

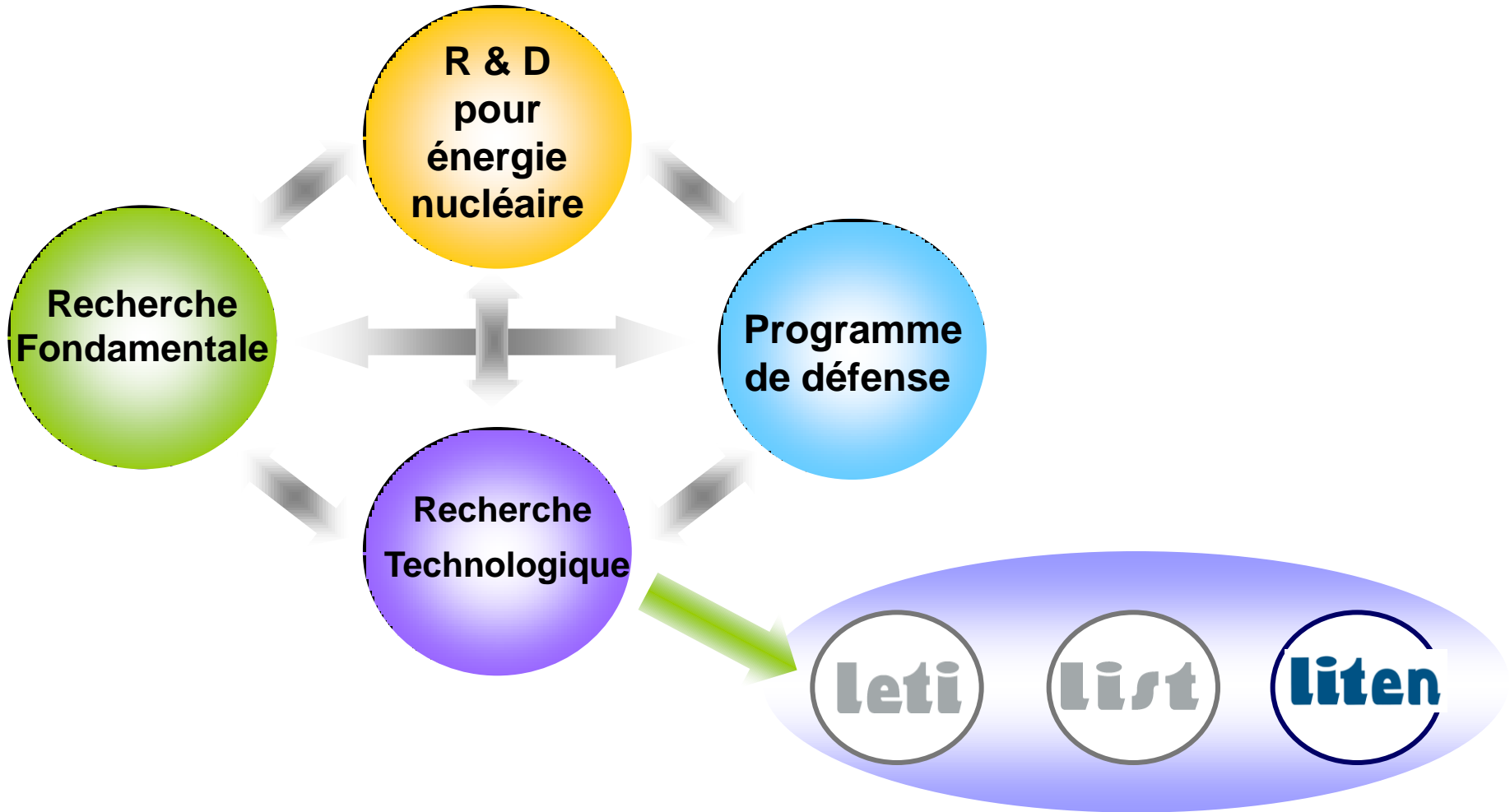
Intensification des transferts dans les échangeurs thermiques

Une méthodologie pour le développement d'échangeurs innovants

**P.Clement, S.Colasson,
JF.Fourmigue, P.Tochon
(CEA/DRT/LITEN/DTS/LETh)**

Laboratoire LEETH

pour le développement de systèmes et
composants thermiques pour
l'habitat et l'industrie





PV and Energy management for Residential Applications

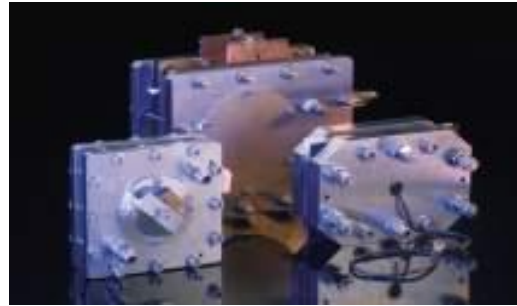
CEALITEN improves each day the techniques of control of energy:

- Residential or tertiary

- Vision "total energy system".

