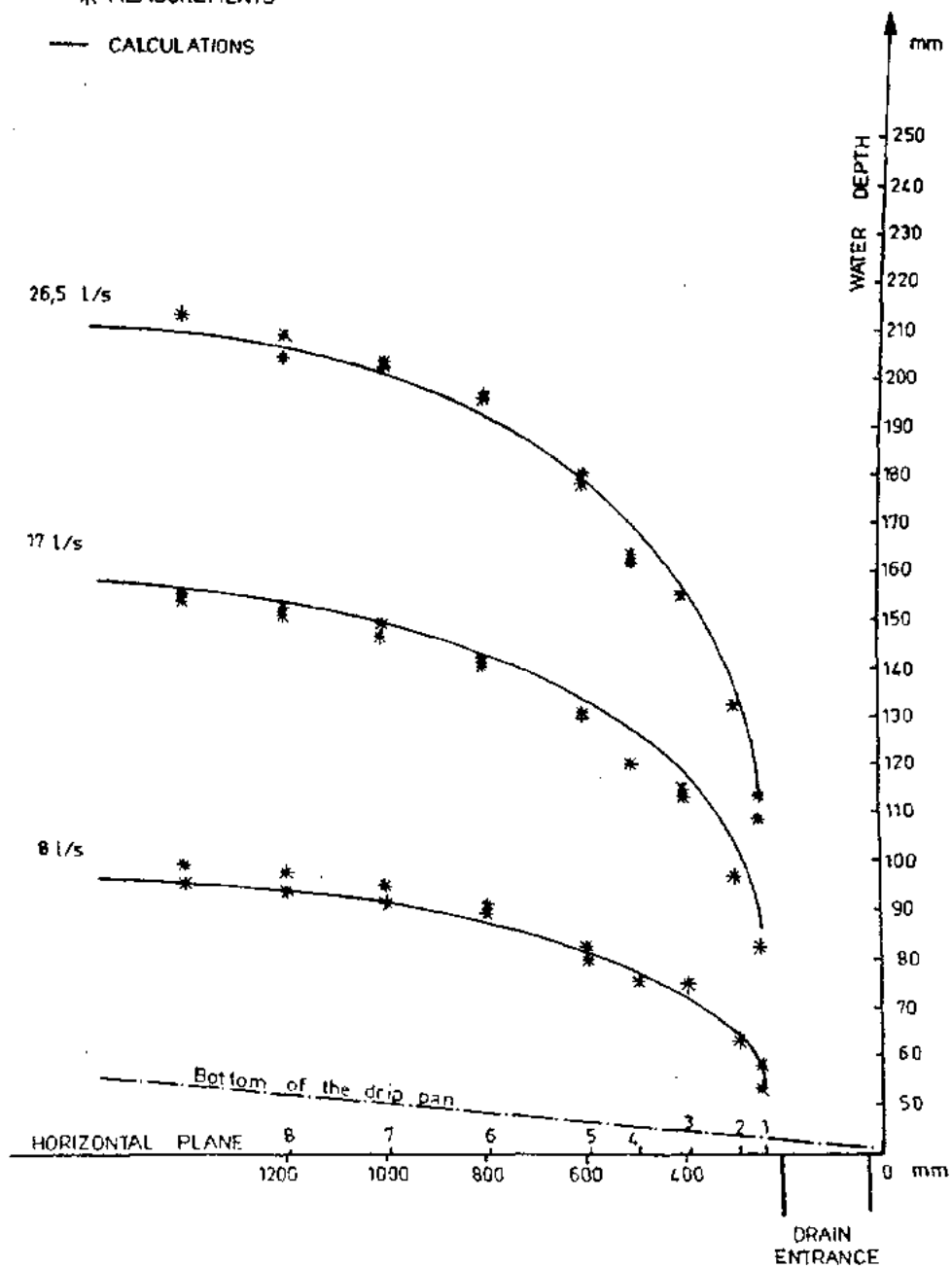
- 90% Eau de Recirculation
Recirculating water
- 10% Eau Alimentaire
Feedwater
- 100% Eau Alimentaire
Feedwater



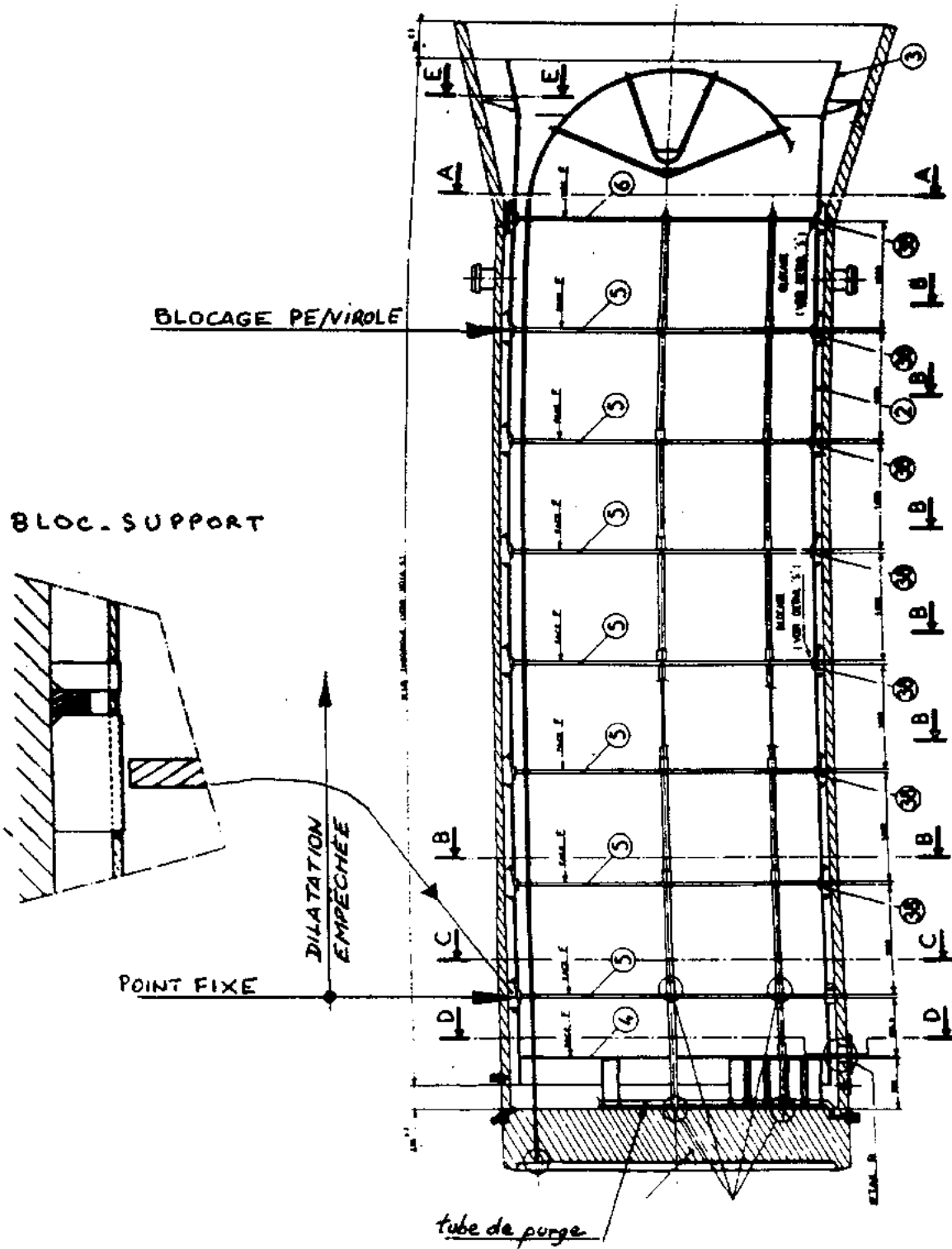
HYDRAULIC TESTS TO VERIFY THE DRAINAGE SYSTEM DESIGN (VALIDATION OF THE CALCULATION PROGRAM)

* MEASUREMENTS

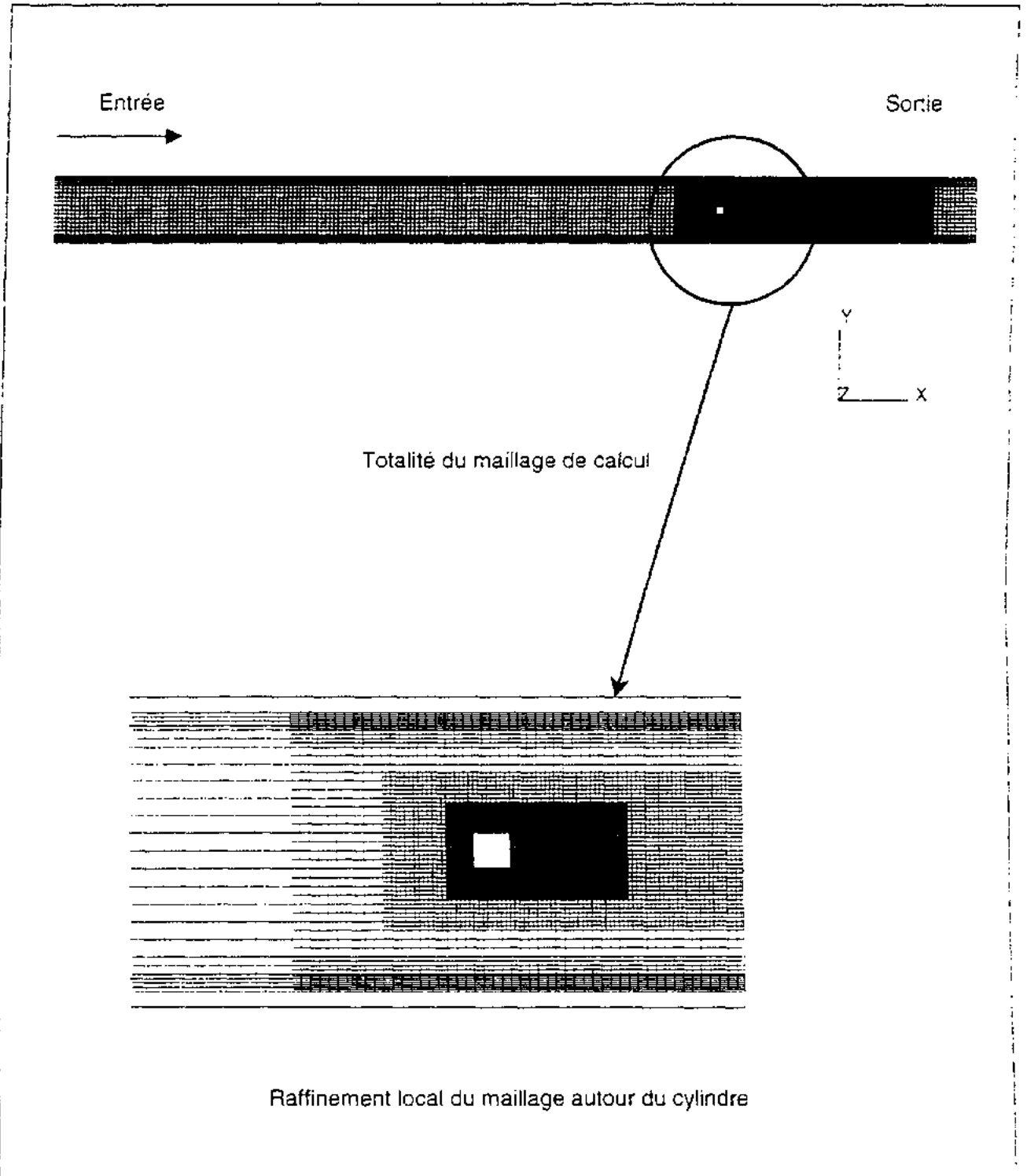
— CALCULATIONS



PRESENTATION SCHEMATIQUE DES CAUSES DE LA DEGRADATION

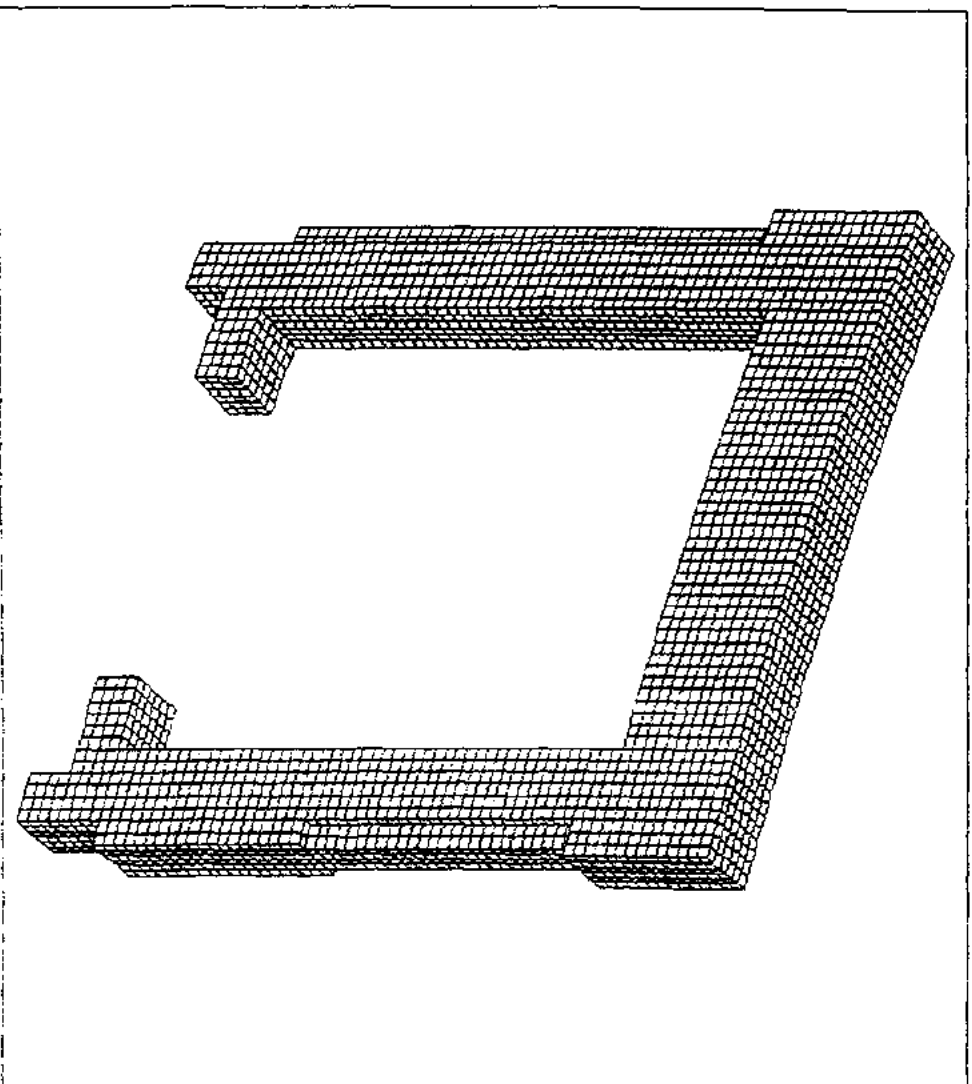


Cas test STAR-CD – Maillage de calcul





Calcul STAR-CD GV 51 BI avec étrier – Maillage de l'étrier



bloc anti-entrainement GV 51 BI étrier 1



PROSTAR 3.1.4

22-May-98
VIEW

1,000
1,000
1,000

ANGLE

-120,000

DISTANCE

0,213

CENTER

1,530

0,415

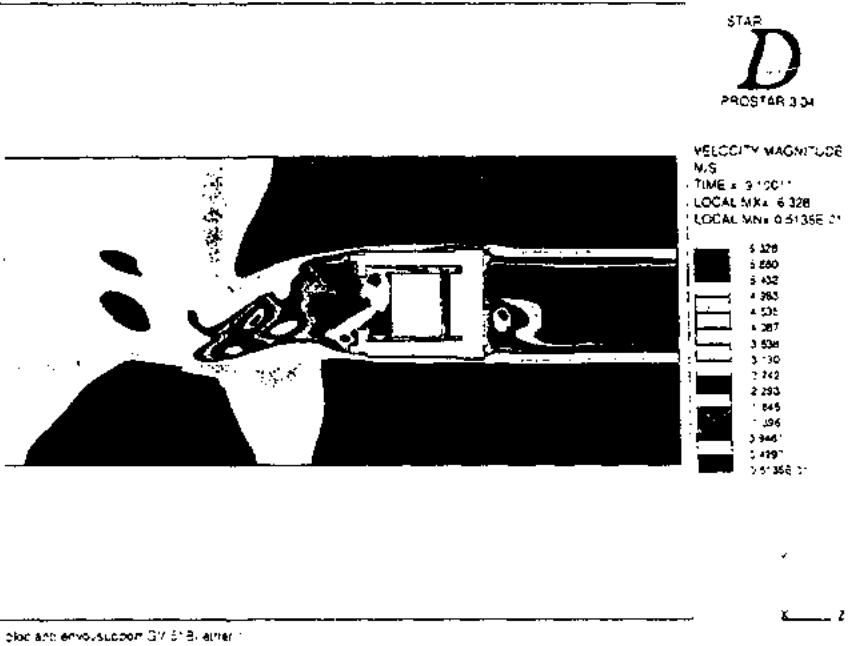
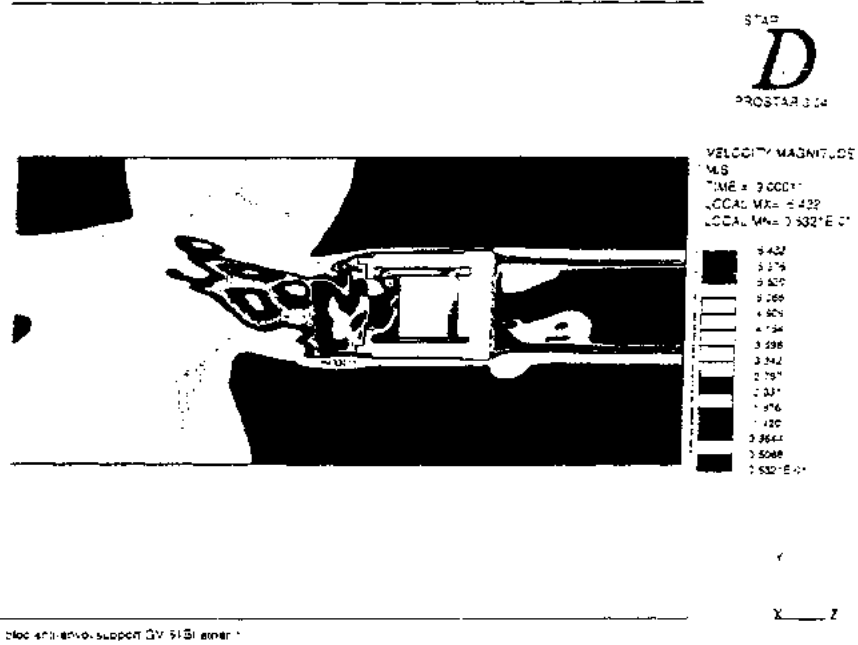
1,049