- Solar Cells
 - Silicon pathway
 - Nanocomposite pathway
- PV modules
- Systems
- Energy storage

DRT-LITEN-DTS



Hydrogen and Fuel Cells for automotive applications

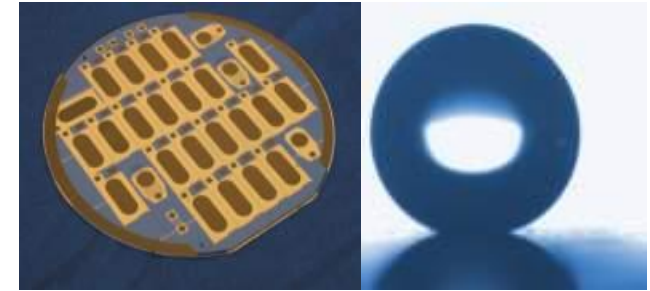
CEA LITEN develops the hydrogen pathway :

-Production

-Transport and storage

-Conversion

- Hydrogen production by high-temperature electrolysis
- Fuel Cells
 - PEMFC
 - SOFC
- Systems architecture



Nanomaterials in high technology industrial applications

CEA LITEN develops nanomaterials :

-Synthesis

-Handling, safety and integration

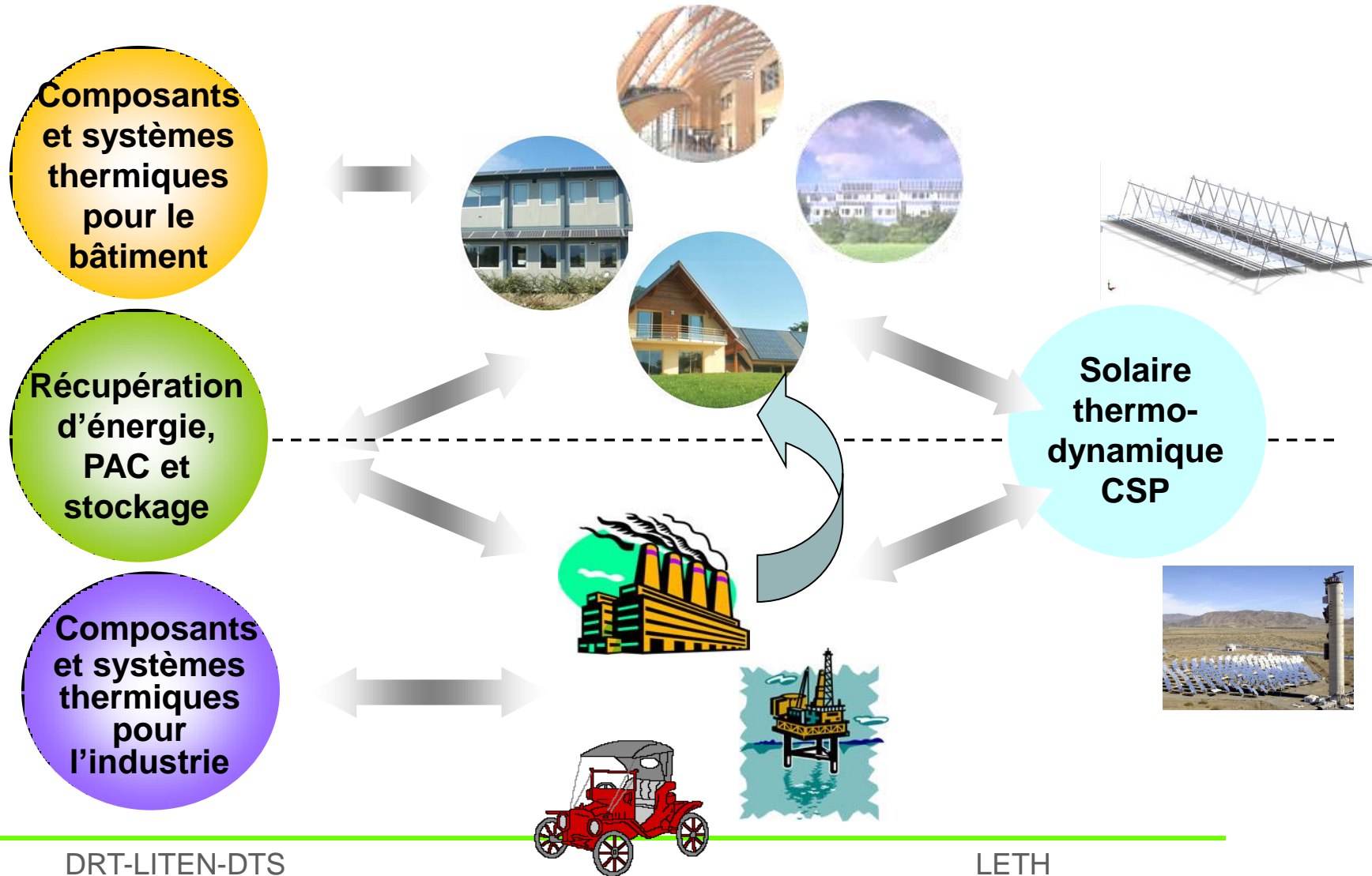
- Micro-sources of energy containing nano-objects :
 - micro-fuel cells
 - Micro-batteries
 - Micro thermoelectric generator
- Nanostructured surfaces
 - Surface energy
 - Nanocatalysts
- Nanopowders