HIDDEN PLOT



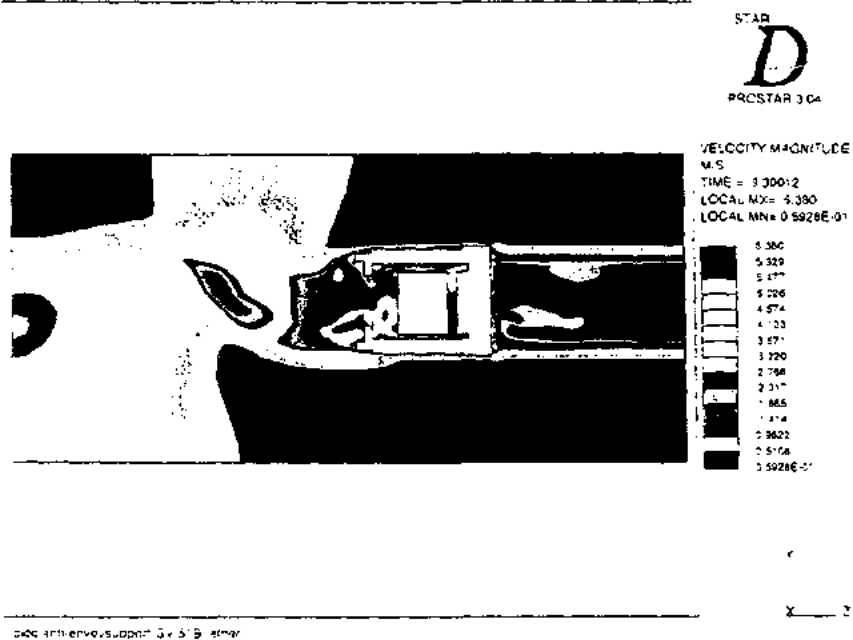
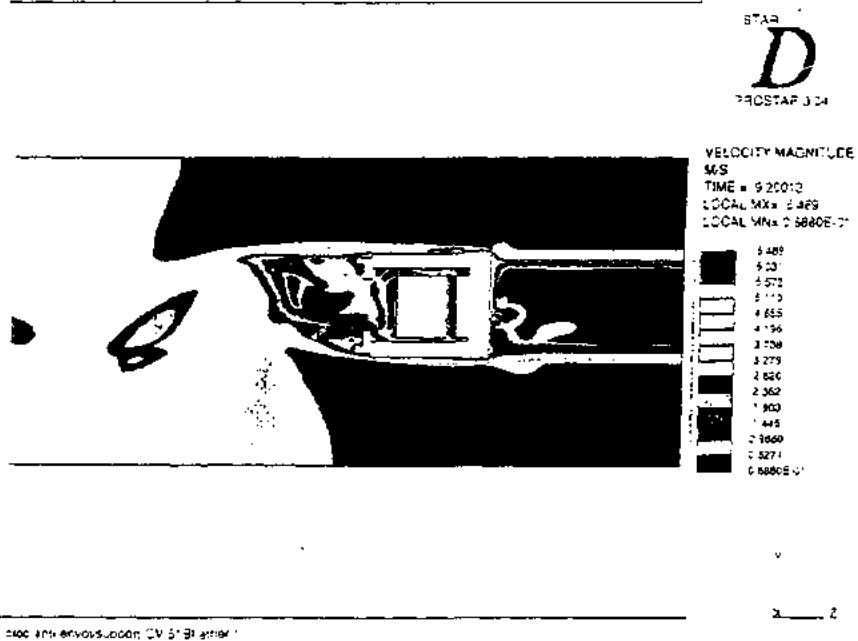


Calcul STAR-CD GV 51 BI avec étrier – Tracé des isovitesse totales pour t=9.0 s et t=9.1 s



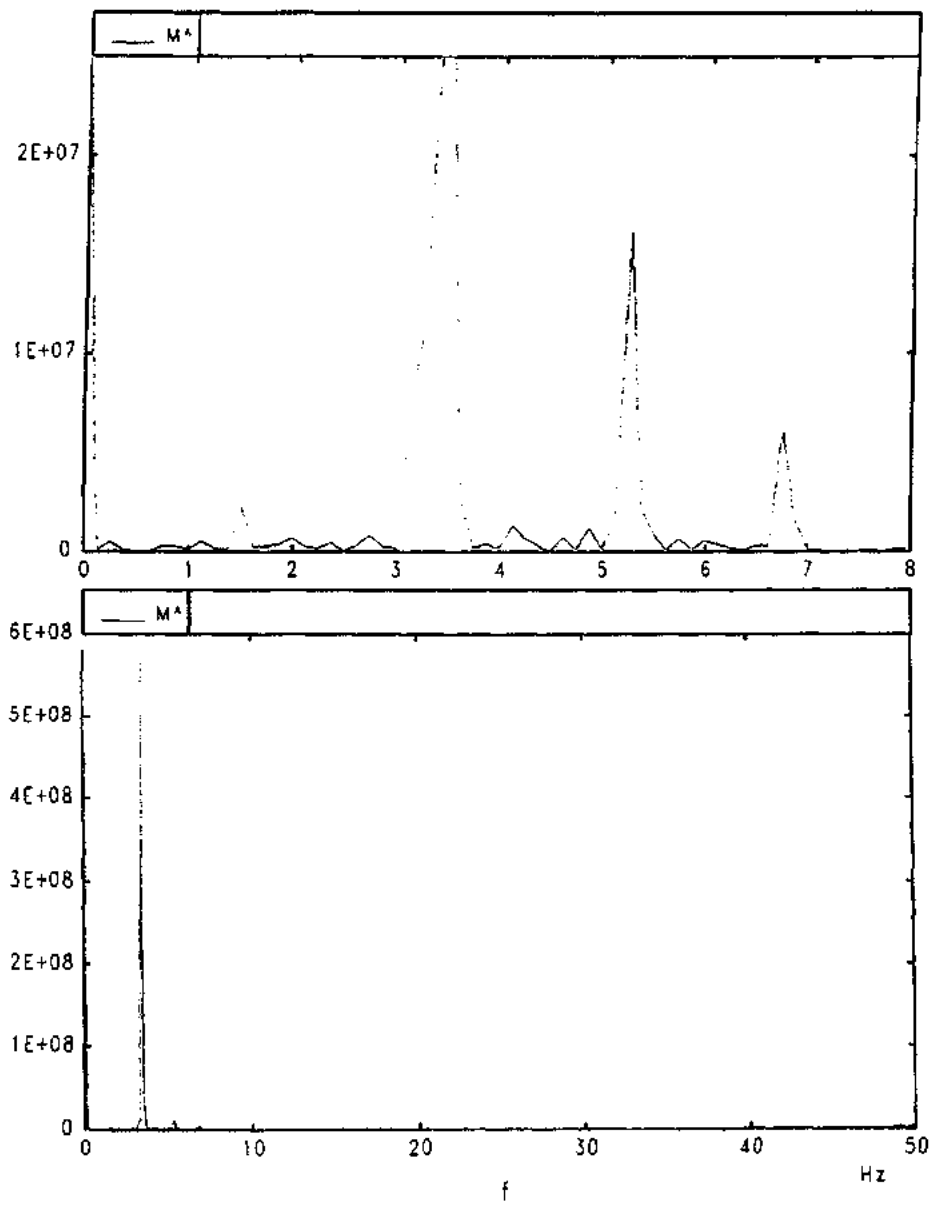


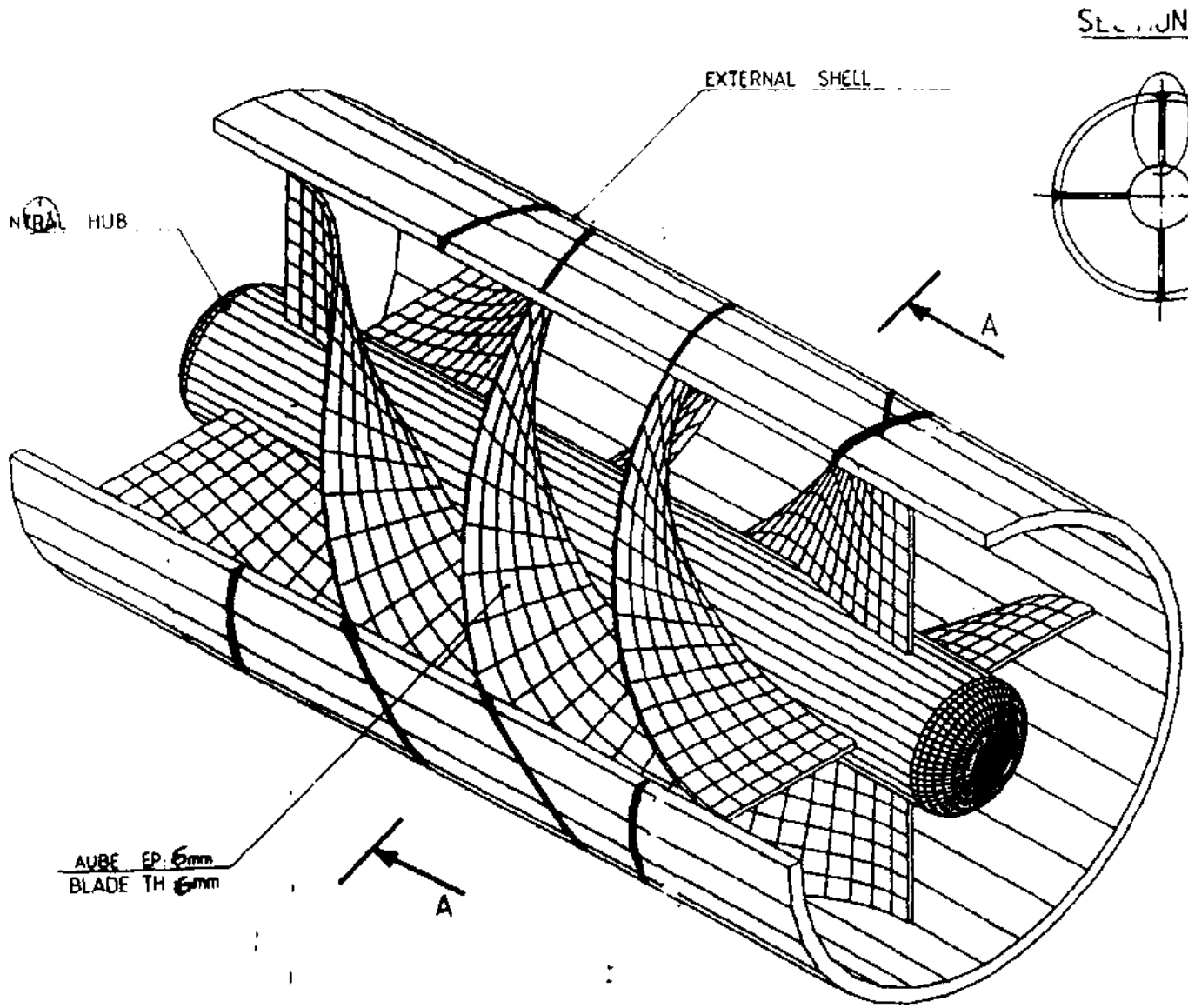
Calcul STAR-CD GV 51 B1 avec étrier – Tracé des isovitesses totales pour t=9.2 s et t=9.3 s



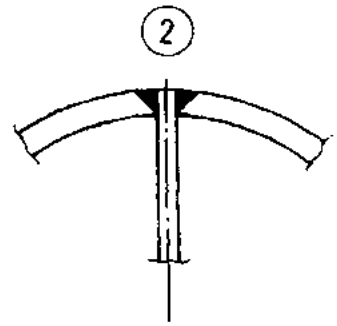
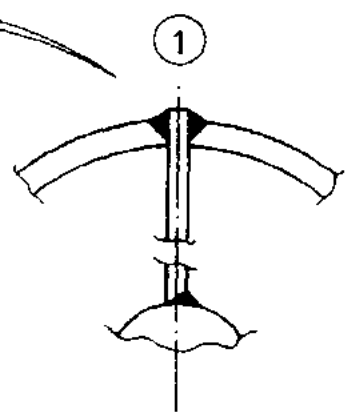
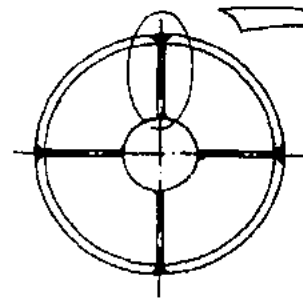


**Calcul STAR-CD GV 51 BI avec étrier – Spectre du moment des efforts
sur l'enveloppe de faisceau**





SECTION A-A



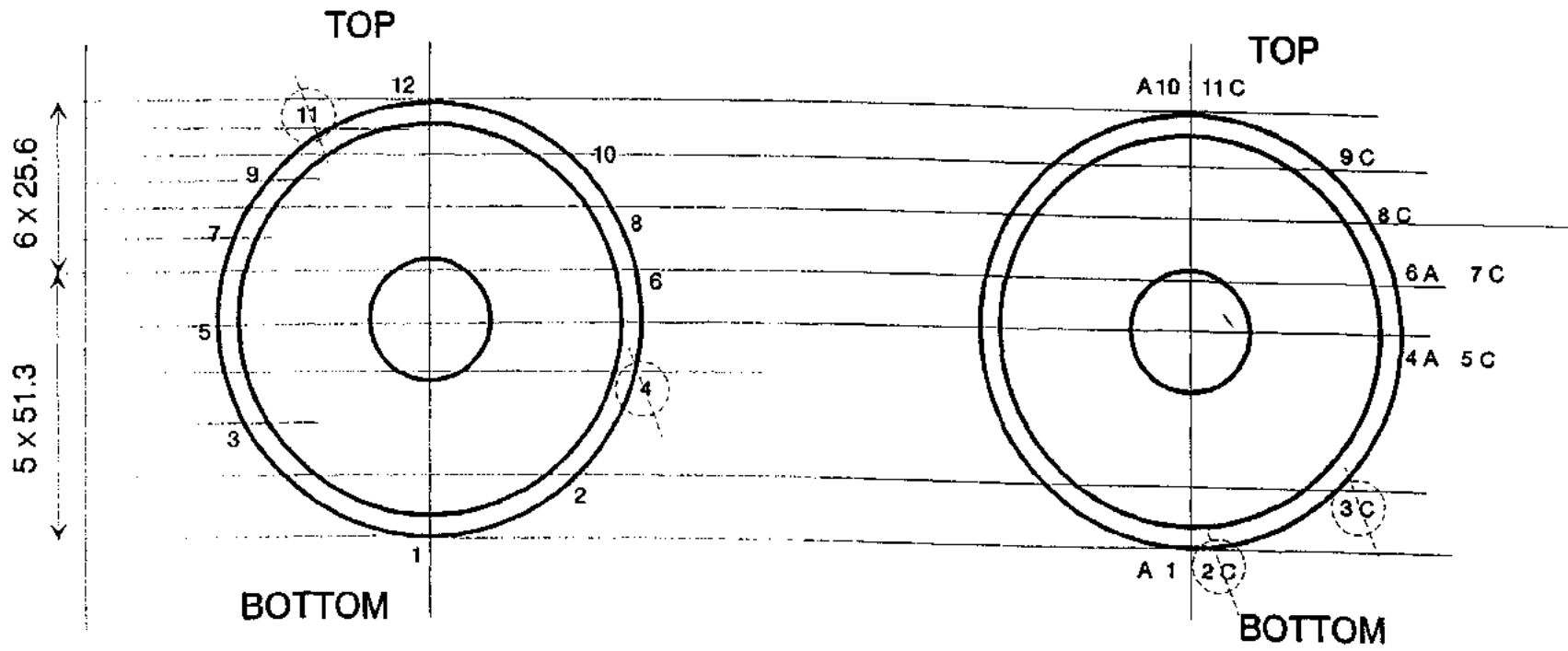
NO OPEN GAP BETWEEN HUB AND BLADES BY THE TOTAL LENGTH OF THE BLADES

MATERIAL: SA 316L
WELDING BY GTAW WITH STAINLESS STEEL WIRE

PRINCIPLE SKETCH FOR INFORMATION ONLY



INSTRUMENTATION - ZONE 1



THERMOCOUPLES LOCATION

STRAIN GAUGES LOCATION

A : AXIAL

C : CIRCUMFERENCIAL

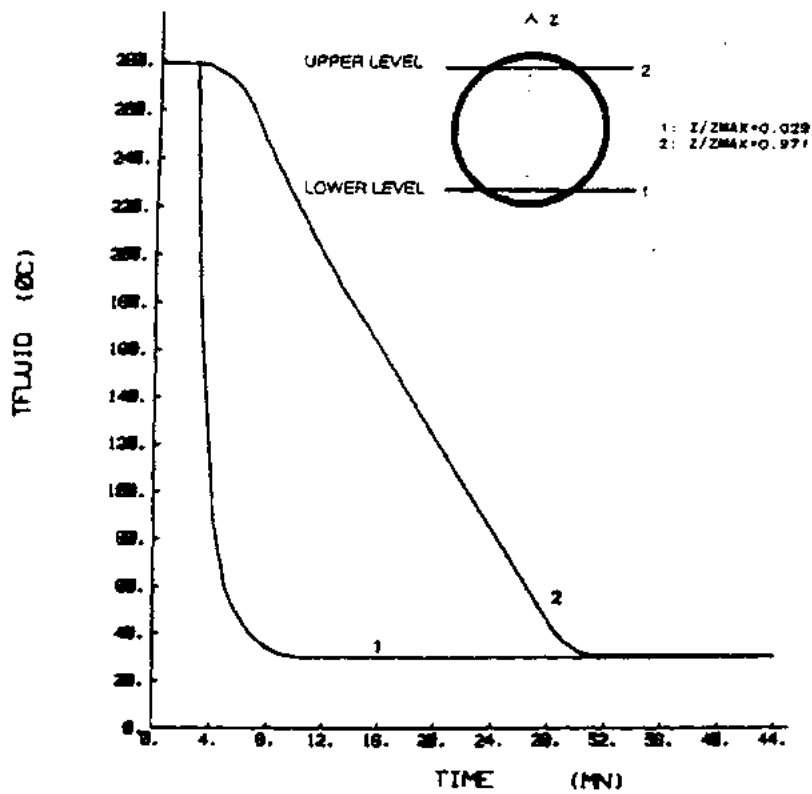


Fig. 11. Operation at 3% rated power with helix.

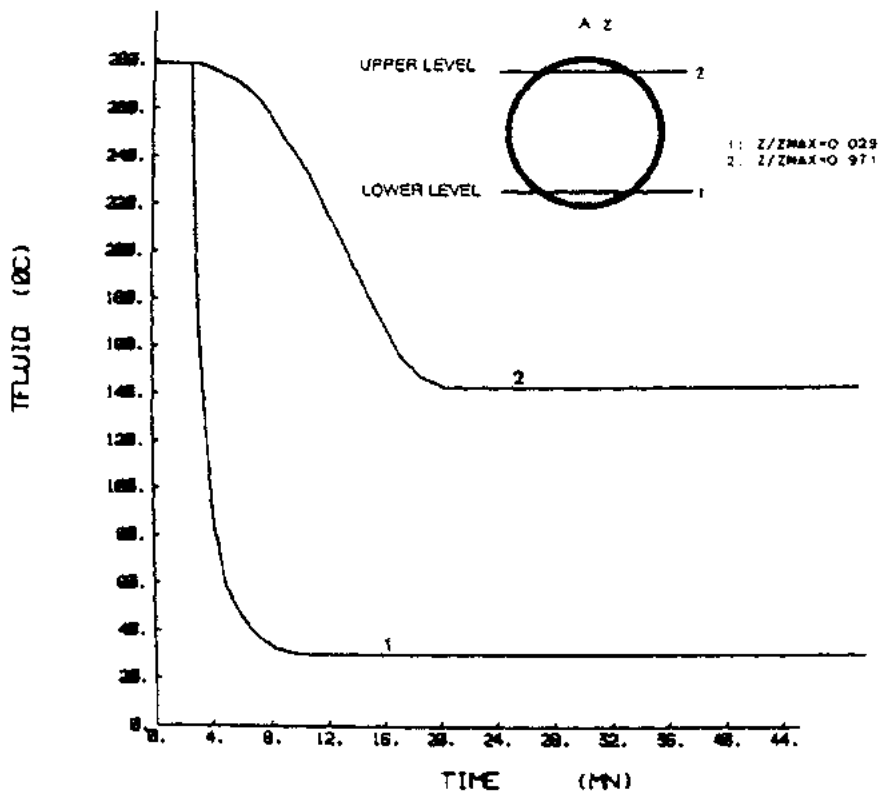


Fig. 12. Operation at 3% rated power without helix.

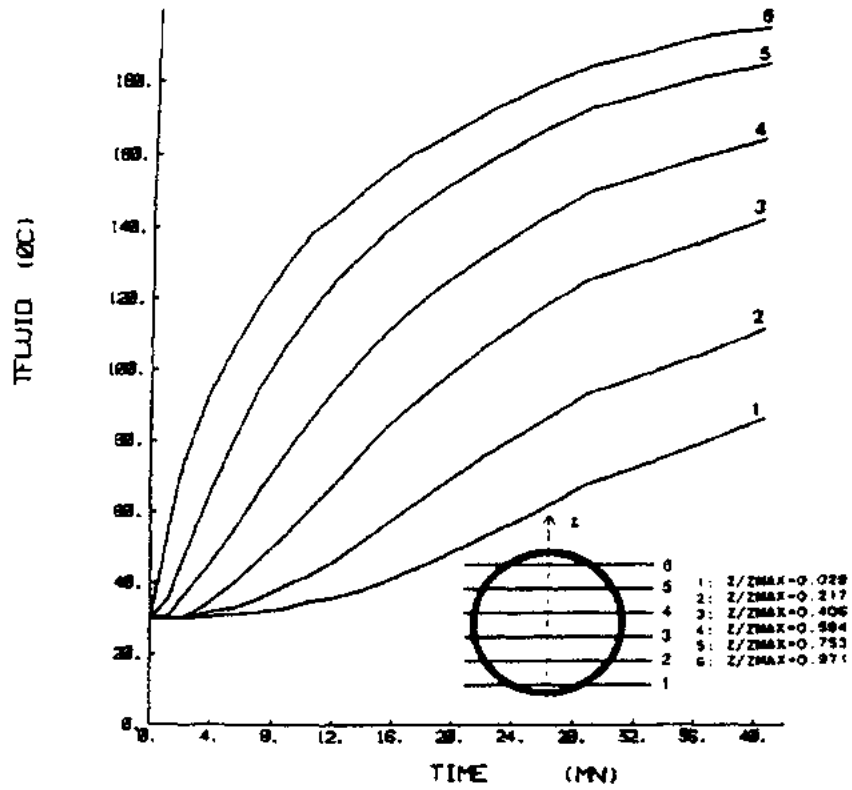


Fig. 13. Zero flow with helix.

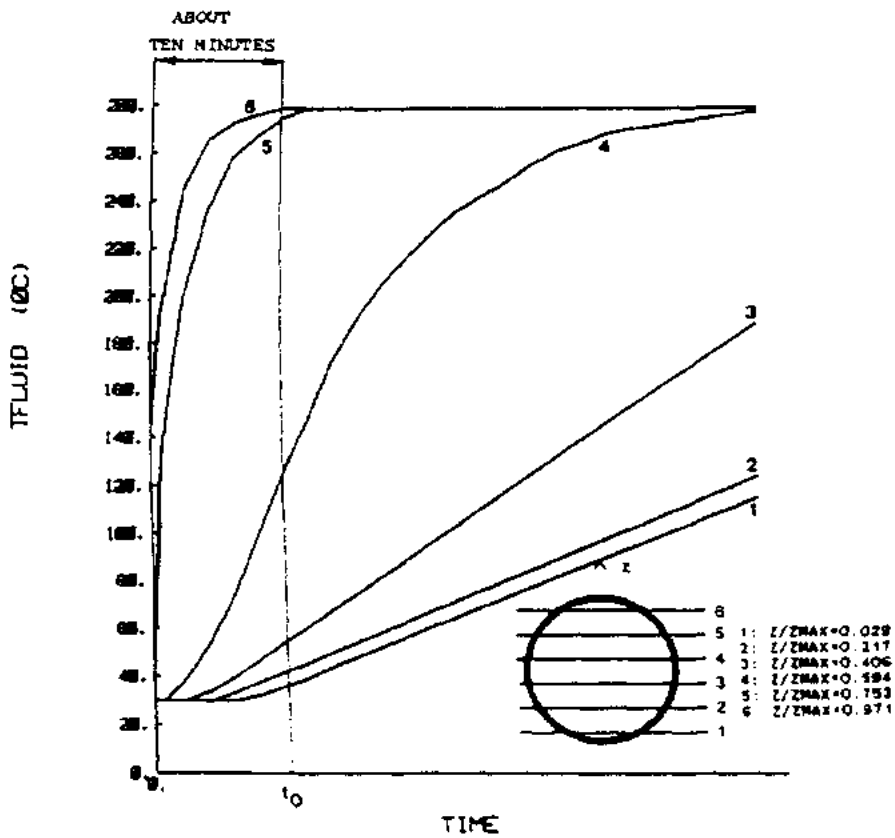
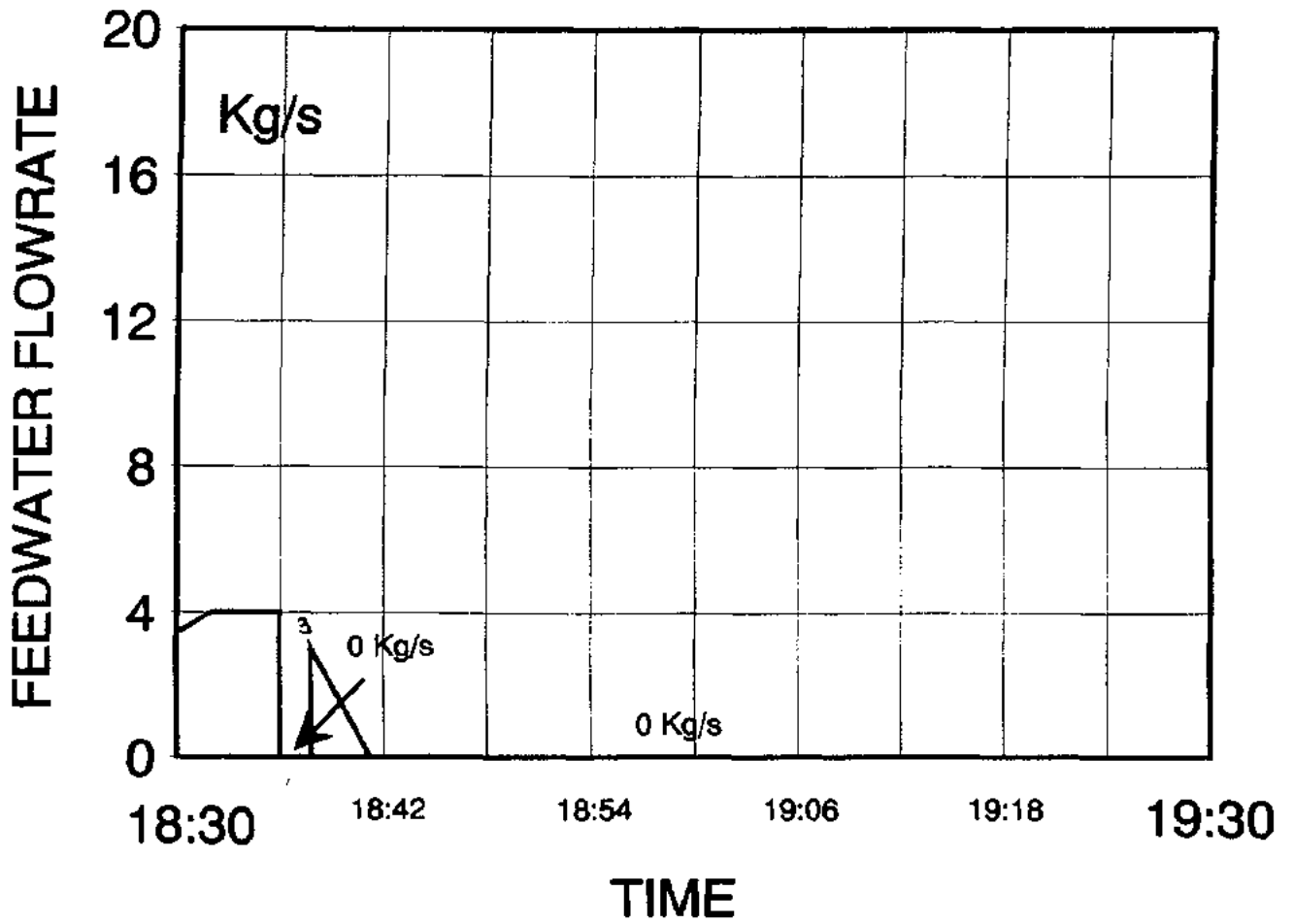


Fig. 14. Zero flow without helix.



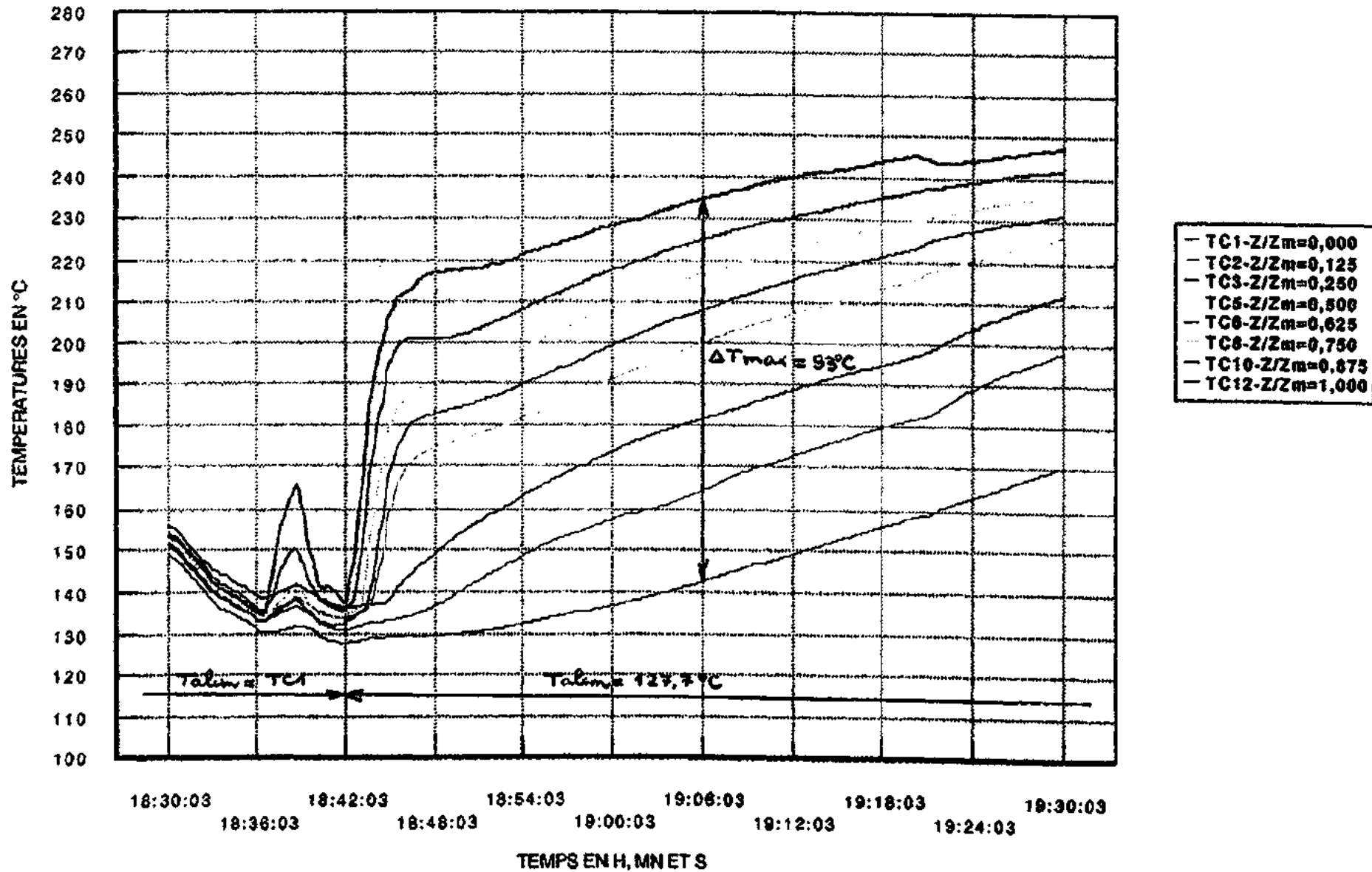
S.G.A - BEZNAU UNIT 1
TEST 2 - JULY 12, 1993



GV "A" DE BEZNAU 1 - ESSAI 2 DU 12/07/93

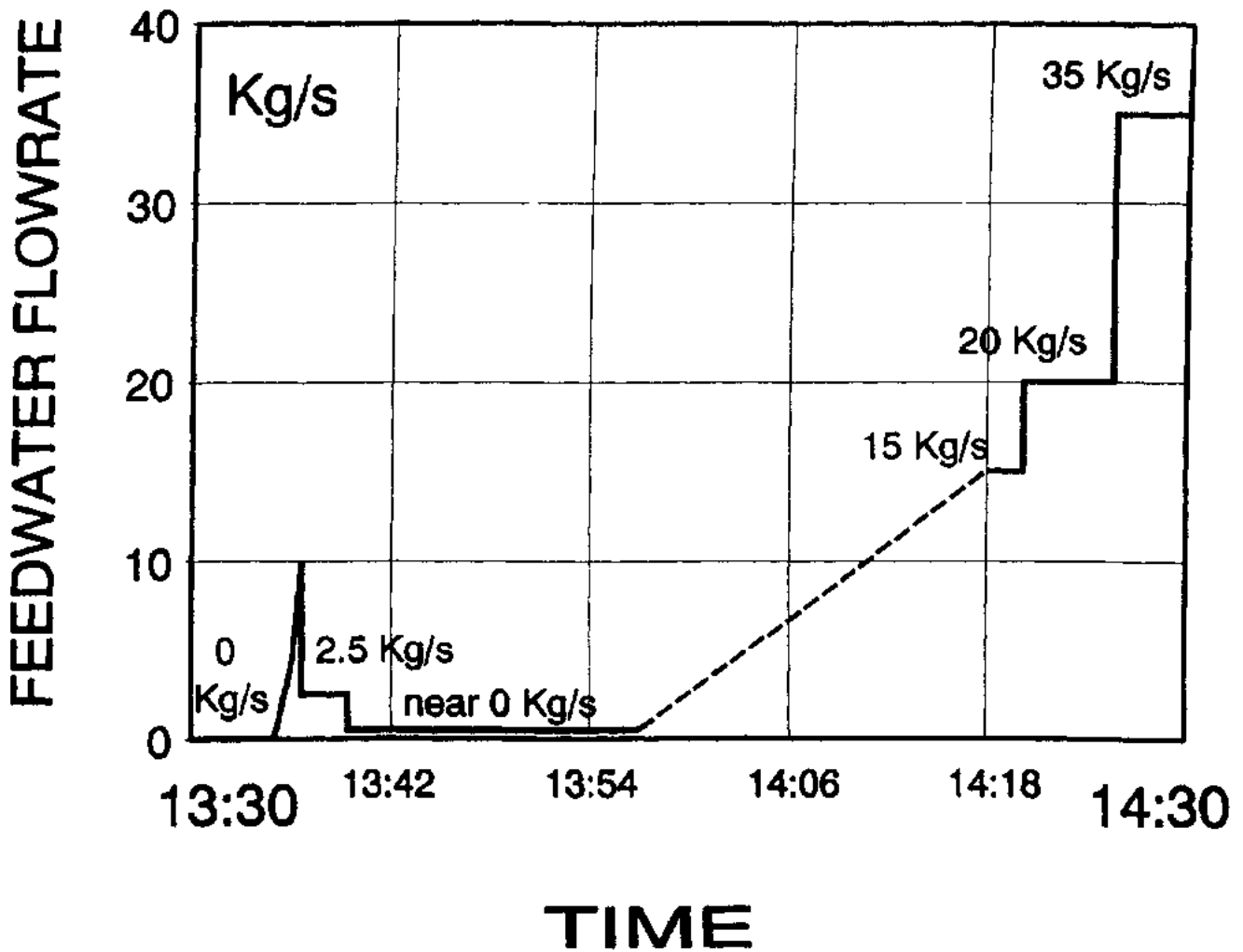


EVOLUTION DES TC 1,2,3,5,6,8,10 ET 12 EN ZONE 1





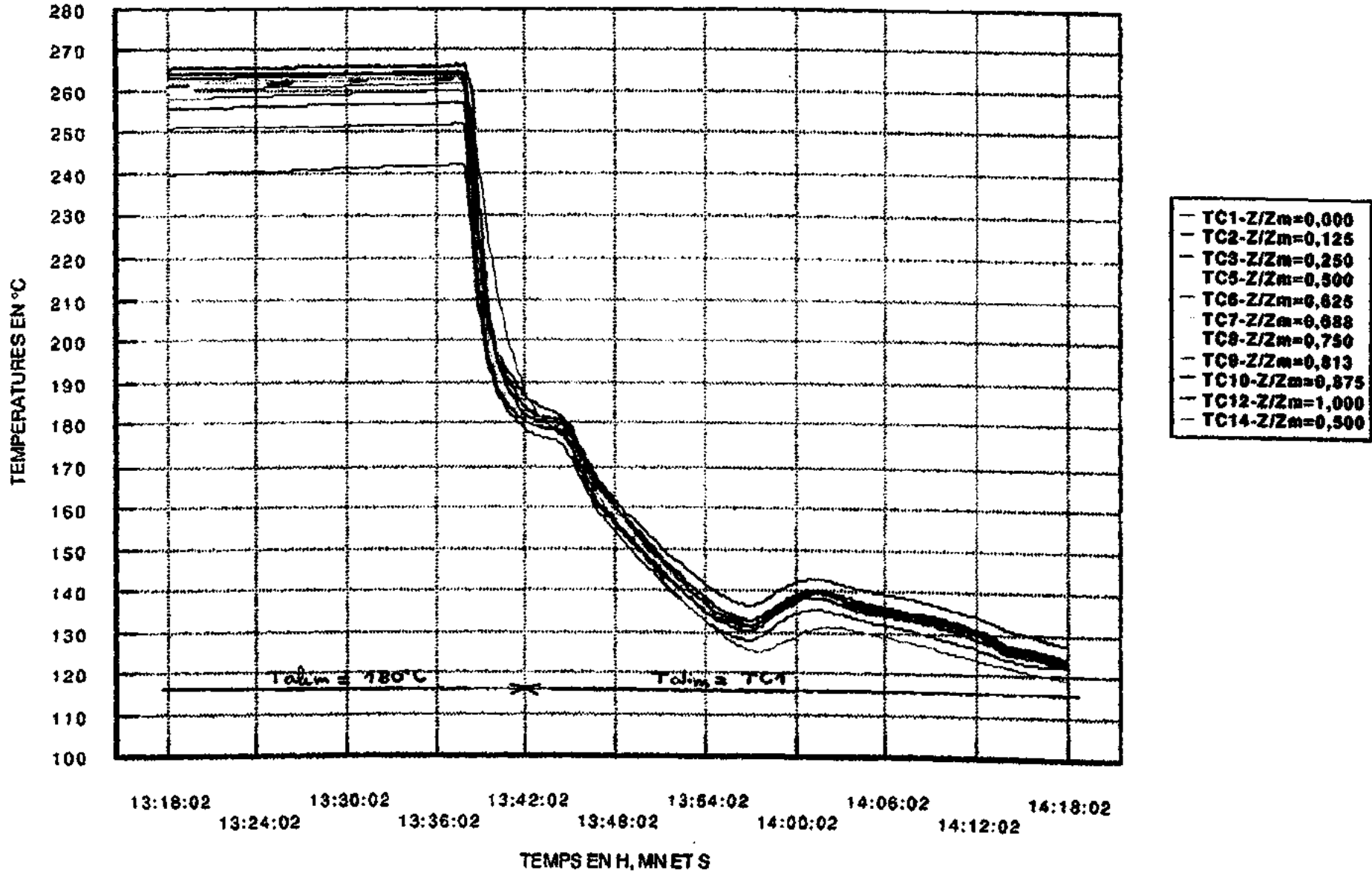
S.G.A - BEZNAU UNIT 1
TEST 4 - JULY 13, 1993



GV "A" DE BEZNAU 1 - ESSAI 4 DU 13/07/93



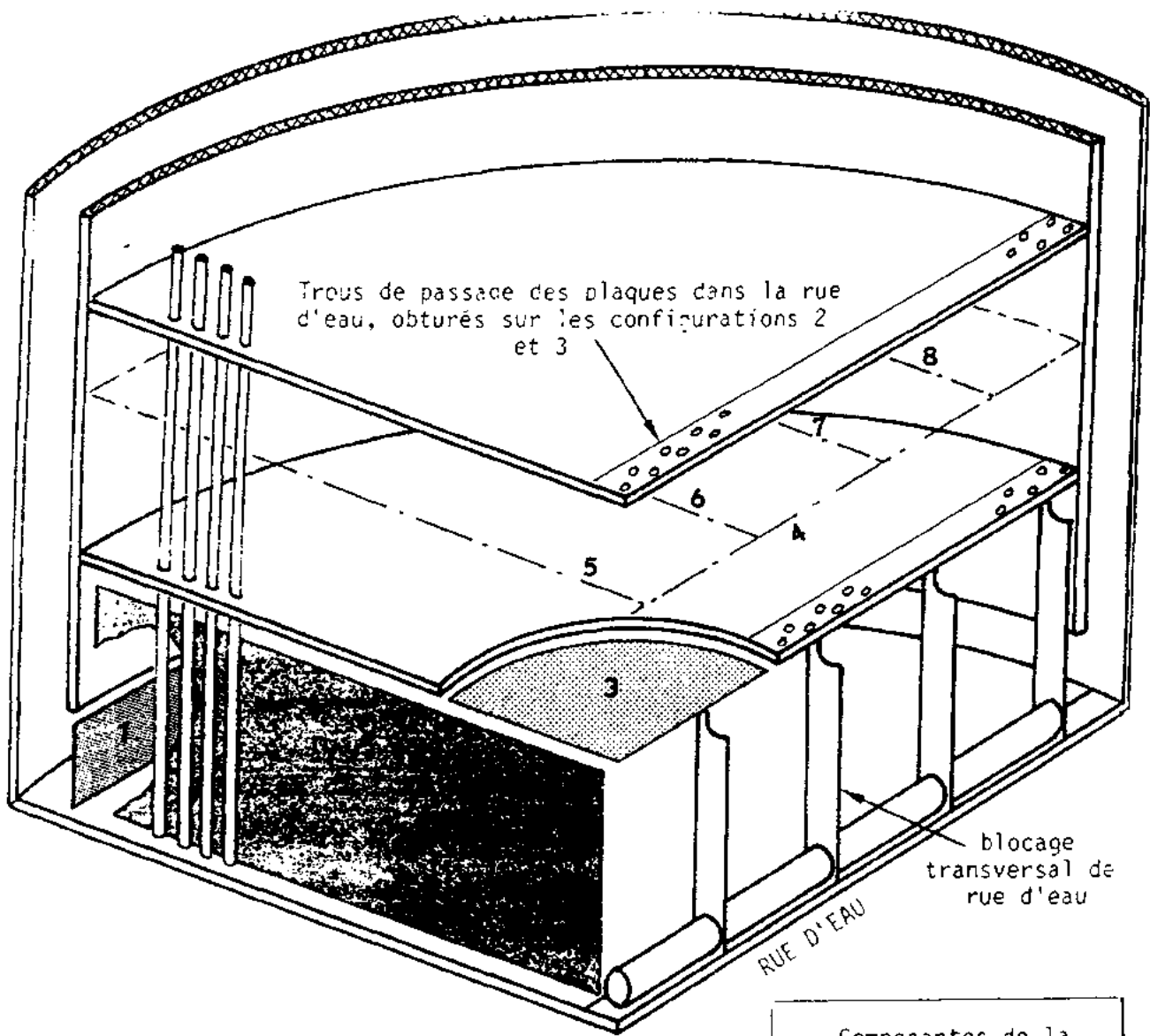
EVOLUTION DES TEMPERATURES EN ZONE 1 ET 2