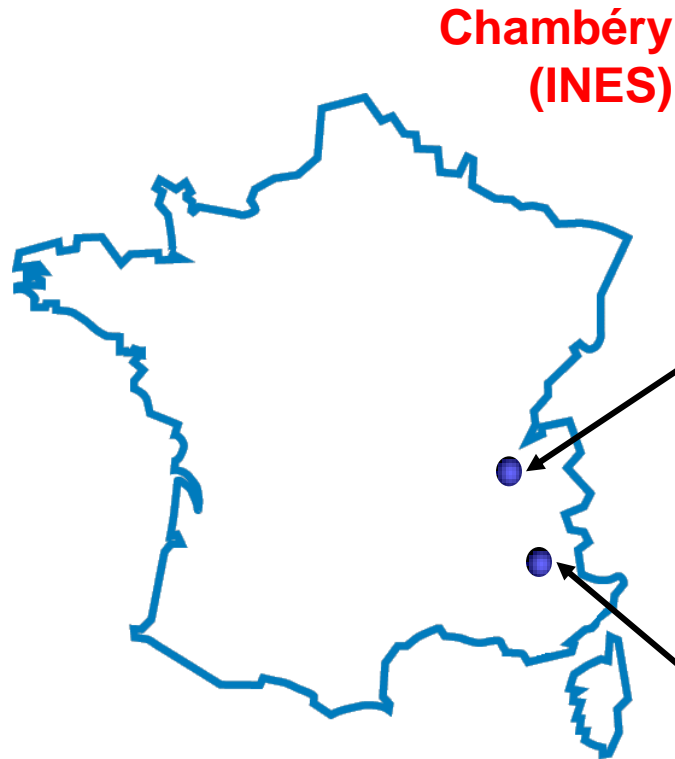
LETH

Laboratoire des systèmes thermiques LETH

- est chargé du développement de technologies thermiques pour l'industrie et l'habitat.
- intègre également des technologies innovantes provenant des autres unités du LITEN.
- dispose de relations privilégiées avec le LEGI à Grenoble, et le LOCIE à Chambéry
- bénéficie du potentiel de démonstration de INES.
- est adossé à l'association GRETh pour la valorisation industrielle

Laboratoire structuré autour de 4 grandes thématiques :





Grenoble





Thématiques :

- **Pompes à chaleurs** :
 - à fluides 'naturels' : Hydrocarbures et CO2
 - À haute température
- **Stockage thermique** :
 - Sensible par fluide (eau) ou matrice solide (céramique, béton,...)
 - Latente par MCP et nanoparticules dispersées
 - Par adsorption / absorption
 - Thermochimique par échangeur réacteur
- **Récupération d'énergie**
 - Cycles de récupération sur rejets (ex. Rankine, thermo-électricité)
 - Encrassement : mécanismes de dépôt, nettoyage et développement de sondes

Secteurs application : Habitat, tertiaire et automobile, Production énergie et cogénération

Partenaires : Aldes, CSTB, CIAT, Spirec, Delta air +, Danfoss et, CETIAT, Armines, EDF, fabricants composants, pulswer



Orientations stratégiques (3-4 ans):

• **Pompes à chaleurs :**

- La valorisation industrielle d'une PAC CO₂ avec le développement d'un compresseur innovant avec Pulsver
- Le démarrage d'une activité sur un concept PAC HT, en partenariat avec un fournisseur de fluide.

• **Stockage thermique :**

- Le développement d'un système de stockage à long terme pour augmenter l'autonomie solaire. Par exemple, pour le stockage inter-saisonnier, le développement et la validation d'un prototype CEA de système adsorption / absorption ou Chimique

• **Récupération d'énergie**

- Réalisation de démonstrateurs de cycles de récupération sur rejets (rankine ou stirling)
- Valorisation industrielle des sondes d'encrassement

Thématiques :

- **Développement d'échangeurs compacts innovants :**
 - Echangeurs à haute et très haute température
 - Nanofluides et nanostructuration
- **Echangeurs-multifonctionnels pour :**
 - Procédés chimiques continus,
 - Reformage d'H₂,
 - Biocarburants à partir de gaz (procédés GTL, CTL et BTL)
- **Composants thermiques pour l'automobile :**
 - Optimisation de la thermique moteur,
 - Echangeurs / automobile,
 - Thermique des batteries pour VL hybrides et électriques

Secteurs application : Production de bio-carburants, Production d'énergie (nucléaire, biomasse), automobile, pétrochimie, chimie, ...

Partenaires : Alfa-Laval, GEA, Fives Cryo, Wieland, Total, Air Liquide, Rhodia, IFP, Technip, Renault, Snecma, GDF, Areva, Boostec, DLR, St Gobain, CNIM

Orientations stratégiques (3-4 ans):

- **Développement d'échangeurs compacts innovants :**
 - Le développement d'un échangeur très haute température en SiC, en partenariat avec le DTH (prototype validé d'ici 2010)
 - Valorisation des compétences LITEN en matière de nanoparticules (avec DTNM) avec un partenaire important (TOTAL, ARKEMA, ...)
 - Validation du concept de nanostructuration sur prototype tubulaire et plaques.
- **Echangeurs-multifonctionnels:**
 - Le développement d'un concept unique d'échangeur réacteur réalisé par compaction isostatique à chaud, avec le DTH (prototype validé d'ici 2010 et transfert technologique en 2011-2012).
- **Composants thermiques pour l'automobile**
 - Optimisation BMS / thermique (2010-2011)
 - PAC pour véhicule électrique (2011-2012)
 - Refroidissement électronique de puissance (2011-2012)

Une méthodologie combinant les approches
expérimentales et numériques

**Essais de caractérisation globale à petite ou
moyenne échelle, en fluide réel ou fluide
« modèle », aux conditions nominales (pression,
températures)**

**Essais analytiques sur les phénomènes physiques
prépondérants, instrumentation fine,**

Modélisation des phénomènes prépondérants

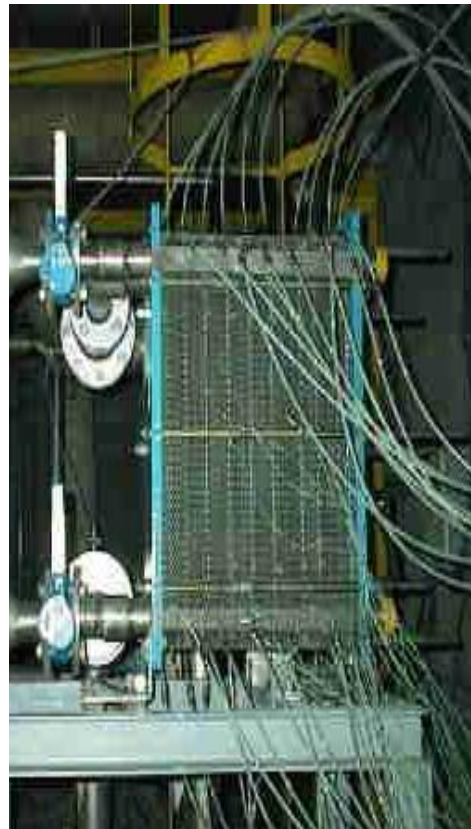
**Capitalisation des connaissances dans les outils de
calcul (CFD)**