QUALIFICATION HYDRAULIQUE SUR ESOPE (ESsai OPTimisation Economiseur)

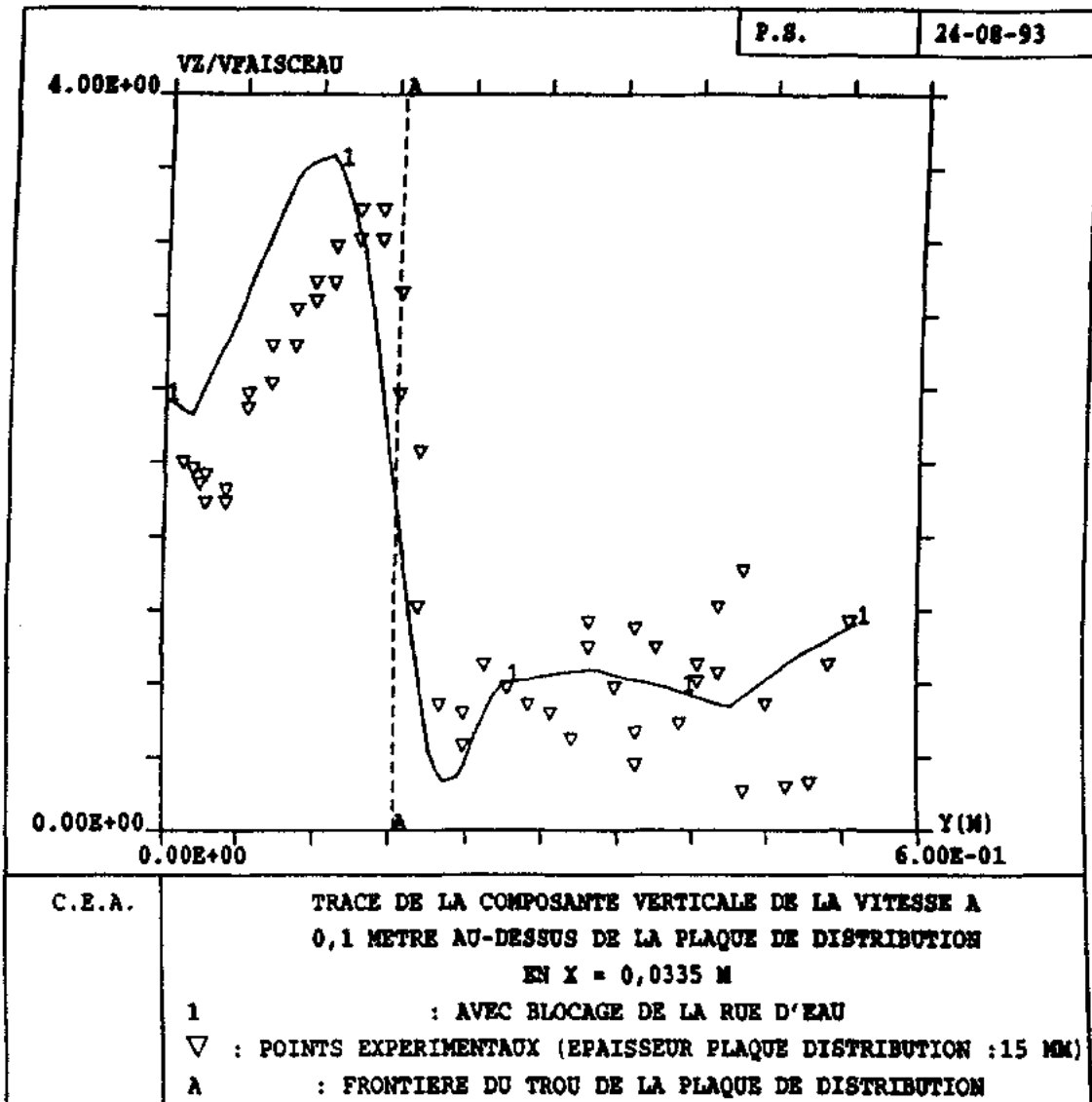
- ◆ Maquette en eau froide de géométrie générale à l'échelle 1/2,9 :
 - . représentation d'un 1/4 de GV de type N4 (880 tubes) de la plaque tubulaire à la 3ème entretoise
 - . conservation
 - du pas réduit = 1,44 (distorsion du \varnothing_t et Pas)
 - des pertes de charges { du faisceau
des plaques

- ◆ Configurations retour d'eau large :
 - . avec obstruction de la rue d'eau
 - . sans obstruction de la rue d'eau



		Composantes de la vitesse mesurées
1	Passage sous jupe	Horizontale et verticale
2	Plan vertical orthogonal à la rue d'eau, compris entre la lère et la 2ème colonne de tubes, entre la plaque tubulaire et la plaque chicane.	verticale
3	Trou central de la plaque chicane	
4	Profil dans la rue d'eau	
5	à mi-distance entre la plaque chicane et la lère plaque entretoise	
6	Profils perpendiculaires à la rue d'eau	
7		
8		

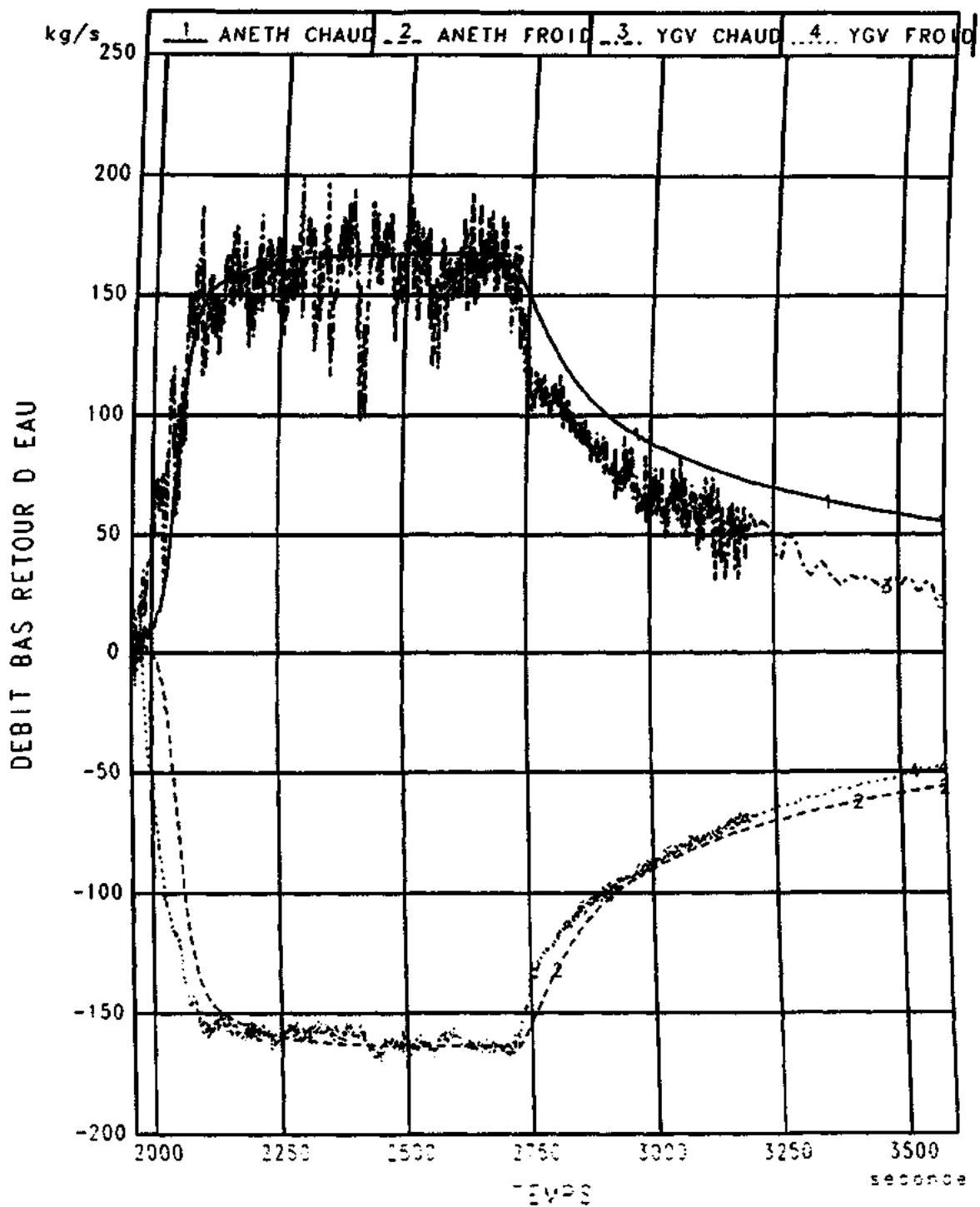
ZONES DE LA MAQUETTE EXPLORÉES PAR ANÉMOMETRIE LASER





GV 73/19 TE - COMPARAISON RESULTATS ANETH-YGV

TRANSITOIRE 18 : INJECTION ASG 60 M3/H EN ARRET A CHAUD



Le 26 JANVIER 1999 A 16 Heures 30

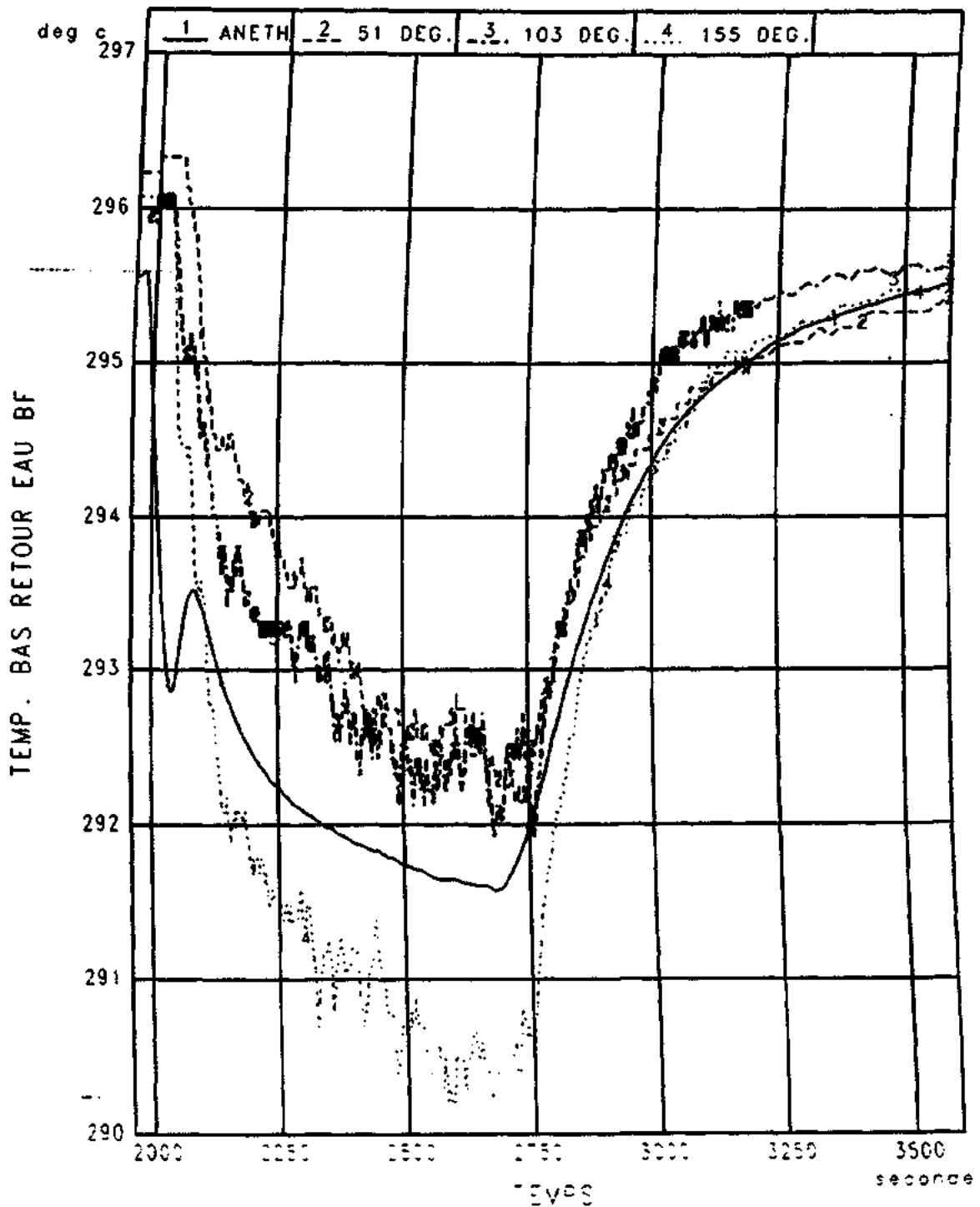
EMPLC REVISION. 1 / *

DEBIT BAS RETOUR D EAU



GV 73/19 TE - COMPARAISON RESULTATS ANETH-YGV

TRANSITOIRE 18 : INJECTION ASG 60 M3/H EN ARRET A CHAUD



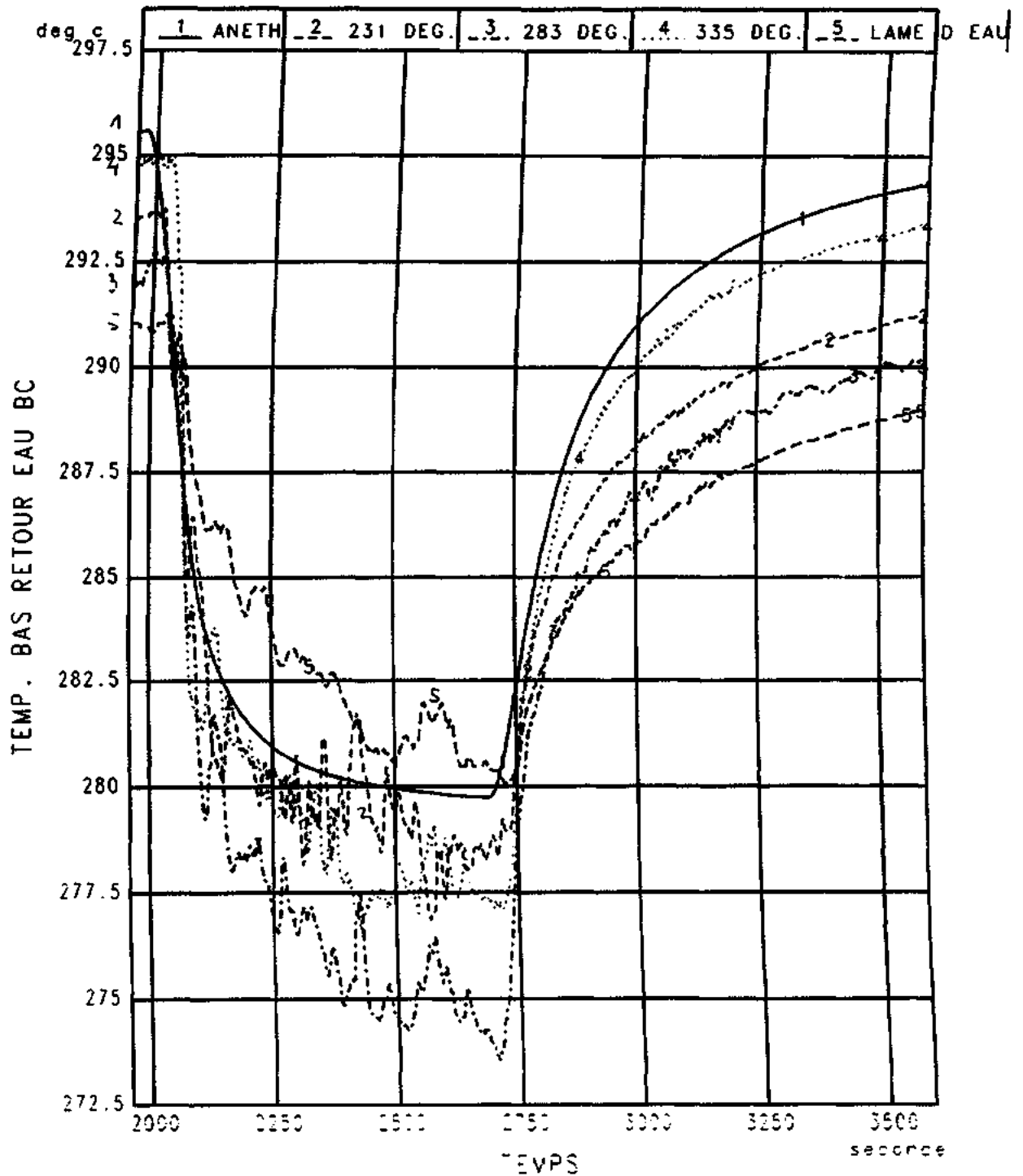
Le 26 JANVIER 1999 A 16 Heures 29

KIMPLI Revision 1.1

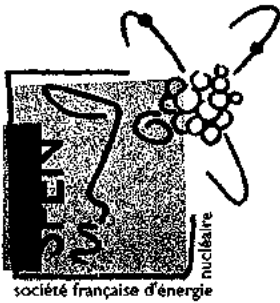


GV 73/19 TE - COMPARAISON RESULTATS ANETH-YGV

TRANSITOIRE 18 : INJECTION ASG 60 M3/H EN ARRET A CHAUD



KIRPLI Revision. 1 / * Le 26 JANVIER 1999 A 16 Heures 29



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

3

L'HYDRAULIQUE DES GENERATEURS DE VAPEUR

3.2 Les écoulements dans les faisceau

J. Garnier (CEA/SMET)

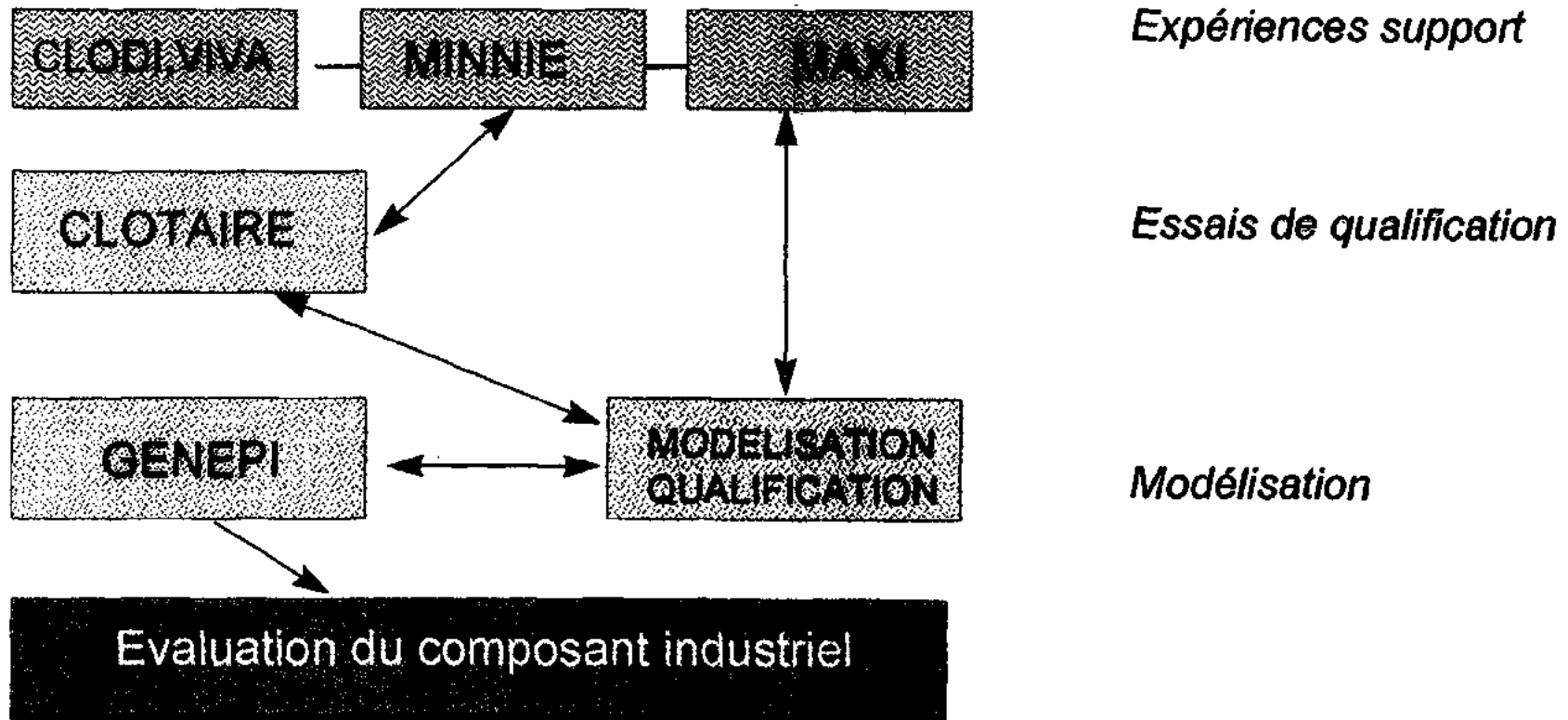
L'HYDRAULIQUE DES GENERATEURS DE VAPEUR:

les écoulements dans les faisceaux

J. GARNIER

CEA/DRN/DTP/SMET/LETA

SCHEMA METHODOLOGIQUE



LES PROGRAMMES EXPERIMENTAUX

CLOTAIRE

Expérience en Fréon globale avec mesures locales

MINNIE-MAXI

Expériences analytiques en faisceau en Fréon
Hydraulique et thermohydraulique

CLODI

Expérience analytique en faisceau en Fréon
Interaction fluide structure

VIVA

Expérience analytique en faisceau en eau/vapeur
Interaction fluide structure

SIMULATION DES G.V., PARAMETRES PHYSIQUES :

		EAU-VAPEUR		FREON 114		EAU-AIR	
		Liquide	Vapeur	Liquide	Vapeur	Liquide	Gaz
P_{sat}	bar	72		9		1	
T_{sat}	°C	288		78		20	
ρ	kg/m ³	736	38	1269	65	958	1.3
ρ_l/ρ_v		19.53		19.53		737	
Δ	kJ/kg	1493		103		-	
σ	N/m	17.25 10 ⁻³		5.87 10 ⁻³		72 10 ⁻³	
a	m	1.4 10 ⁻³		0.7 10 ⁻³		2.7 10 ⁻³	
μ	$P_1 = \text{kg/m.s}$	92 10 ⁻⁶	19.6 10 ⁻⁶	205 10 ⁻⁶	14 10 ⁻⁶	1000 10 ⁻⁶	18 10 ⁻⁶
ν	m ² /s	0.12 10 ⁻⁶	0.51 10 ⁻⁶	0.16 10 ⁻⁶	0.21 10 ⁻⁶	1 10 ⁻⁶	15 10 ⁻⁶
C_p	kJ/kg.°K	5446	5132	1139	852	4182	1006
λ	W/m.°K	0.566	0.066	0.0502	0.0142	0.597	0.0262
α	m ² /s	0.14 10 ⁻⁶	0.34 10 ⁻⁶	0.035 10 ⁻⁶	0.26 10 ⁻⁶	0.14 10 ⁻⁶	22.2 10 ⁻⁶
P_r		0.86	1.5	4.6	0.8	7.1	0.67

SIMILITUDE HYDRAULIQUE FREON POUR LES MAQUETTES G.V. :

$$\frac{\partial p v}{\partial t} + \text{div}(\rho v \cdot v) = \rho g - \text{grad } p + \text{div}(\mu \text{ grad } v)$$

$$\text{condition limite en surface libre : } \partial f = \sigma \cdot \partial x$$

$$\frac{\rho V^2}{L} \left[\frac{\partial v^*}{\partial \frac{L}{V} t} + \text{div}(v^* \cdot v^*) = \frac{gL}{V^2} - \text{grad} \frac{p}{\rho V^2} + \text{div} \left(\frac{\mu}{\rho V L} \text{ grad } v^* \right) \right]$$

$$\frac{\rho V^2}{L} \left[\frac{\partial f^*}{\partial \Omega^*} = \frac{\sigma}{\rho V^2 L} \frac{\partial x^*}{\partial \Omega^*} \right]$$

et en conséquence :

$$\begin{cases} t^* = \frac{L}{V} t \\ p^* = \frac{p}{\rho V^2} \end{cases}$$

En écoulement diphasique, pour chacune des phases : $K = L, G$:

$$\frac{\partial v_K^*}{\partial t_K^*} + \text{div}(v_K^* \cdot v_K^*) = \frac{1}{F_K} - \text{grad } p_K^* + \text{div} \left(\frac{1}{R_{\sigma K}} \text{ grad } v_K^* \right)$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial \Omega} \right)_K^* = \frac{1}{W_K} \left(\frac{\partial x}{\partial \Omega} \right)_K^*$$

La réalisation expérimentale est unique, et la classe de similitude est identique, pour $K = L, G$:

$$L_G = L_L, \quad t_L = t_G, \quad \text{et donc :} \quad t_L^* = t_G^* \Rightarrow V_G = V_L = V$$

$$\text{La pression est commune, et donc} \quad p_L^* = p_G^* \Rightarrow \frac{\rho_G}{\rho_L} = \text{Cte}$$

Nombres à respecter :

$$\begin{aligned} \hat{\rho} &= \frac{\rho_L}{\rho_G} \\ W_{\sigma L} &= \frac{\rho_L V^2 L}{\sigma}, \quad W_{\sigma G} = \frac{\rho_G V^2 L}{\sigma} \\ F_r &= \frac{V^2}{gL} \\ R_{\sigma L} &= \frac{VL}{\nu_L}, \quad R_{\sigma G} = \frac{VL}{\nu_G} \end{aligned}$$

SIMILITUDE HYDRAULIQUE FREON POUR LES MAQUETTES G.V. :

$$F_r = \frac{V^2}{Lg}$$

$$W_e = \frac{\rho V^2 L}{\sigma}$$

$$\bar{F}_r = \frac{\bar{V}^2}{\bar{L}} = 1$$

$$\bar{W}_e = \frac{\rho \bar{V}^2 \bar{L}}{\sigma} = 1$$

inconnues : \bar{V} , \bar{L}

données : $\bar{\rho}$, $\bar{\sigma}$

$$\bar{L} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{L}}$$

Cas "MERCEDES" :

Simulation en Freon 114 à 9 bar , pour de l'Eau-Vapeur à 72 bar :

$$\bar{\sigma} = \frac{587 \cdot 10^{-3}}{1725 \cdot 10^{-3}} = 0.34$$

$$\bar{\rho} = \frac{1268}{736} = \frac{654}{38} = 1.72$$

$$\bar{L} = 0.444$$

$$\bar{V} = 0.666$$

$$\bar{G} = \rho \bar{V} = 1.14$$

Cas "CLOTAIRE" :

Pour des raisons technologiques on distord la géométrie : $\bar{L} = 0.7$.

1) Similitude exacte en F_r , distorsion portée sur W_e :

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{L}} = 0.8366$$

$$\bar{G} = 1.439$$

$$\bar{W}_e = 2.47$$

soit :

G en faisceau longitudinal (Kg/m ² .s)	
G.V. 68/19	Cloaire
392	564
TR158	641

(effets de bords et rue d'eau)

2) Similitude exacte en W_e , distorsion portée sur F_r

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho L}} = 0.531$$

$$\bar{G} = 0.91$$

$$\bar{F}_r = 0.40$$

soit :

G en faisceau longitudinal (Kg/m ² .s)	
G.V. 68/19	Cloaire
392	357

LE PROGRAMME CLOTAIRE

OBJECTIFS

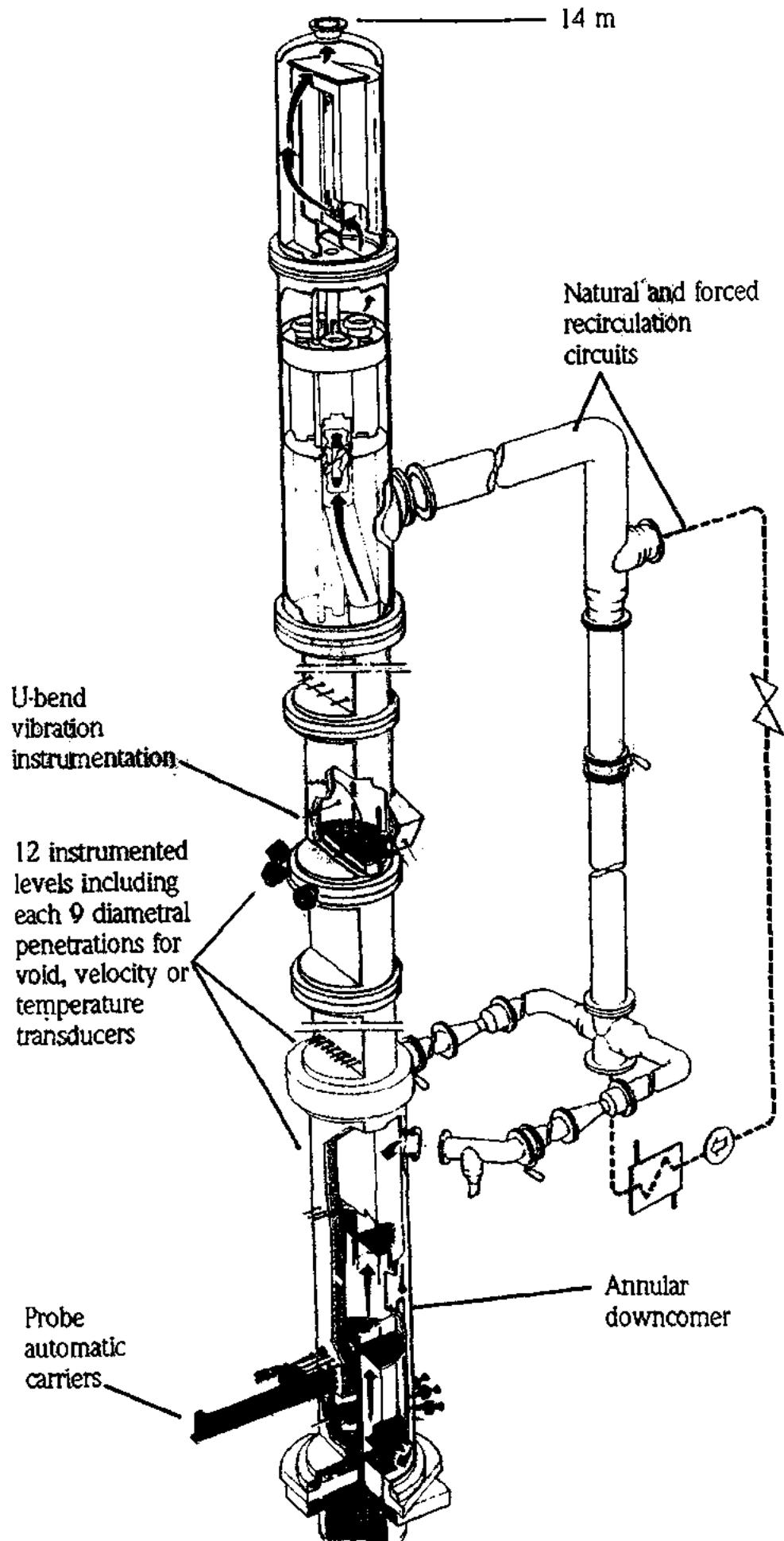
- Thermohydraulique locale
- Qualification des outils de calcul

INTERETS

- Règles de conception
- Diagnostic des R.T.G.V.
- Amélioration du concept

COLLABORATIONS

- EDF-FRAMATOME
- Internationale



MESURES DE VITESSES DANS CLOTAIRE

Technique instrumentale:

2 Films	L=1.2 mm	Φ 70 μm
1 film avec surchauffe		\longrightarrow V
1 film "froid"		\longrightarrow T

Etalonnage sur Minnie 1

$$V_m = V_a (\cos^2 \theta + k^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 0.2$$

MESURES DE VITESSES DANS CLOTAIRE

Procédures d'essais

2 Mesures verticale → Vv
 horizontale → Vh

Traitement

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{V_h^2 + k^2 V_v^2}{V_v^2 - k^2 V_h^2}\right)$$

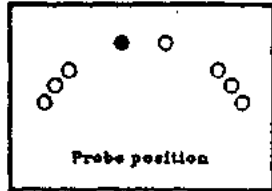
$$V = \frac{V_h}{\cos^2 \theta + k^2 \sin^2 \theta}$$

Incertitude

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.034$$

CLOTAIRE PROGRAM

Liquid Velocity Vectors - Level 13 -



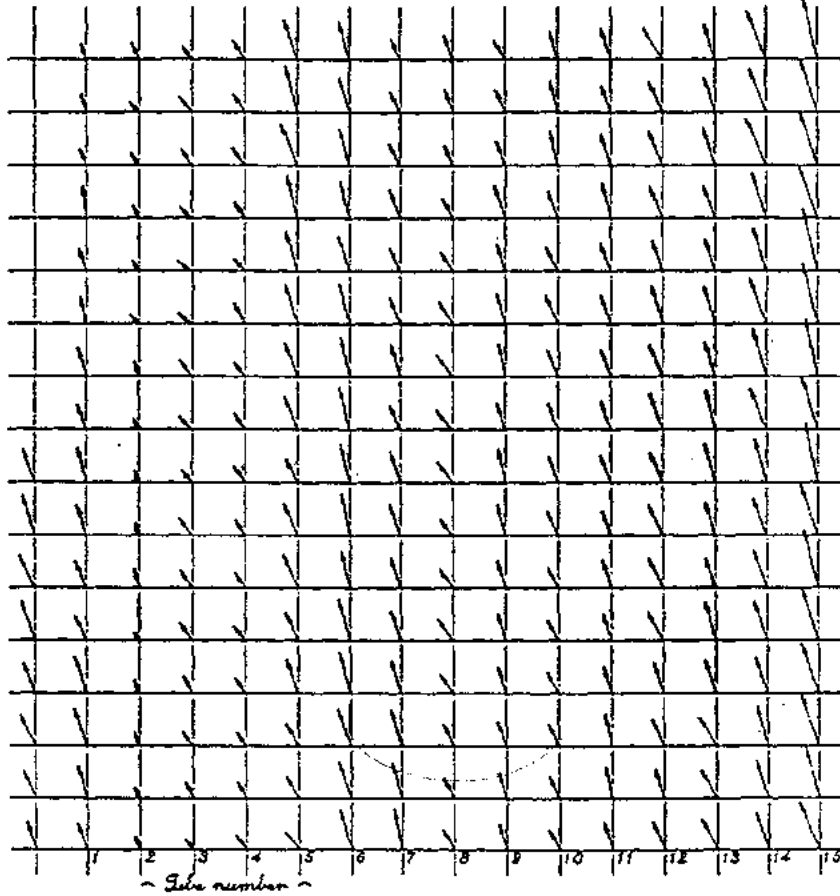
32316/08-01/12-06-89 for Vertical vel.