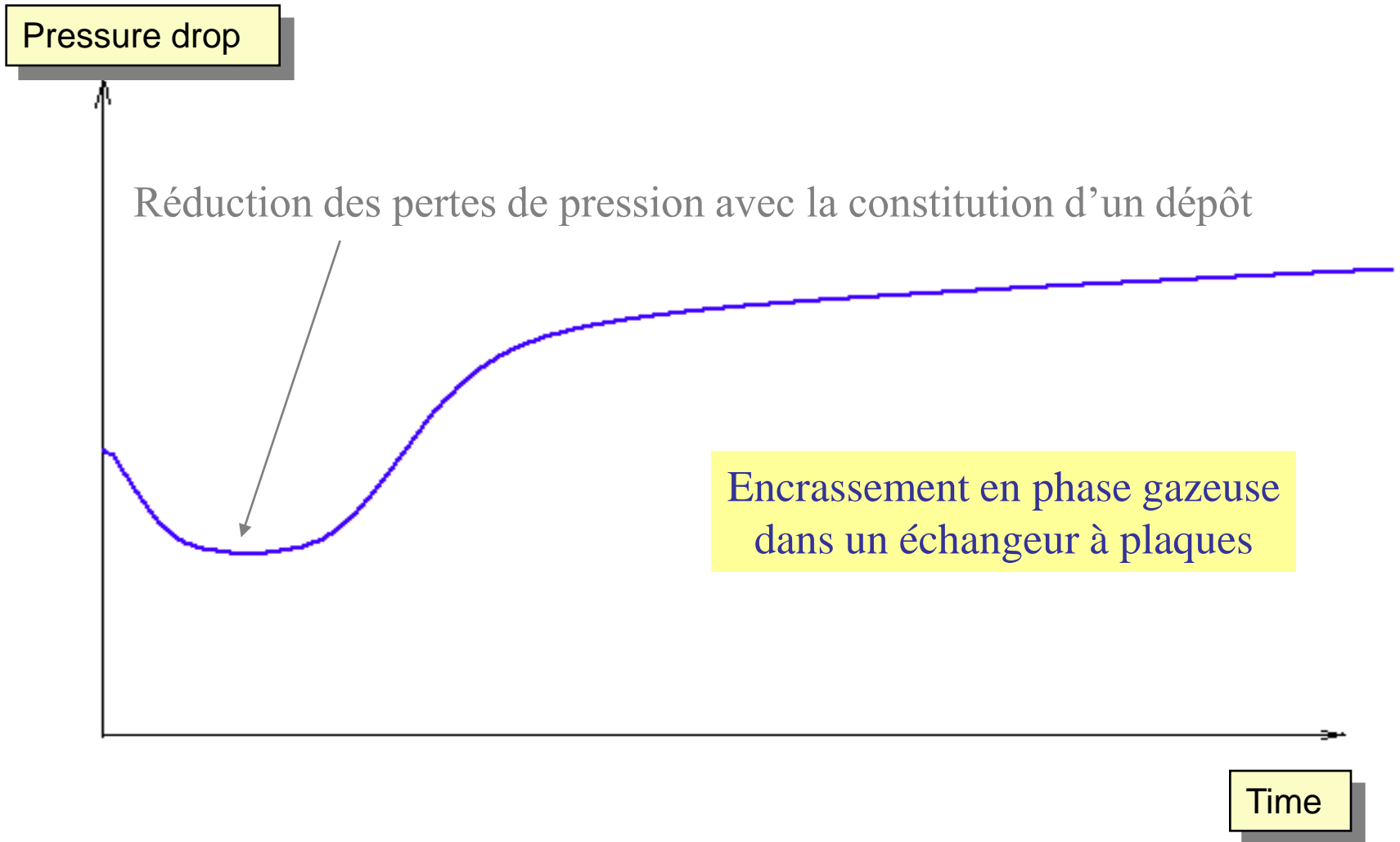
Dimensionnement et Optimisation des échangeurs