32317/08-01/12-06-89 for Horiz. -

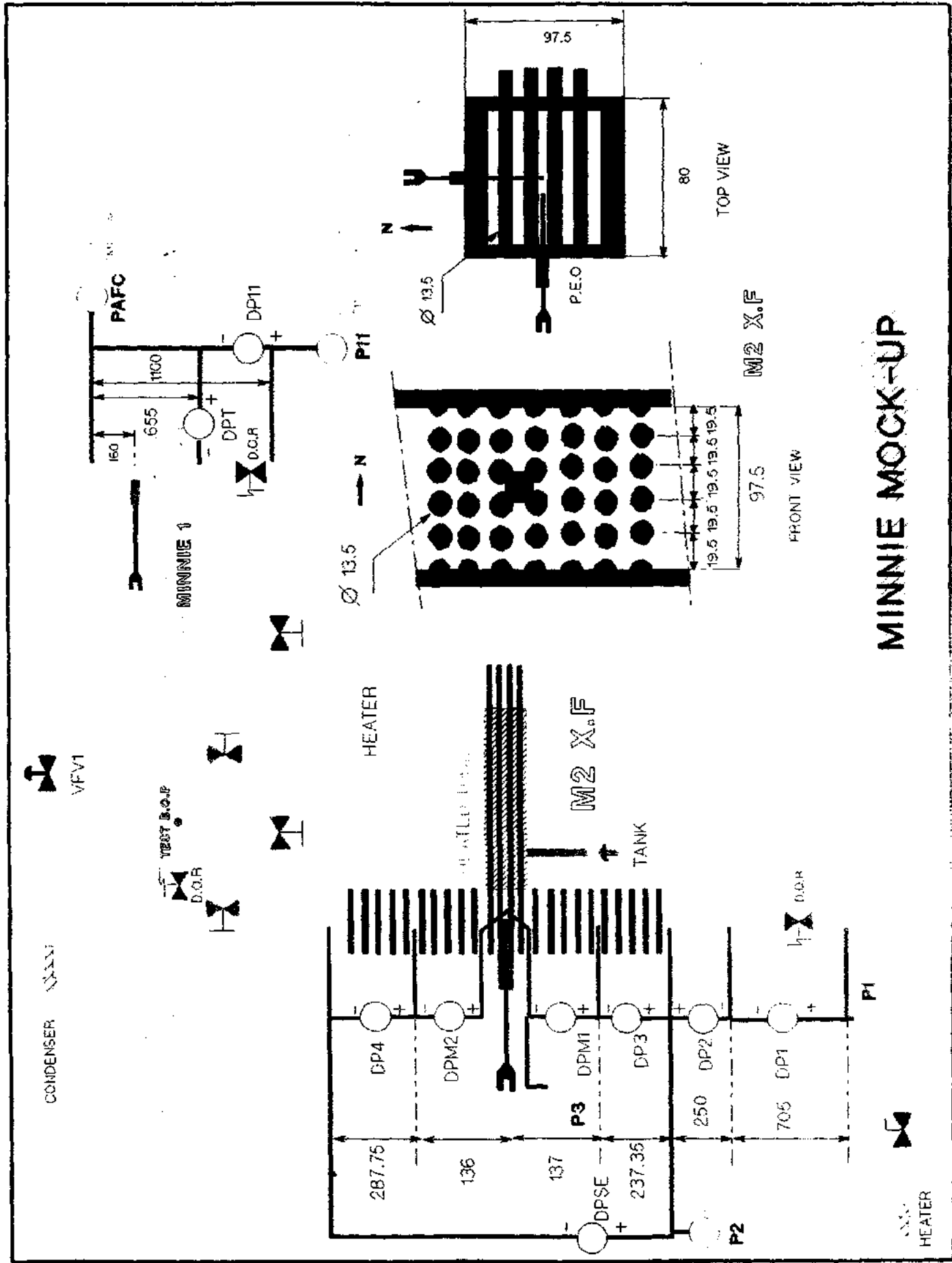
Stat flow = 175 Kg/s

Temperature = 30. deg.C

Scale : 1 grid step = 1 m/s




CLOTAIRE INTERNATIONAL PROGRAM

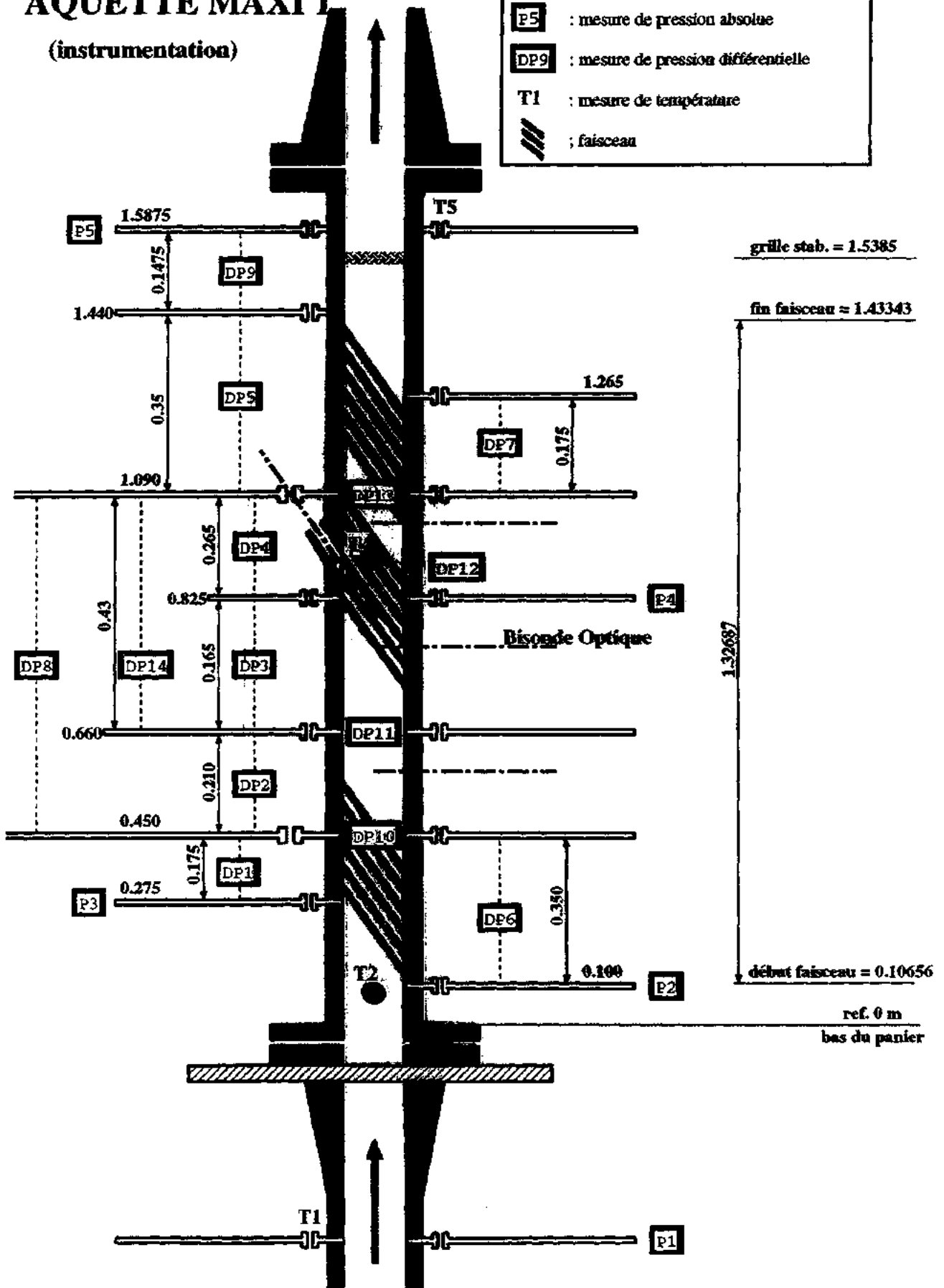


MINNIE MOCK-UP

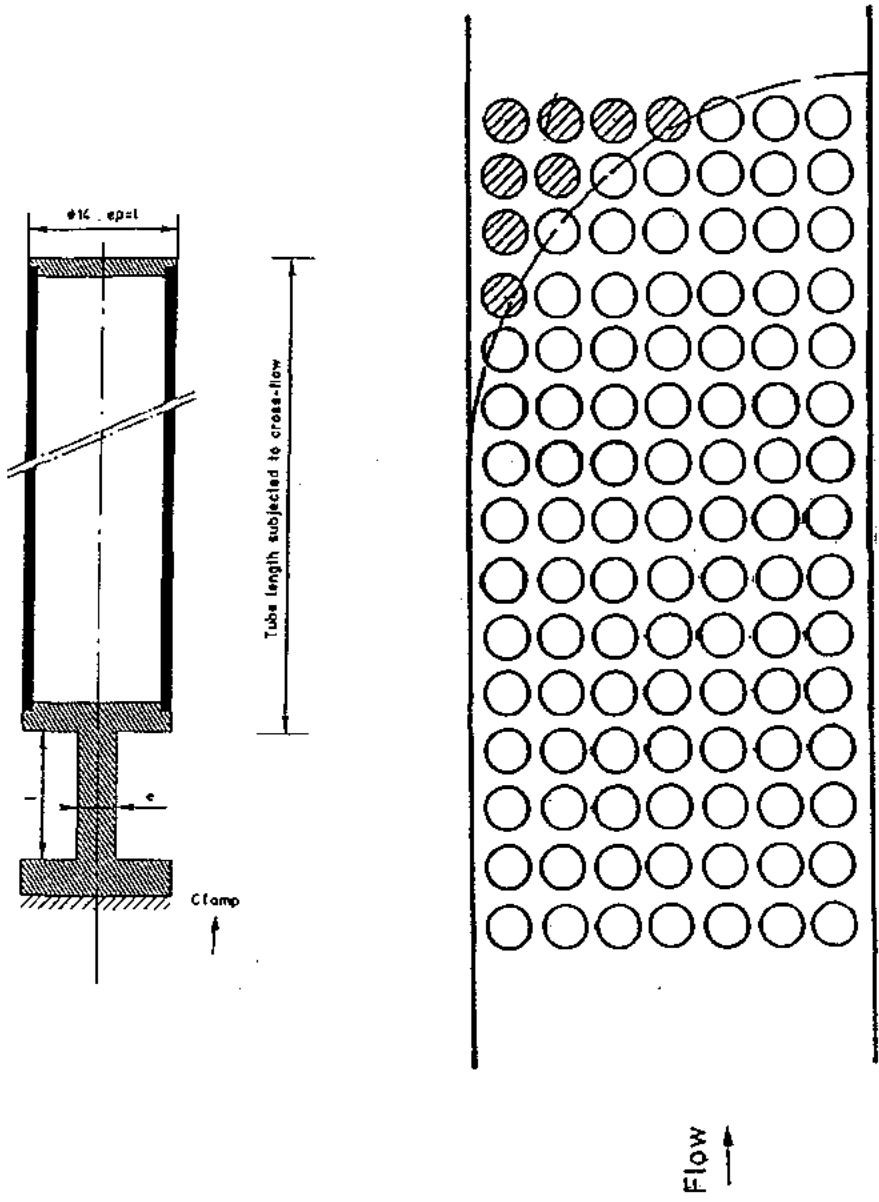
AQUETTE MAXI 1

(instrumentation)

P5	: mesure de pression absolue
DP9	: mesure de pression différentielle
T1	: mesure de température
	: faisceau



**CLODI
EXPERIMENTS**



TUBE BUNDLE
(7 x 15 rows)

Page 3

01/04/81

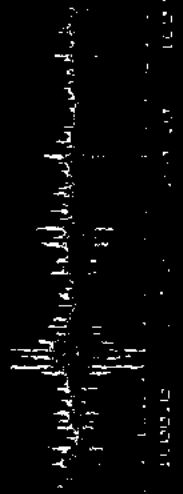
ESSAIS CLODI Campagne : 1 Essai : 30 EN COU

Village de : 4096 Rafales DT-VOIE : .082

Nombre de vidages : 157 1. H 57. Mn 4

1	TEBF 10	- .261	(mm)	.831
2	TEBF 11	- .213	(mm)	.656
3	TEBF 12	- .249	(mm)	.776
4	TEBF 13	- .185	(mm)	.571
5	TEBF 14	- .115	(mm)	.606
6	TEBF 15	- .157	(mm)	.791

Page 2



Page 1

LES OBJECTIFS DE LA PERIODE RECENTE

⇒ *SYNTHESE DES BESOINS*

Groupe d'analyse (CT5) 1997

Thermohydraulique à fort taux de vide dans le chignon

Interaction fluide/structure diphasique



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

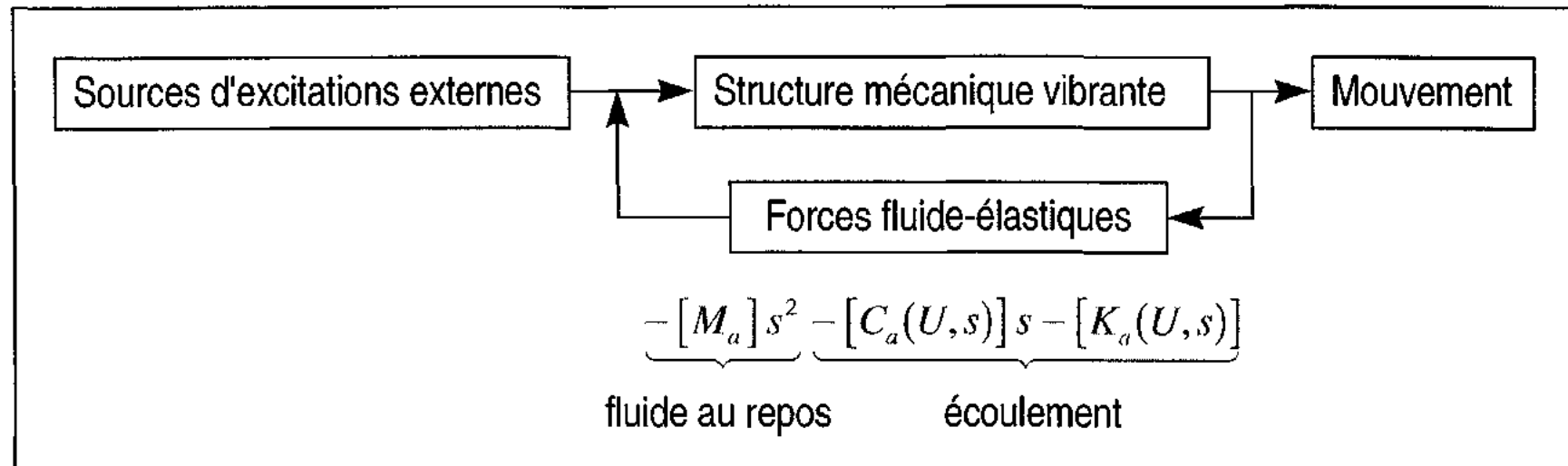
3

L'HYDRAULIQUE DES GENERATEURS DE VAPEUR

**3.3 Couplage écoulement-structure entre le retour d'eau
et l'enveloppe de faisceau**

A. Gosse (EDF/DER)

COUPLAGE ECOULEMENT-STRUCTURE ENTRE LE RETOUR D'EAU ET L'ENVELOPPE DE FAISCEAU : PRINCIPE

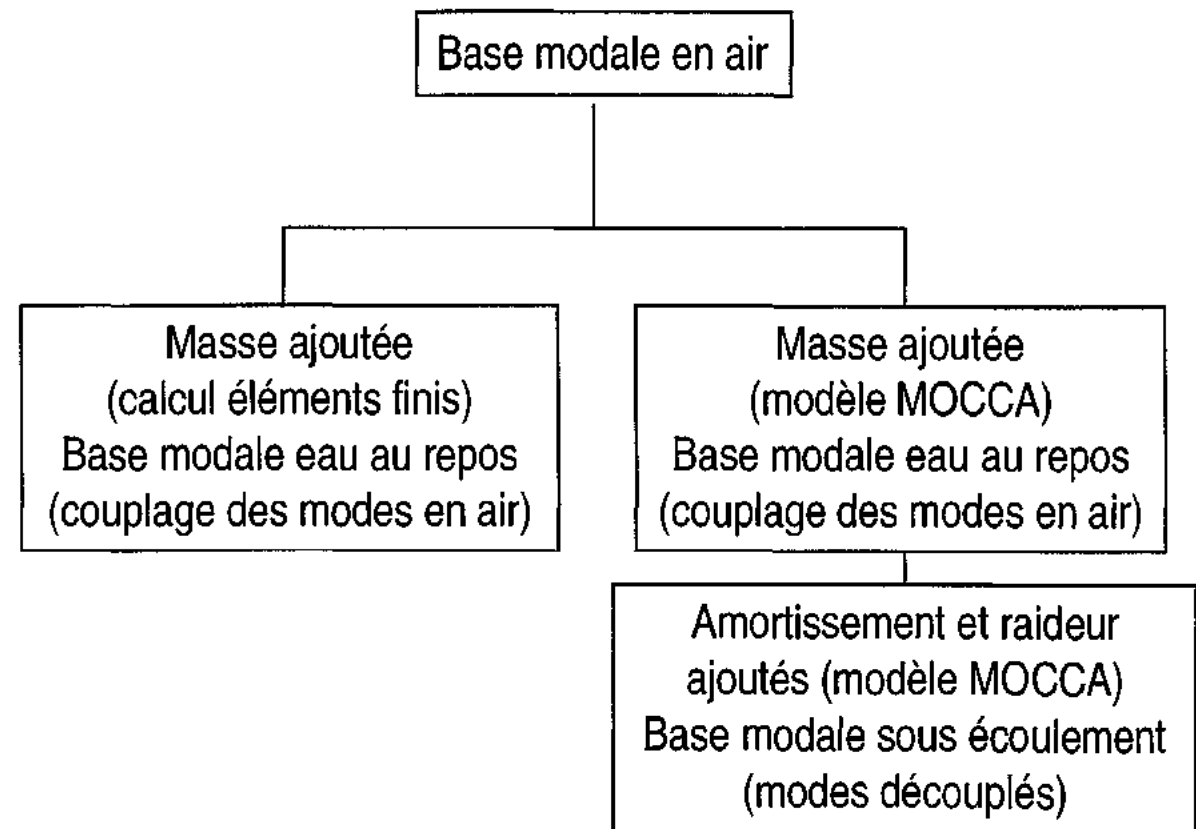


- Les forces fluide-élastiques ne rendent pas compte des sources d'excitations fluides (turbulence, détachements tourbillonnaires, ...)
- En fluide au repos ou sous écoulement, les forces fluide-élastiques modifient les caractéristiques vibratoires de la structure mécanique (fréquences propres, amortissements réduits, déformées modales)

COUPLAGE ECOULEMENT-STRUCTURE ENTRE LE RETOUR D'EAU ET L'ENVELOPPE DE FAISCEAU : DEMARCHE DE CALCUL

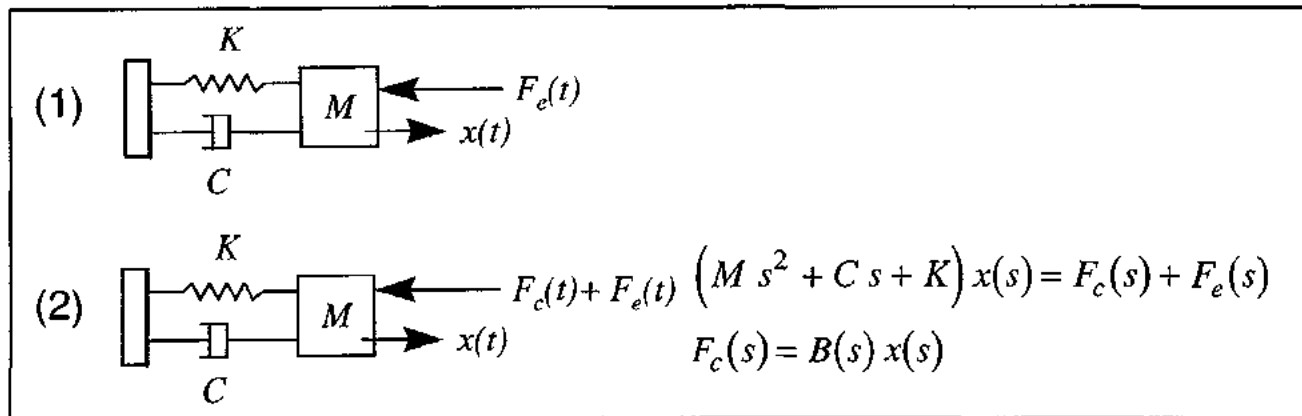
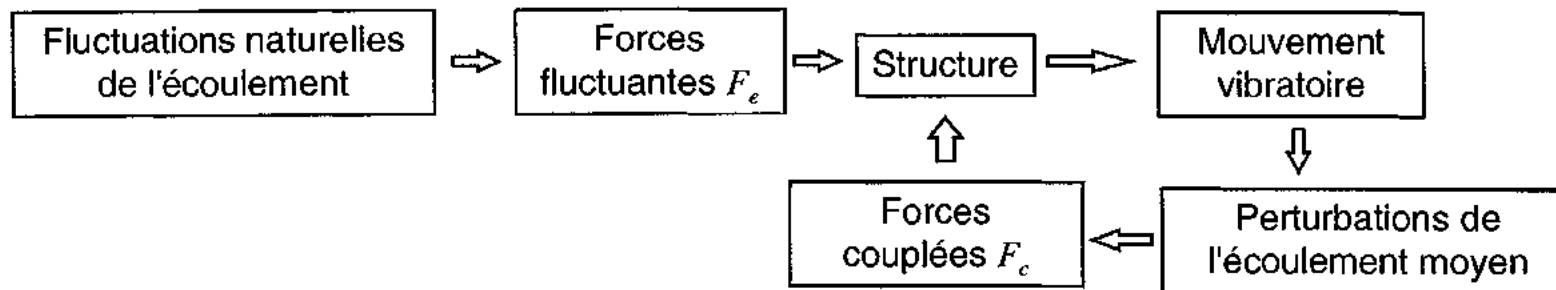
Modélisation mécanique
de l'enveloppe de faisceau

Couplage fluide-structure



COUPLAGE FLUIDE-STRUCTURE

Principe



⇒ Modification des caractéristiques modales de la structure (fréquence, amortissement) sous l'influence de l'écoulement

réponse libre du système

$$x(t) = X e^{s_0 t}$$

$$s_0 = -\xi_0 \omega_0 + j \omega_0 \sqrt{1 - \xi_0^2}$$

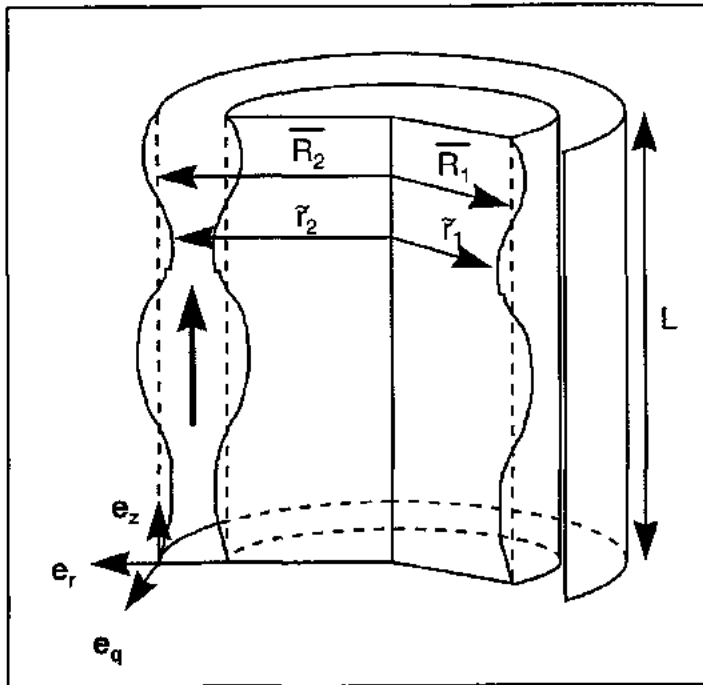
s_0 solution de :

$$(1) M s_0^2 + C s_0 + K = 0$$

$$(2) M s_0^2 + C s_0 + K - B(s_0) = 0$$

COUPLAGE FLUIDE-STRUCTURE

Modèle MOCCA (MOdèle de Couplage entre Coques Annulaires)



HYPOTHESES (version *Code_Aster*)

- Jeu annulaire constant
- Ecoulement axial uniforme
- Petits mouvements de structure

$$r_i = \bar{R}_i + \tilde{r}_i(\theta, z, t)$$

- Petites perturbations fluides

$$\begin{aligned} u_r &= 0 & + & 0 & + & \text{ordre 2} \\ u_\theta &= 0 & + & \tilde{u}_\theta(\theta, z, t) & + & \text{ordre 2} \\ u_z &= \bar{U} & + & \tilde{u}_z(\theta, z, t) & + & \text{ordre 2} \\ p &= \bar{P}(z) & + & \tilde{p}(\theta, z, t) & + & \text{ordre 2} \end{aligned}$$

MODELE MOCCA

Modélisation et résolution (1)

DEMARCHE

- Linéarisation des équations de Navier-Stokes incompressible
- Intégration des équations sur l'épaisseur du jeu annulaire
- Transformation de Laplace des équations linéarisées et intégrées
- Modélisation des contraintes visqueuses en paroi $C_f = \bar{C}_f + \tilde{C}_f + \text{ordre } 2, C_f = C_{f0} \text{Re}^m, \tilde{C}_f = m \bar{C}_f \frac{\tilde{u}_z}{\bar{U}}$

PROBLEME INSTATIONNAIRE

conditions limites d'entrée-sortie :

$$\begin{cases} \frac{\partial \tilde{u}_z}{\partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial \tilde{u}_\theta}{\partial \theta} = -\frac{\bar{U}}{H} \left[\frac{\partial \tilde{h}}{\partial z} + \frac{s}{\bar{U}} \tilde{h} \right] - \frac{\bar{U}}{R} \left[\frac{\partial \tilde{r}}{\partial z} + \frac{s}{\bar{U}} \tilde{r} \right] \\ \bar{U} \frac{\partial \tilde{u}_\theta}{\partial z} + \left(s + \bar{C}_f \frac{\bar{U}}{H} \right) \tilde{u}_\theta + \frac{1}{\rho R} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial \theta} = 0 \\ \bar{U} \frac{\partial \tilde{u}_z}{\partial z} + \left(s + \bar{C}_f (2+m) \frac{\bar{U}}{H} \right) \tilde{u}_z + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} = \bar{C}_f \left(\frac{\bar{U}}{H} \right)^2 \tilde{h} \end{cases}$$

$$u_\theta(\theta, 0, t) = 0$$

$$\int_{\bar{R}_1}^{\bar{R}_2} \left[\tilde{p} + \rho \bar{U} \tilde{u}_z (1 + \bar{C}_{de}) + \frac{1}{2} \rho \tilde{C}_{de} \bar{U}^2 \right] \bar{U} r dr = 0$$

$$\int_{\bar{R}_1}^{\bar{R}_2} \left[\tilde{p} + \rho \bar{U} \tilde{u}_z (1 - \bar{C}_{ds}) - \frac{1}{2} \rho \tilde{C}_{ds} \bar{U}^2 \right] \bar{U} r dr = 0$$

$$C_{de} = \bar{C}_{de} + \tilde{C}_{de} + \text{ordre } 2, \tilde{C}_{de} = C_{dep} \tilde{h}$$

$$C_{ds} = \bar{C}_{ds} + \tilde{C}_{ds} + \text{ordre } 2, \tilde{C}_{ds} = C_{dsp} \tilde{h}$$

MODELE MOCCA

Modélisation et résolution (2)

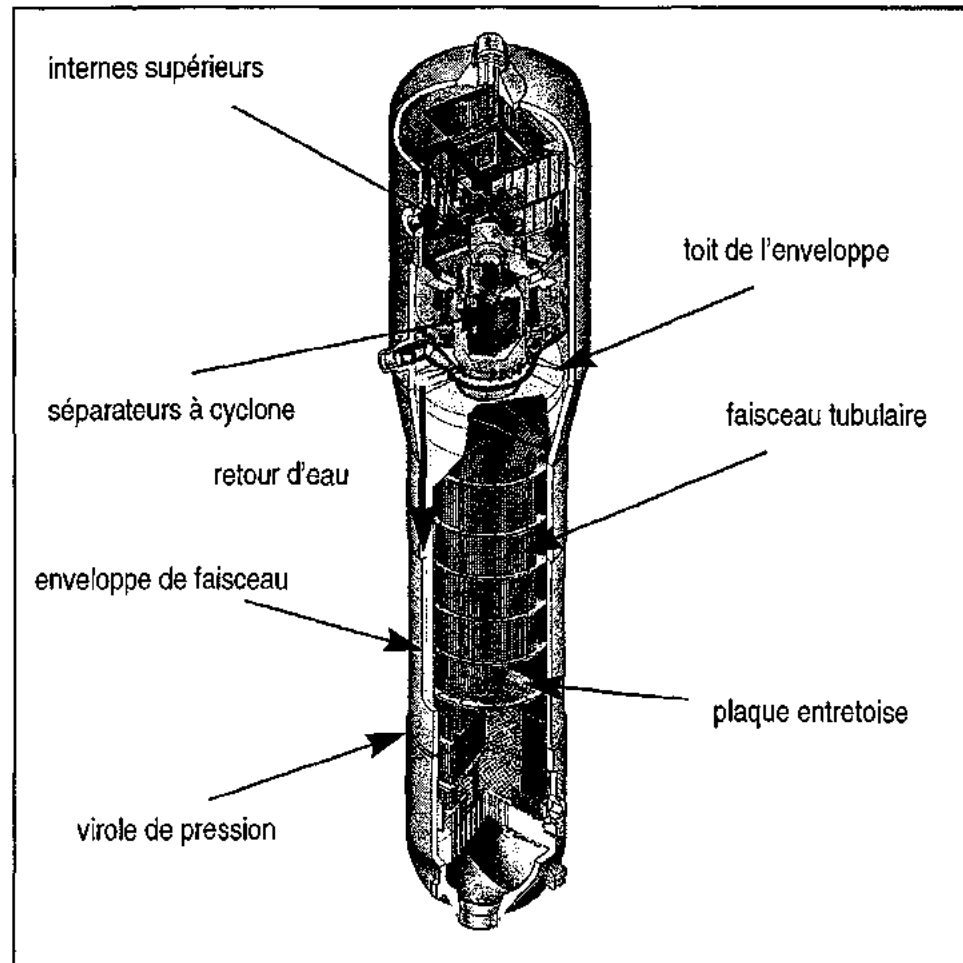
- Représentation théorique des déformées sur base modale (modes de coques élancées)

$$\tilde{r}_i(\theta, z, s) = \sum_{\ell=1}^N \cos[n_{i\ell}(\theta - \theta_{1i})] r_{i\ell}^*(z) \alpha_{\ell}(s)$$

$$r_{i\ell}^*(z) = A_{i\ell} \cos\left(\frac{k_{i\ell}z}{L}\right) + B_{i\ell} \sin\left(\frac{k_{i\ell}z}{L}\right) + C_{i\ell} \cosh\left(\frac{k_{i\ell}z}{L}\right) + D_{i\ell} \sinh\left(\frac{k_{i\ell}z}{L}\right)$$

- Décomposition similaire en θ et z des inconnues du problème fluide instationnaire $\tilde{u}_z, \tilde{u}_\theta, \tilde{p}$
- Résolution analytique des équations
- Calcul des forces fluide-élastiques modales
- Résolution du problème modal couplé fluide-structure

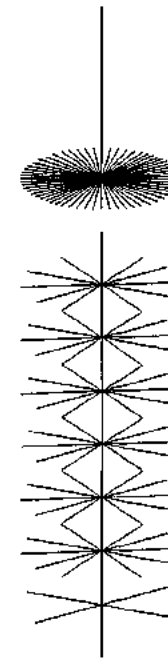
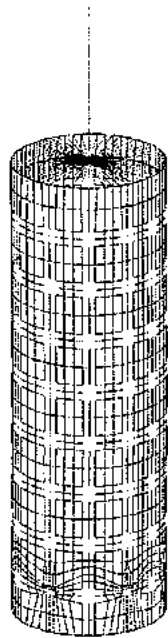
DU COMPOSANT INDUSTRIEL AU MODELE DE L'ENVELOPPE DE FAISCEAU (1)



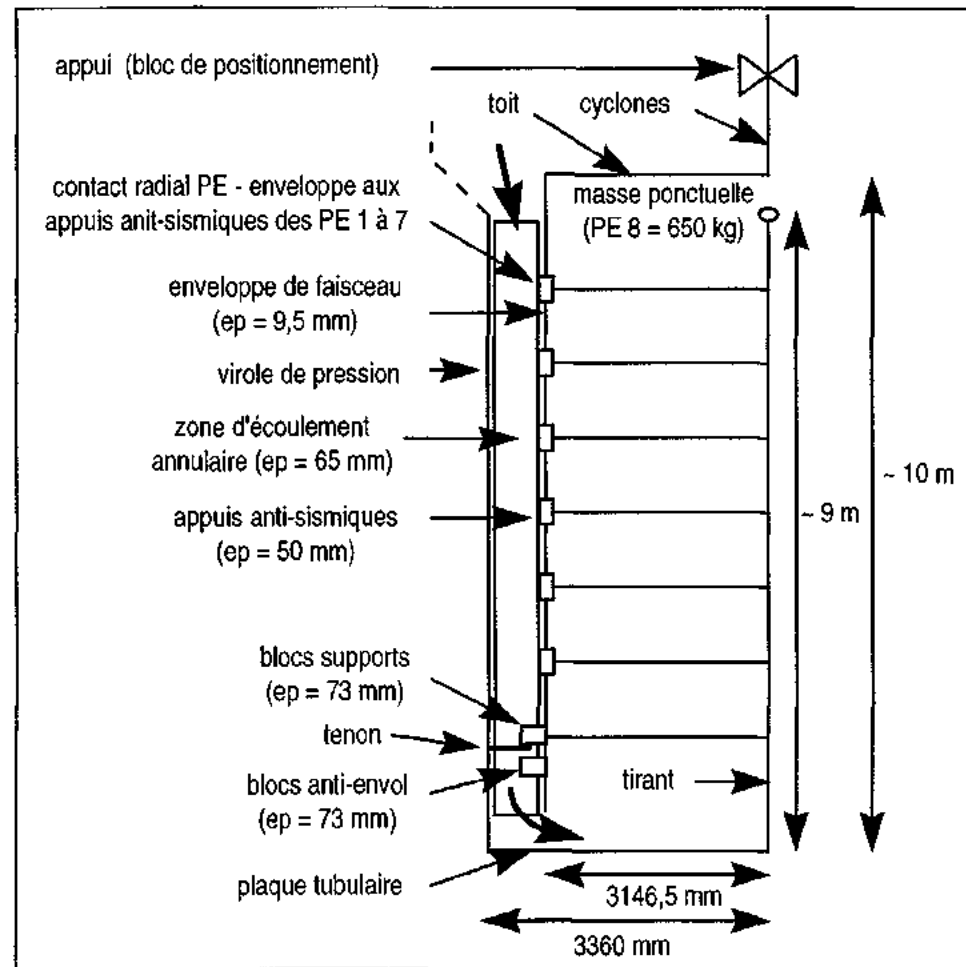
DU COMPOSANT INDUSTRIEL AU MODELE DE L'ENVELOPPE DE FAISCEAU 51BI (2)

Eléments coques (enveloppes de faisceau, de pression, blocs supports, blocs anti-sismiques, blocs anti-envol)

Eléments poutre rigides (toit, cyclones, plaques entretoises, plaque tubulaire), souples (tirant, tenon)

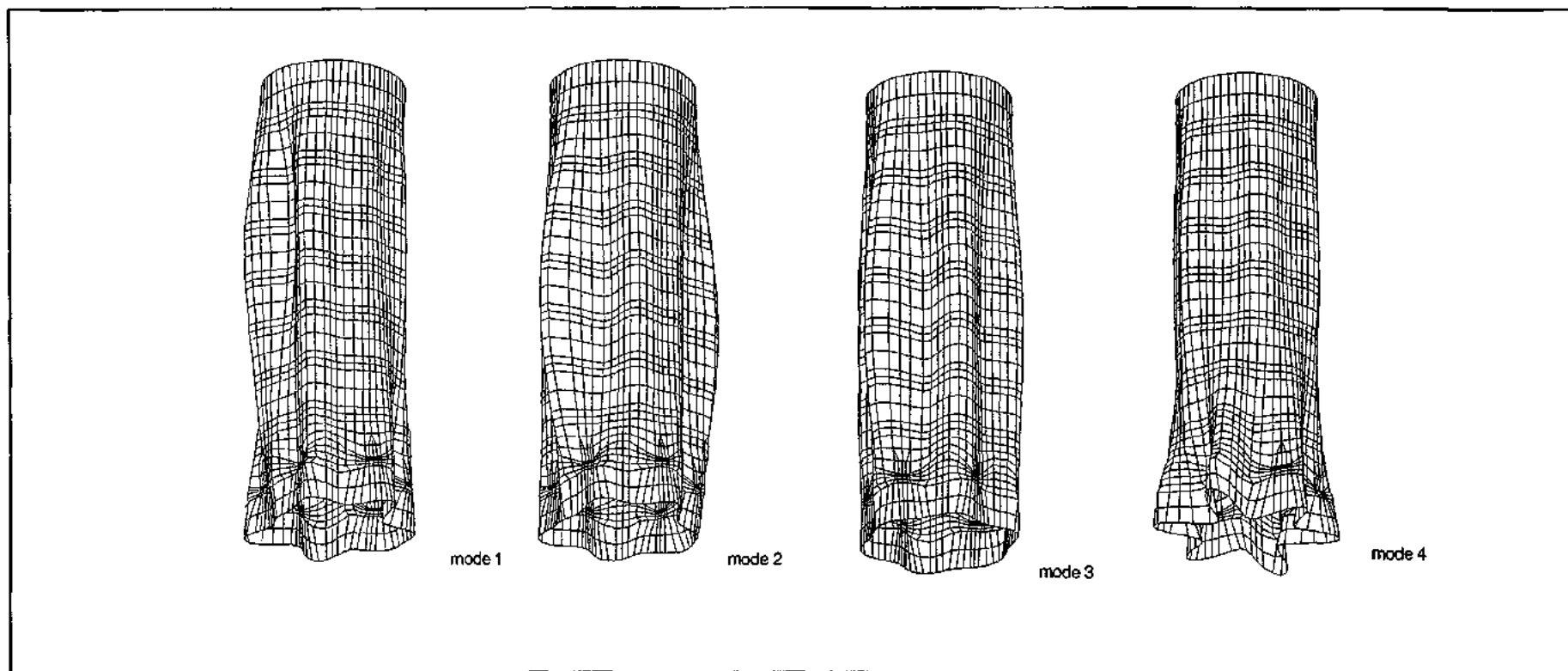


DU COMPOSANT INDUSTRIEL AU MODELE DE L'ENVELOPPE DE FAISCEAU 51BI (3)



BASE MODALE EN AIR GV 51BI

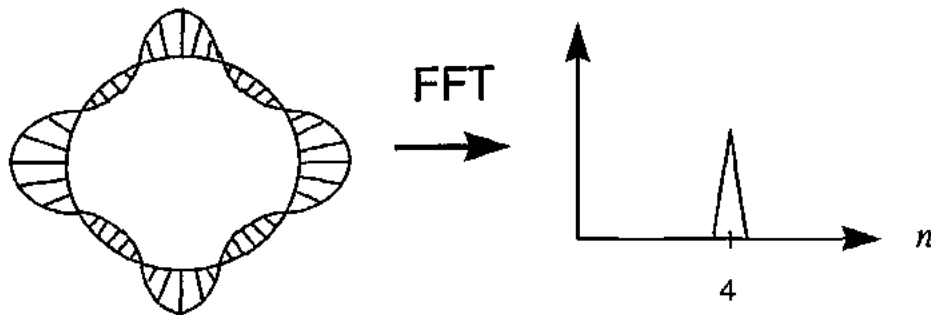
mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f (Hz)	28,60	29,13	30,04	31,42	31,86	34,02	34,63	36,23	36,82	37,55	39,30	40,82



MODELE MOCCA

Représentation théorique des déformées modales (1)

Calcul aux éléments finis des modes en air de l'enveloppe de faisceau
→ pulsations ω et déformées modales



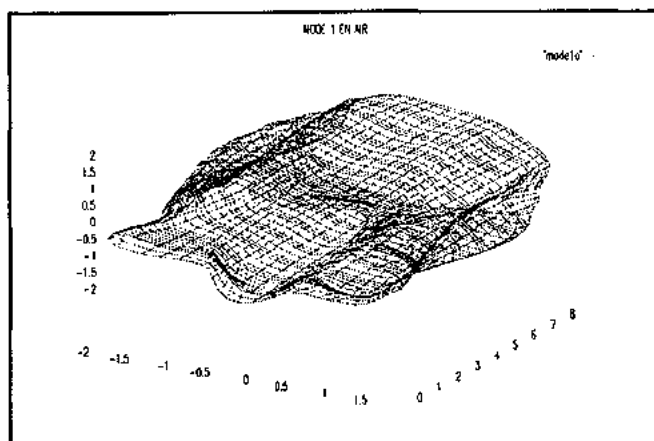
$$k^4 = \frac{n^4 L^4}{R_m^2} \left(\frac{\rho \omega^2}{E} \left(1 + \frac{1}{n^2} \right) (1 - \nu^2) - \frac{(n^2 - 1)^2 e^2}{12 R_m^4} \right)$$

(Relation entre nombre d'onde k , ordre de coque n et pulsation ω pour des coques de révolution, minces et élancées, de longueur L , d'épaisseur e , de rayon moyen R_m)

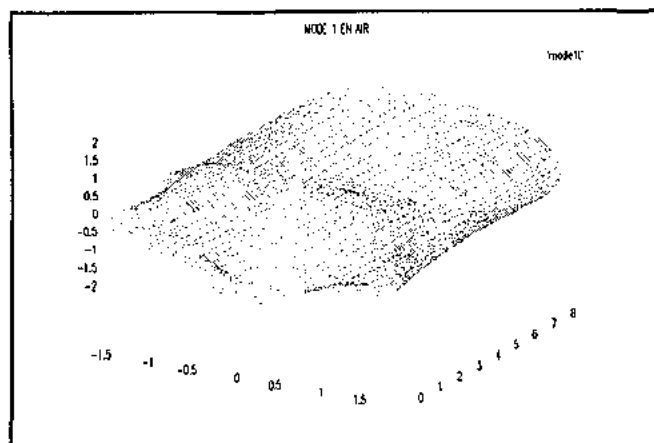
Si $k^4 > 0$, calcul des coefficients A, B, C, D de la représentation théorique par minimisation des écarts entre le modèle et les déformées calculées

MODELE MOCCA

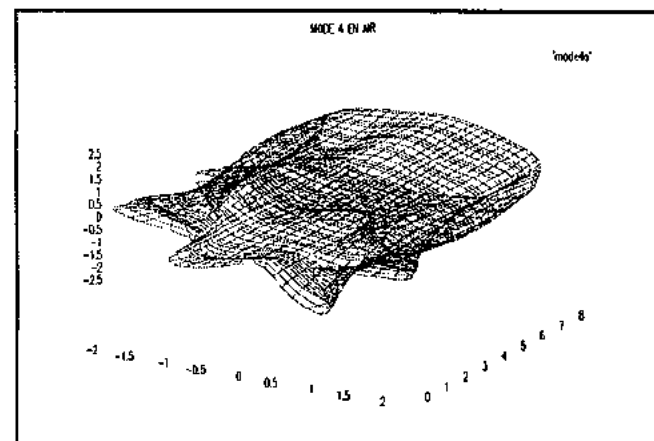
Représentation théorique des déformées modales GV 51BI (2)



Mauvaise identification (mode 1)

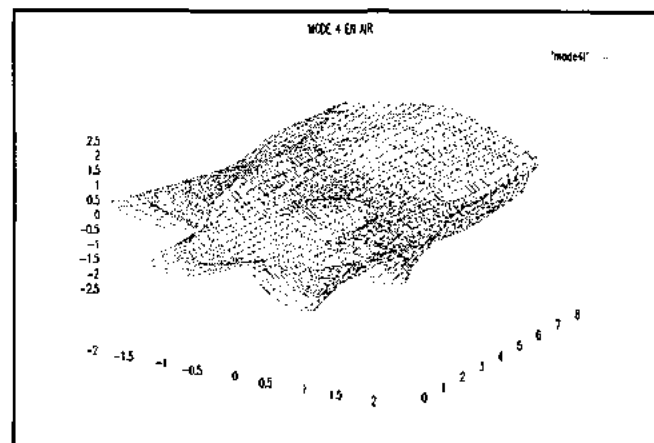


Calculs



Bonne identification (mode 4)