Un exemple de développement : Le concept Haricot

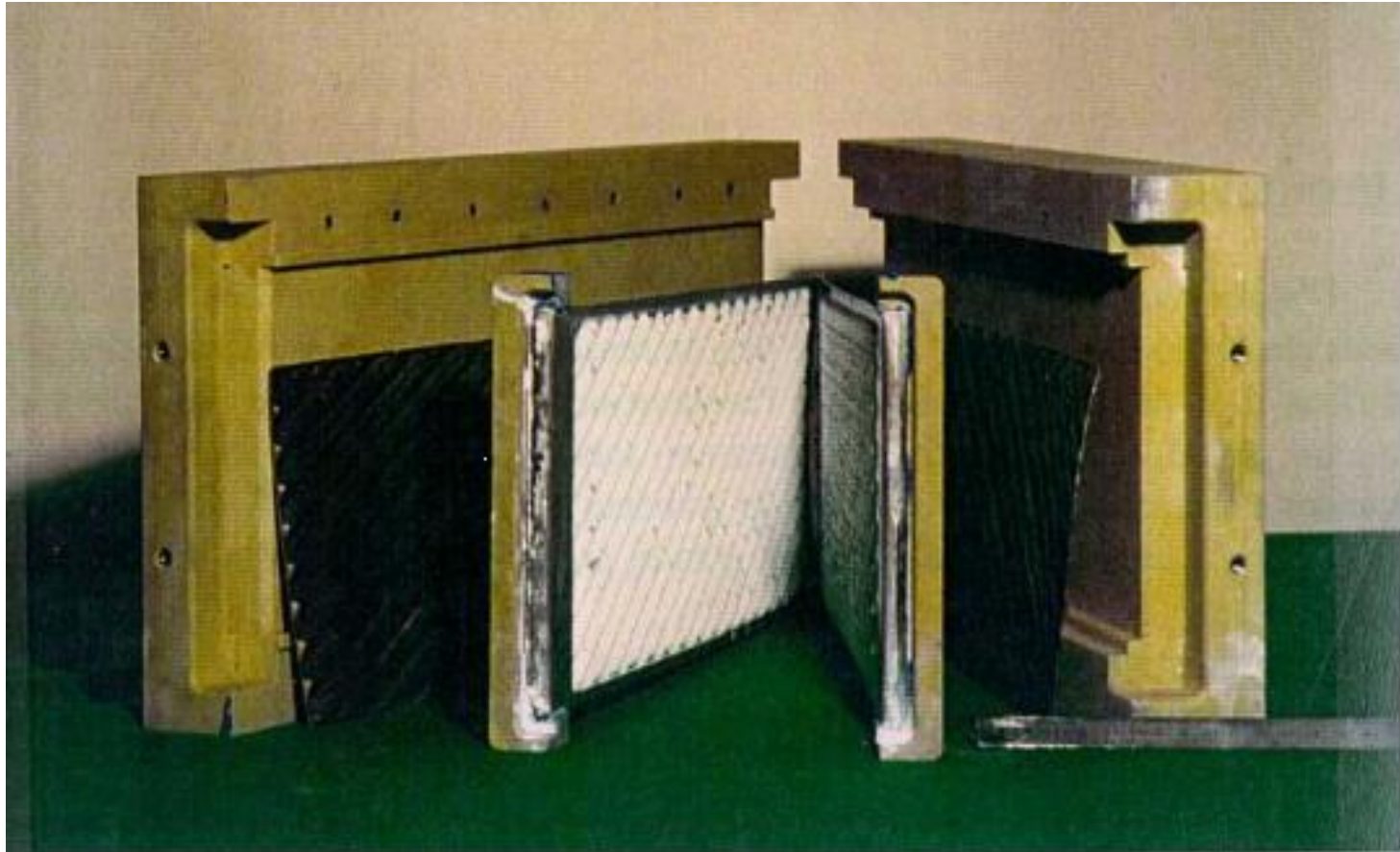
Alfa Laval Vicarb

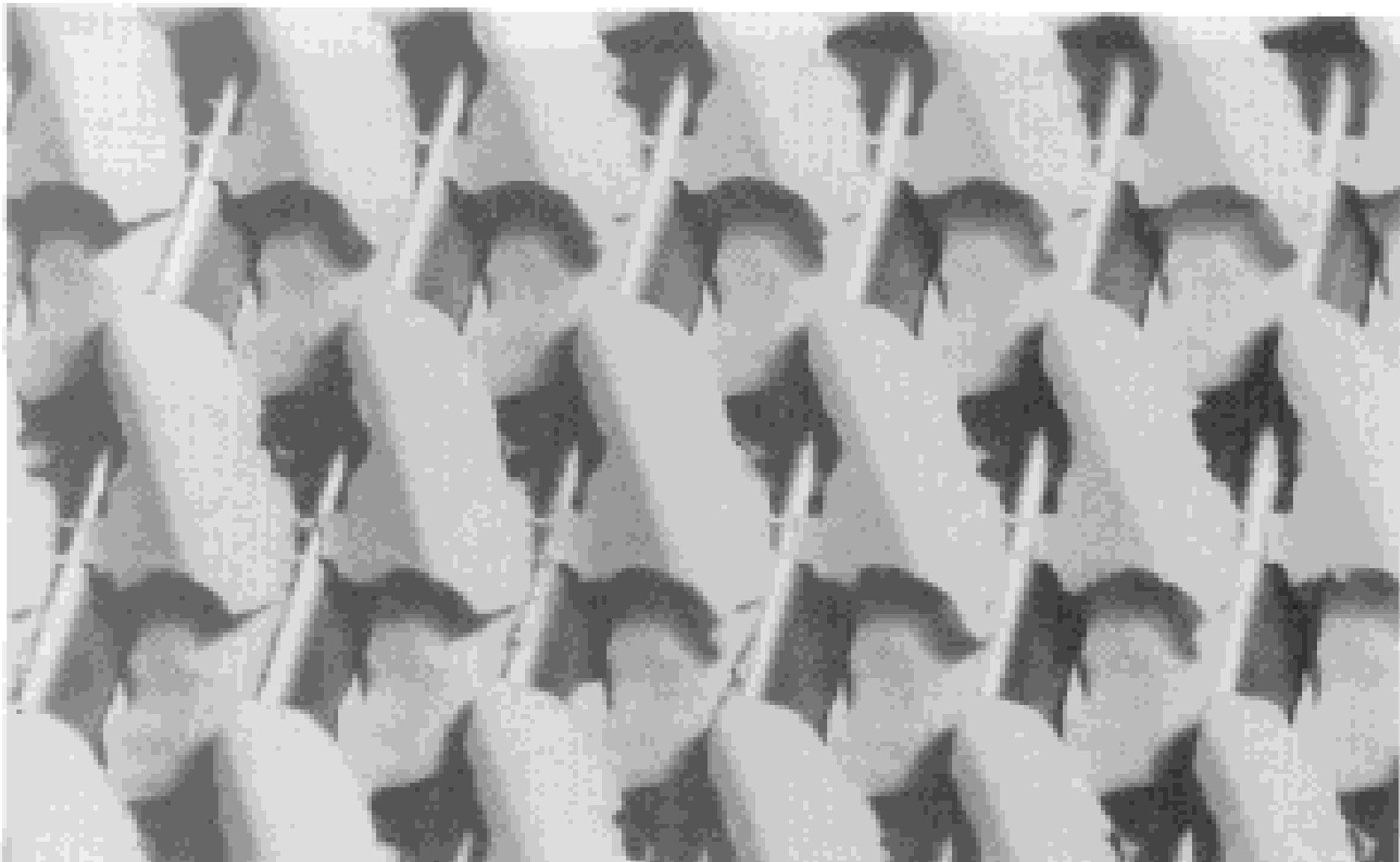
Le plaques et joints

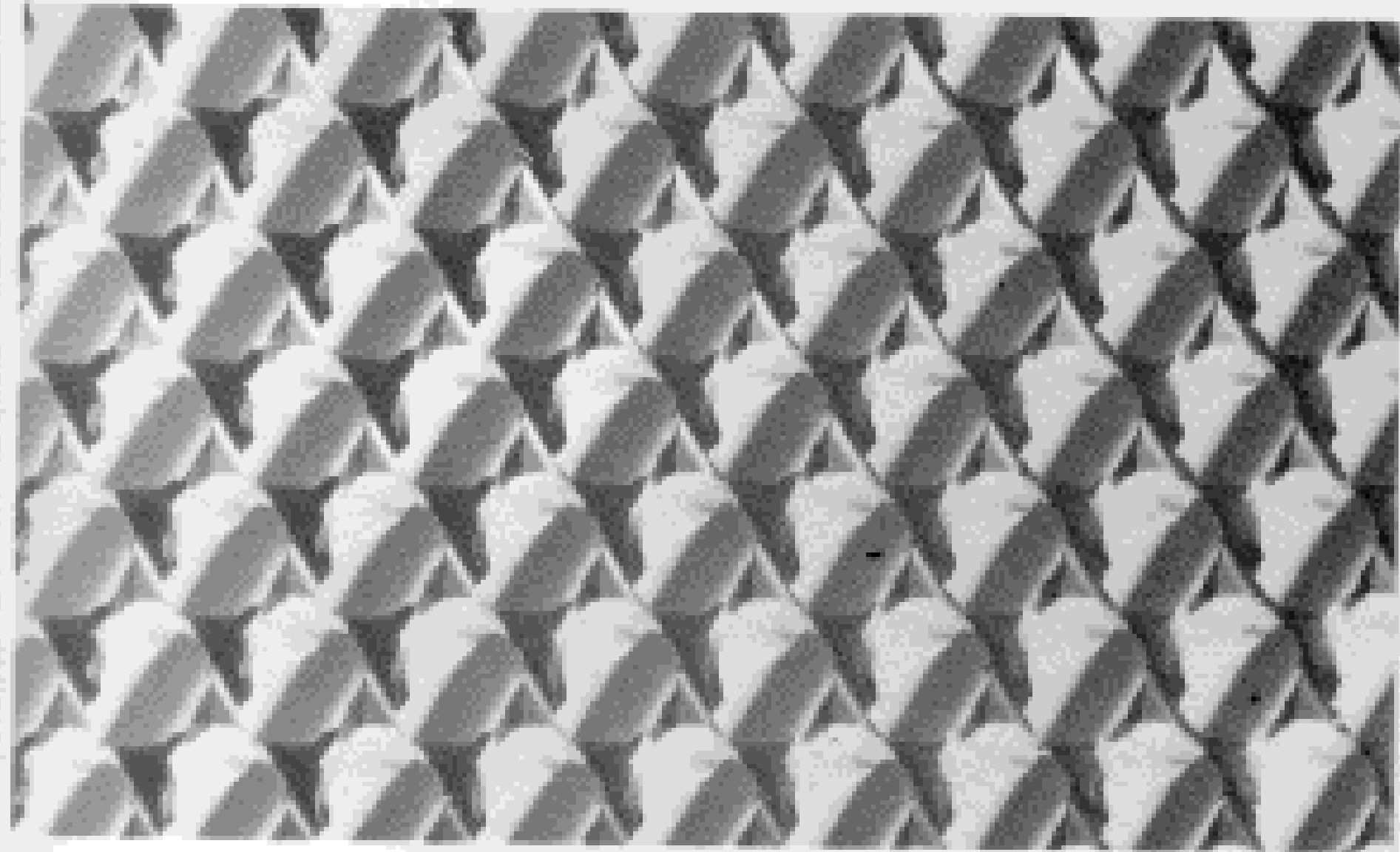