Identifications
MOCCA



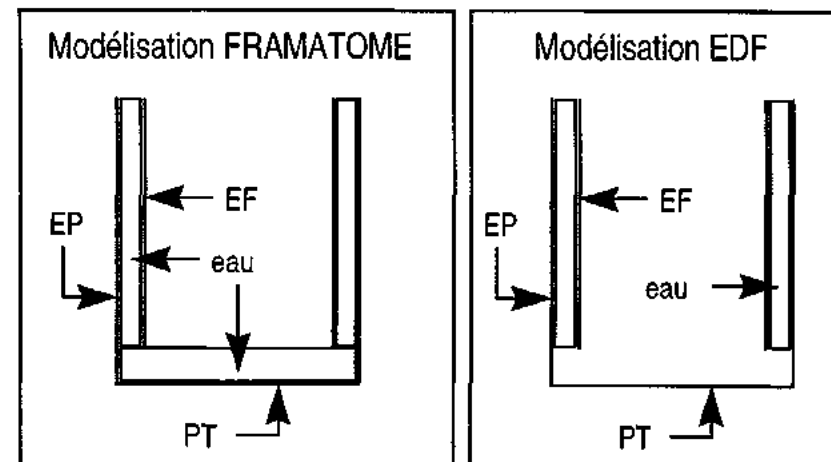
ANALYSE MODALE EN EAU AU REPOS

GV 51BI

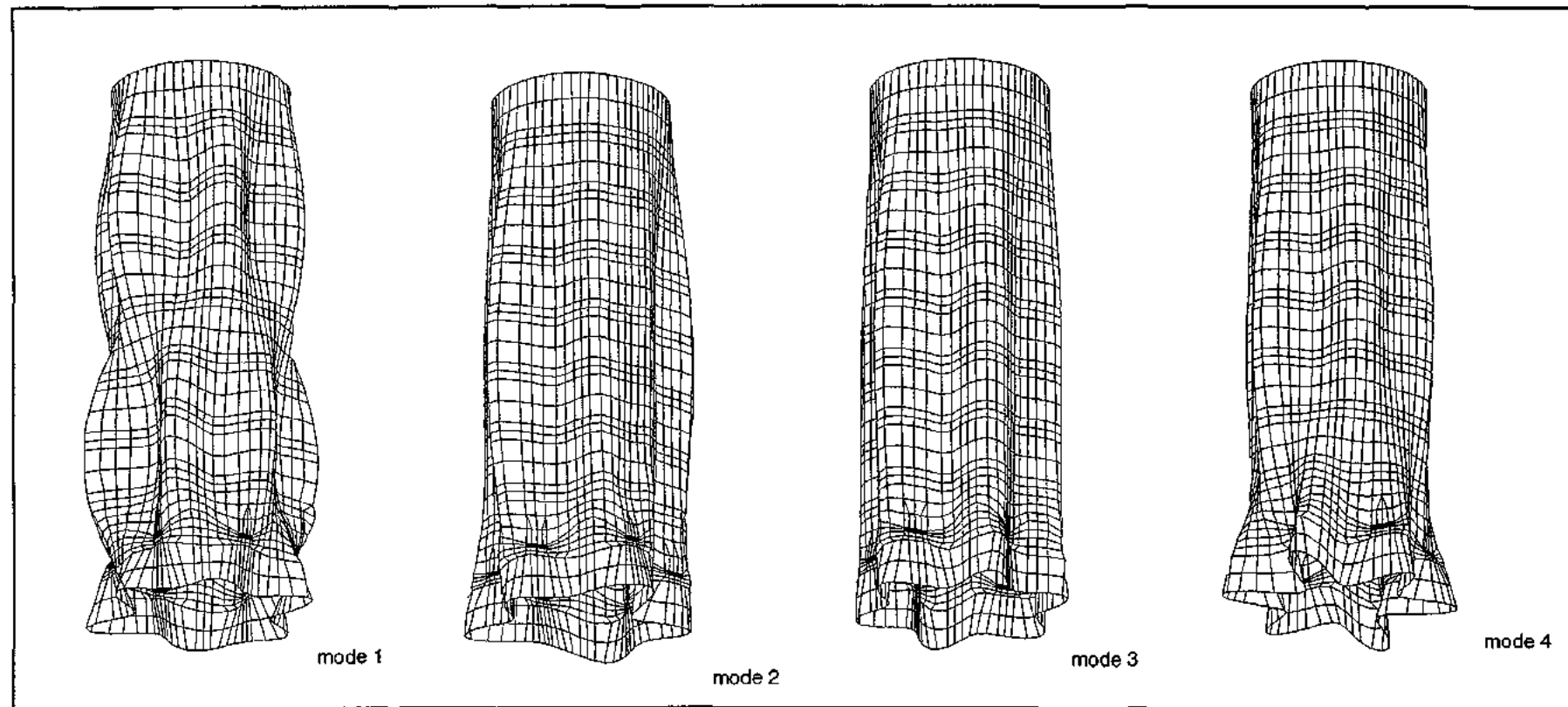
- Fréquences propres en eau au repos (modèle MOCCA) et comparaison avec des résultats FRAMATOME (masse ajoutée)

mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f (Hz) MOCCA	5,92	9,76	13,23	15,30	16,72	23,35	25,28	26,31	31,30	34,14	37,51
f (Hz) FRA	4,64	5,45	9,36	-	-	-	-	-	-	-	-

- Les écarts en eau au repos entre les résultats FRAMATOME et EDF peuvent être attribués aux différences de domaines fluides



BASE MODALE EN EAU AU REPOS GV 51BI

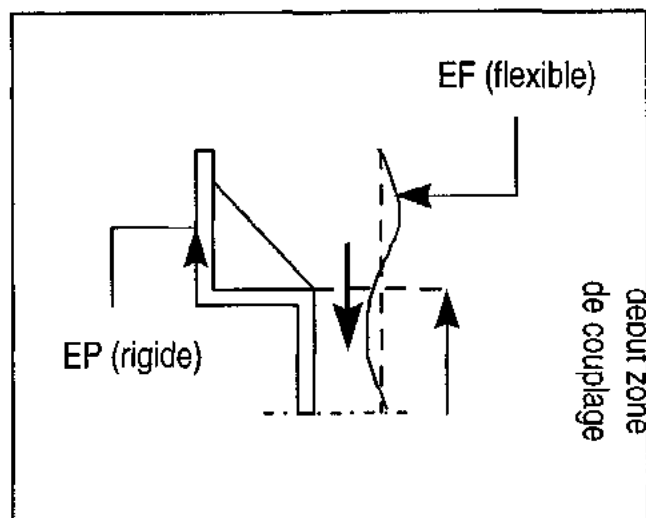


ANALYSE MODALE SOUS ECOULEMENT (1)

MODELE MOCCA - GV 51BI

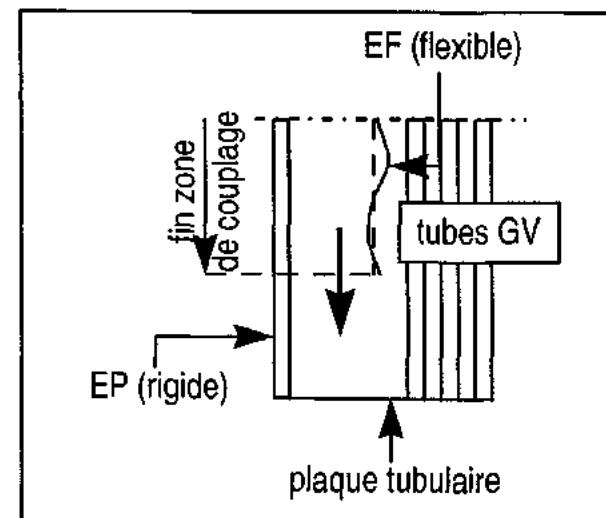
- Modélisation des pertes de charges (stationnaires et instationnaires)

Entrée du retour d'eau



Rétrécissement brusque

Sortie du retour d'eau



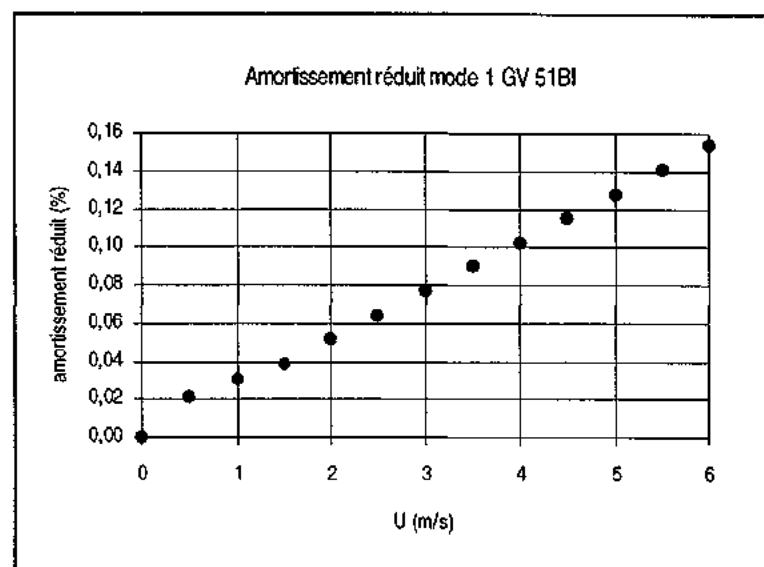
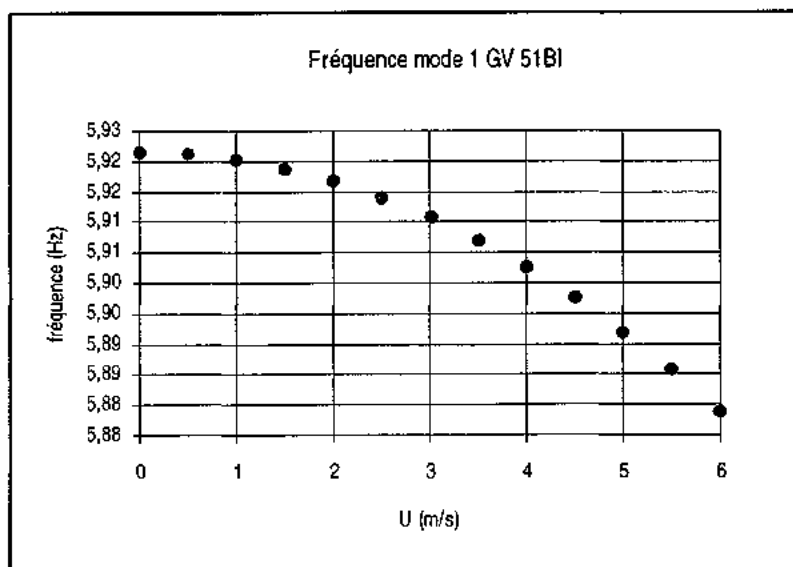
Elargissement brusque

(géométrie réelle en rouge)

ANALYSE MODALE SOUS ECOULEMENT (2)

MODELE MOCCA - GV 51BI

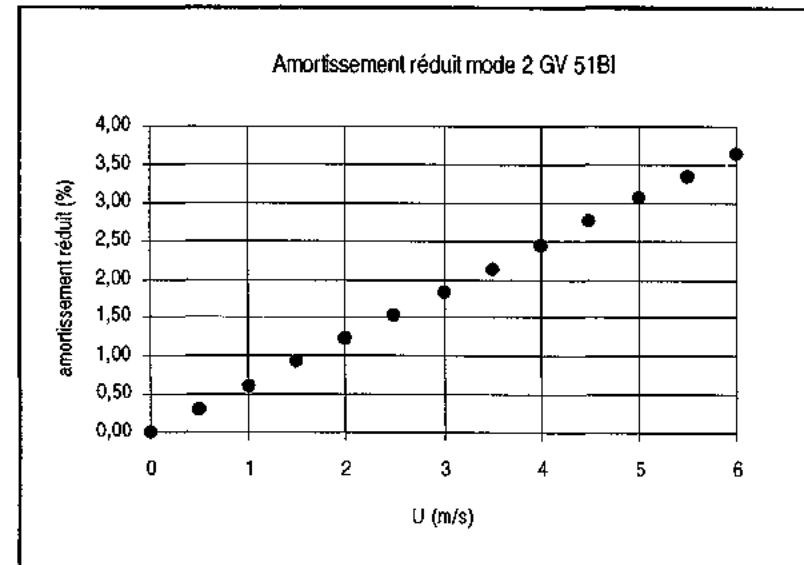
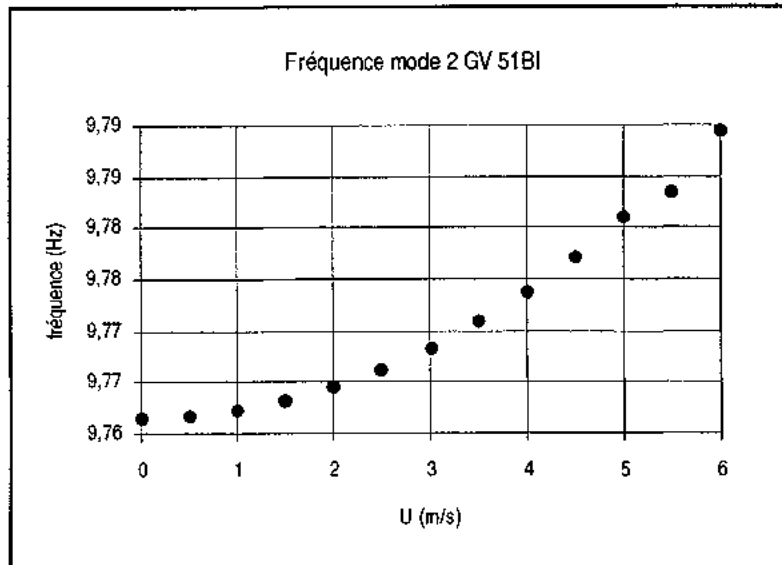
- Evolution du mode 1 sous écoulement



ANALYSE MODALE SOUS ECOULEMENT (3)

MODELE MOCCA - GV 51BI

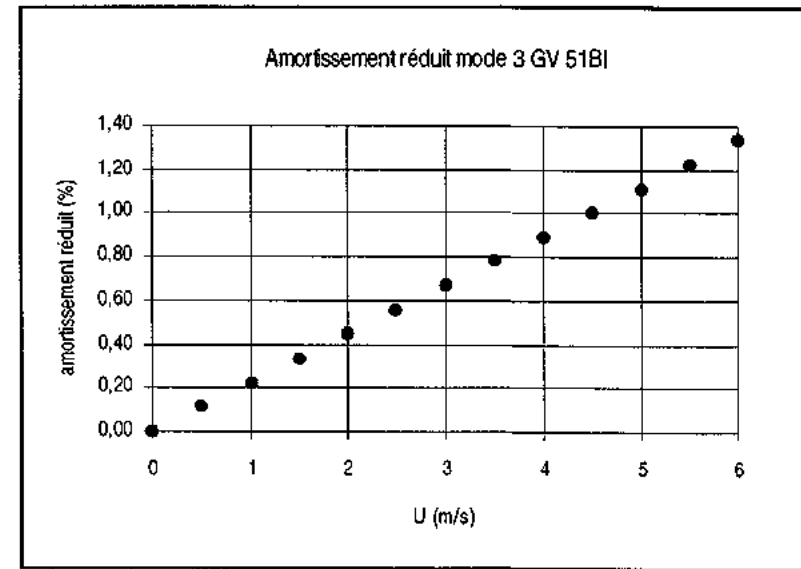
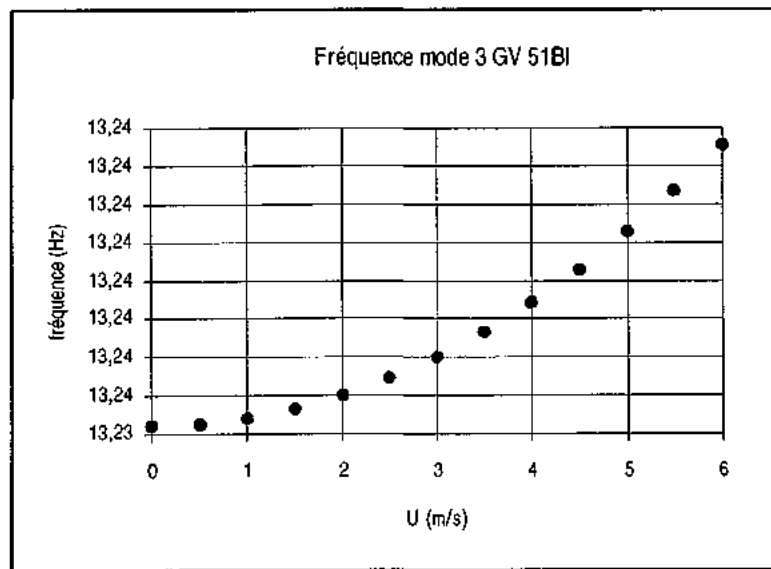
- Evolution du mode 2 sous écoulement



ANALYSE MODALE SOUS ECOULEMENT (4)

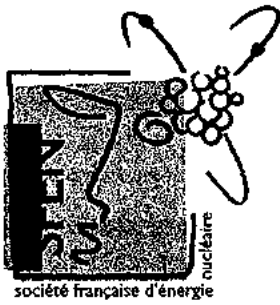
MODELE MOCCA - GV 51BI

- Evolution du mode 3 sous écoulement



COUPLAGE ECOULEMENT-STRUCTURE ENTRE LE RETOUR D'EAU ET L'ENVELOPPE DE FAISCEAU : CONCLUSIONS

- Hors effet de masse ajouté (eau au repos), l'écoulement :
 - n'a pas d'influence significative sur les valeurs des fréquences propres
 - *ajoute* de l'amortissement à la structure
 - Ces conclusions sont vérifiées :
 - quel que soit le mode
 - pour différentes pertes de charge entrée-sortie réalistes
 - pour les deux familles de GV étudiées (51BI et 51B)
- ⇒ L'écoulement tend à stabiliser les vibrations de l'enveloppe de faisceau et ne modifie pas le contenu fréquentiel de sa base modale en eau au repos



SFEN
Section "Physique des Réacteurs"

10 juin 1999

Réunion Technique :
"L'Hydraulique
des Réacteurs à Eau Pressurisée"

CONCLUSION PAR LE PRESIDENT DE SEANCE

J.C. Boucher (CEA/SMET)

La "Section Physique des Réacteurs" de la SFEN nous a permis de concentrer notre attention pour une journée sur l'hydraulique des Réacteurs à eau Pressurisée et, en particulier, sur les phénomènes hydrauliques concernant la Cuve et le Générateur de Vapeur.

Le choix du site de CADARACHE est apparu pertinent étant donné l'ensemble des moyens de R&D dédiés aux études d'hydraulique et de thermohydraulique : HERMES pour l'assemblage combustibles, CLOTAIRE, MINNIE, MAXI pour les GV, LUCIE, BANQUISE pour l'hydraulique de la cuve.

Les exposés et les visites associées ont mis en exergue :

⇒ les enjeux industriels avec les phénomènes hydrauliques associés et en particulier :

- *les performances et la sûreté du cœur et du combustible avec la recherche d'un refroidissement le plus homogène possible du cœur et la nécessité d'appréhender et surtout de minimiser les hétérogénéités thermohydrauliques dues à la géométrie extrêmement complexe du cœur et des plenums, ou bien, à une échelle plus locale, l'appréciation de l'effet des grilles intermédiaires sur les écoulements,*
- *la dégradation potentielle (usure, fatigue) des crayons et des barres de contrôle et de leurs dispositifs de maintien avec les phénomènes vibratoires dus aux écoulements transverses dans la région de sortie du cœur,*
- *la connaissance précise des températures moyennes des branches chaudes avec la prise en compte de fortes hétérogénéités de températures dans les tubulures de sortie cœur et ce malgré des écoulements très turbulents,*
- *les phénomènes d'interaction fluide-structure relatifs aux écoulements monophasiques dans les jupes de GV et également dans le bas de faisceau,...*

Cette liste est évidemment non exhaustive et nous gardons en mémoire la contribution de l'hydraulique dans les dossiers DAYA BAY ou bien des couvercles.

⇒ les progrès accomplis en matière de simulation numérique et, de façon égale et indissociable, l'importance d'une expérimentation adaptée à la qualification des modèles et algorithmes toujours plus fins et performants.

- *sur le plan de la simulation numérique, on retiendra la mise en œuvre de calcul d'hydraulique 3D "industriel" tel que l'analyse fine des écoulements avec une description de la géométrie réelle du faisceau ou bien des internes supérieurs y compris les branches de sorties. Il faut souligner que ces calculs s'appuient sur des outils informatiques du commerce (STAR CD) et sur de outils développés et qualifiés spécialement (FLICA pour FRAMATOME/CEA, N3S pour EDF) avec, en perspective de l'EPR, autant pour FRAMATOME qu'EDF, le besoin de disposer d'une chaîne d'outils de calcul facile de mise en œuvre, cohérente et qualifiée permettant de décrire finement l'ensemble des écoulements en cuve (description du couplage plenum cœur, des écoulements diphasiques éventuels, voire des interactions fluide-structures associées).*

- *sur celui de l'expérimentation, on retiendra les progrès accomplis en matière de mesures locales (la vélocimétrie laser notamment) mais également leurs actuelles limitations. En effet, ces mesures sont en général encore réservées à des fluides basses pression et température ou bien sont difficiles de mise en œuvre comme au cœur d'un faisceau par exemple.*

En guise de conclusion, je retiendrai les progrès réalisés dans le domaine de l'hydraulique réacteur tant sur la plan du calcul que des expériences et également les évolutions du besoin industriel et de la R&D associée.

Je soulignerai en outre que la démarche entreprise avec le programme FASNET de CEA/DRN/DTP vise à préparer une prochaine génération d'outils "industriels" permettant de décrire de manière plus générique et plus fine la physique des écoulements. Ceci passe par la conjugaison d'un ensemble de recherches cohérentes et avancées tant sur le plan des modèles et des algorithmes, que sur celui de l'expérimentation et de l'instrumentation locale, multi-D en fluides réels notamment.