Encrassement Gaz / Particules : air + carbonate de calcium
ou dioxyde de titane

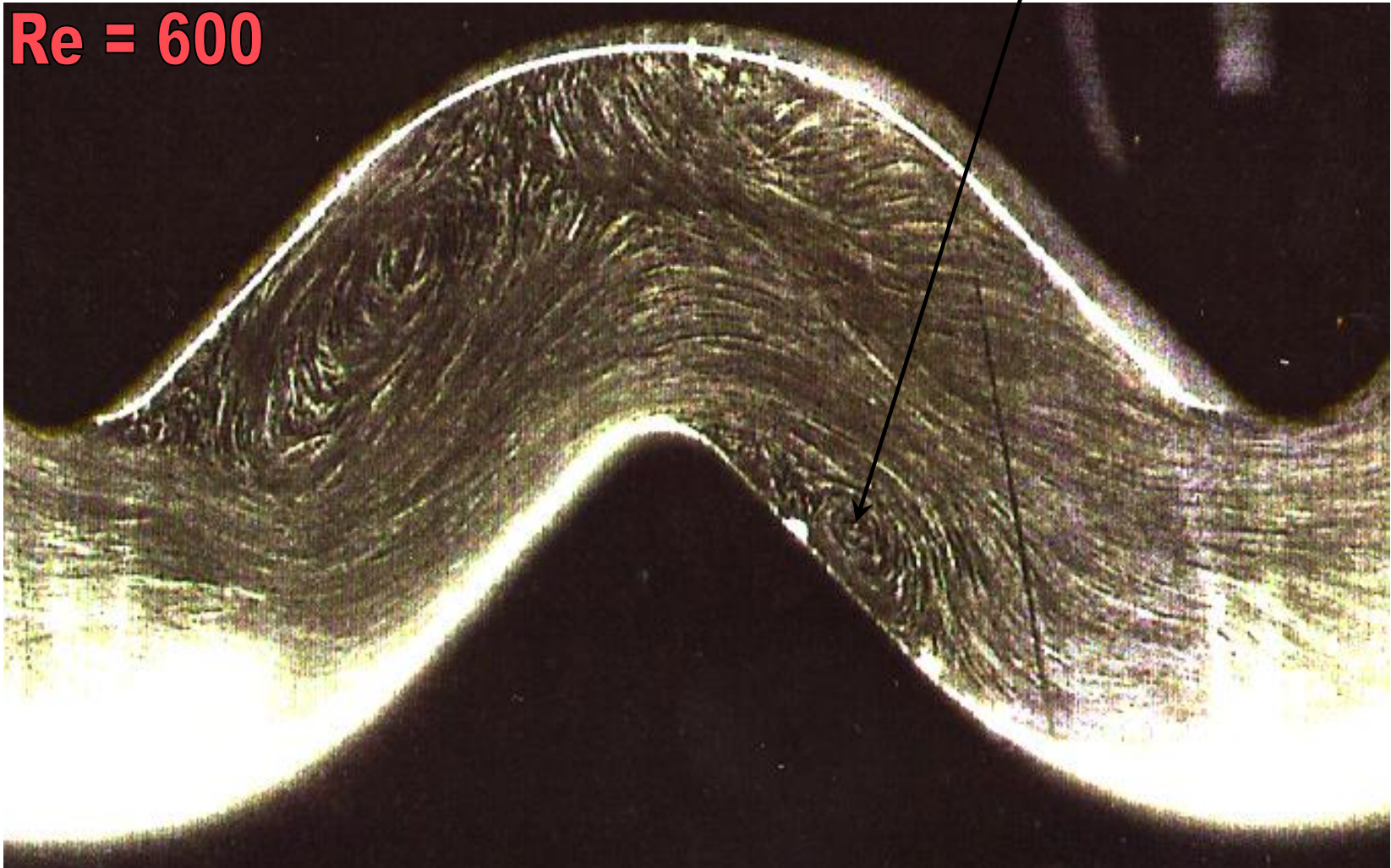






Zones préférentielles de dépôt
dans les recirculations (visualisation sur maquette
transparente)

Re = 600



1993 : Premier Brevet CEA/Vicarb

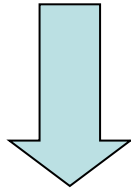
Concept Haricot :

Réduction des pertes de pression sans dégradation thermique par mise en place de bosses et creux.



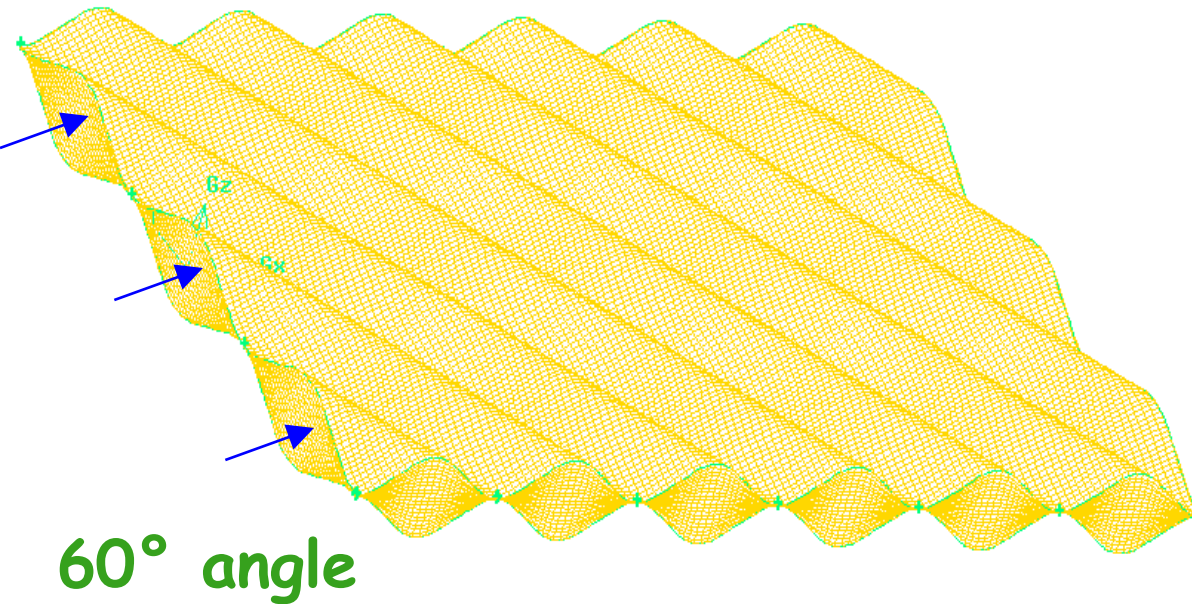
1993 – 1998 : tests empiriques

Impossibilité de reproduire
l'effet Haricot de manière
maîtrisée



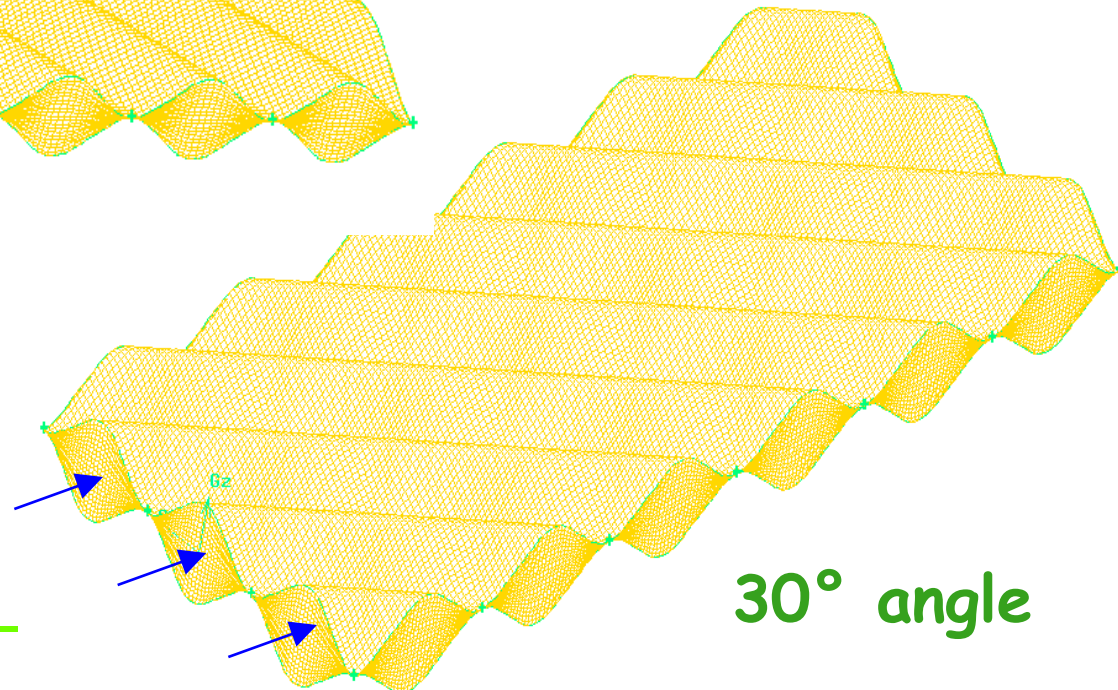
Nécessité d'un nouvel outil :
la modélisation numérique

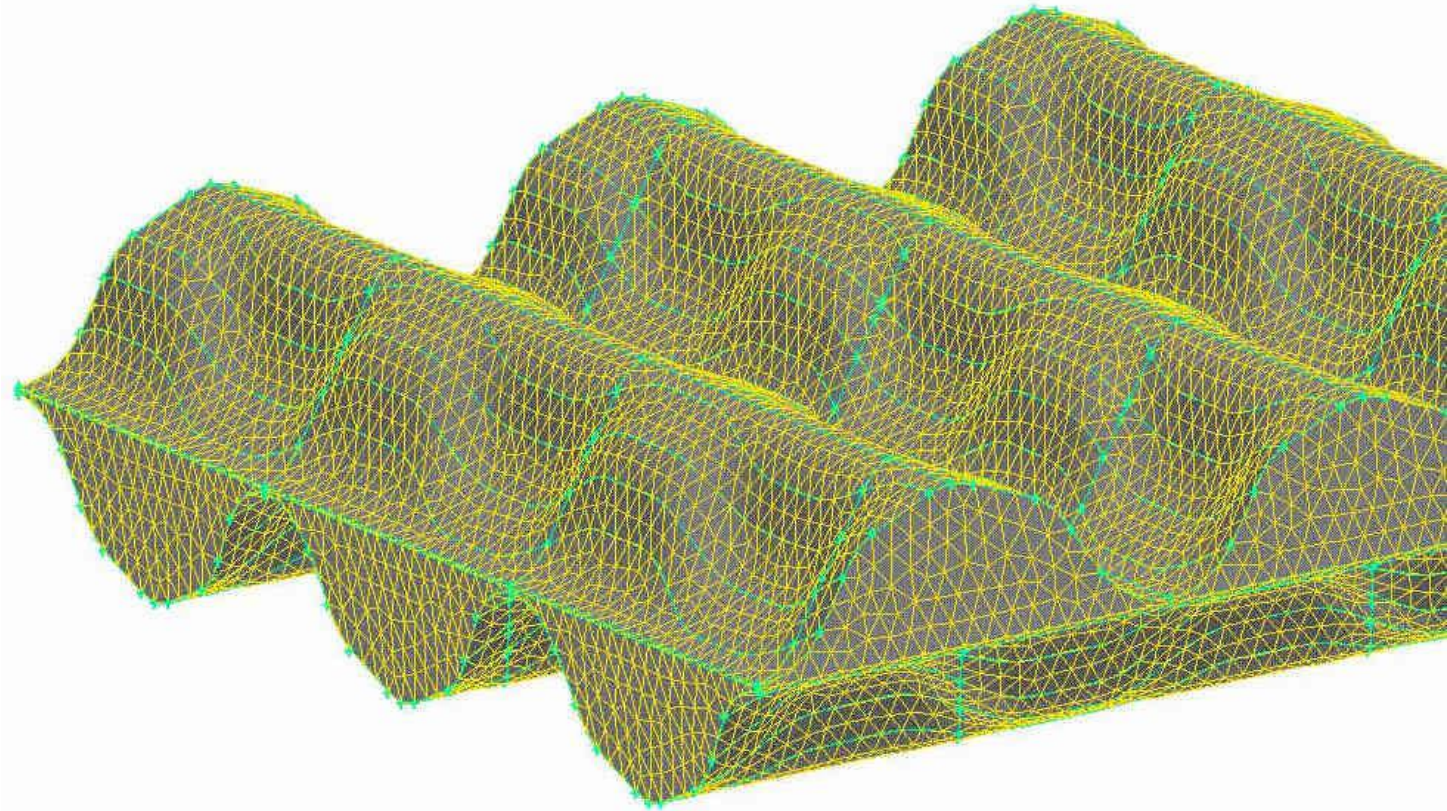




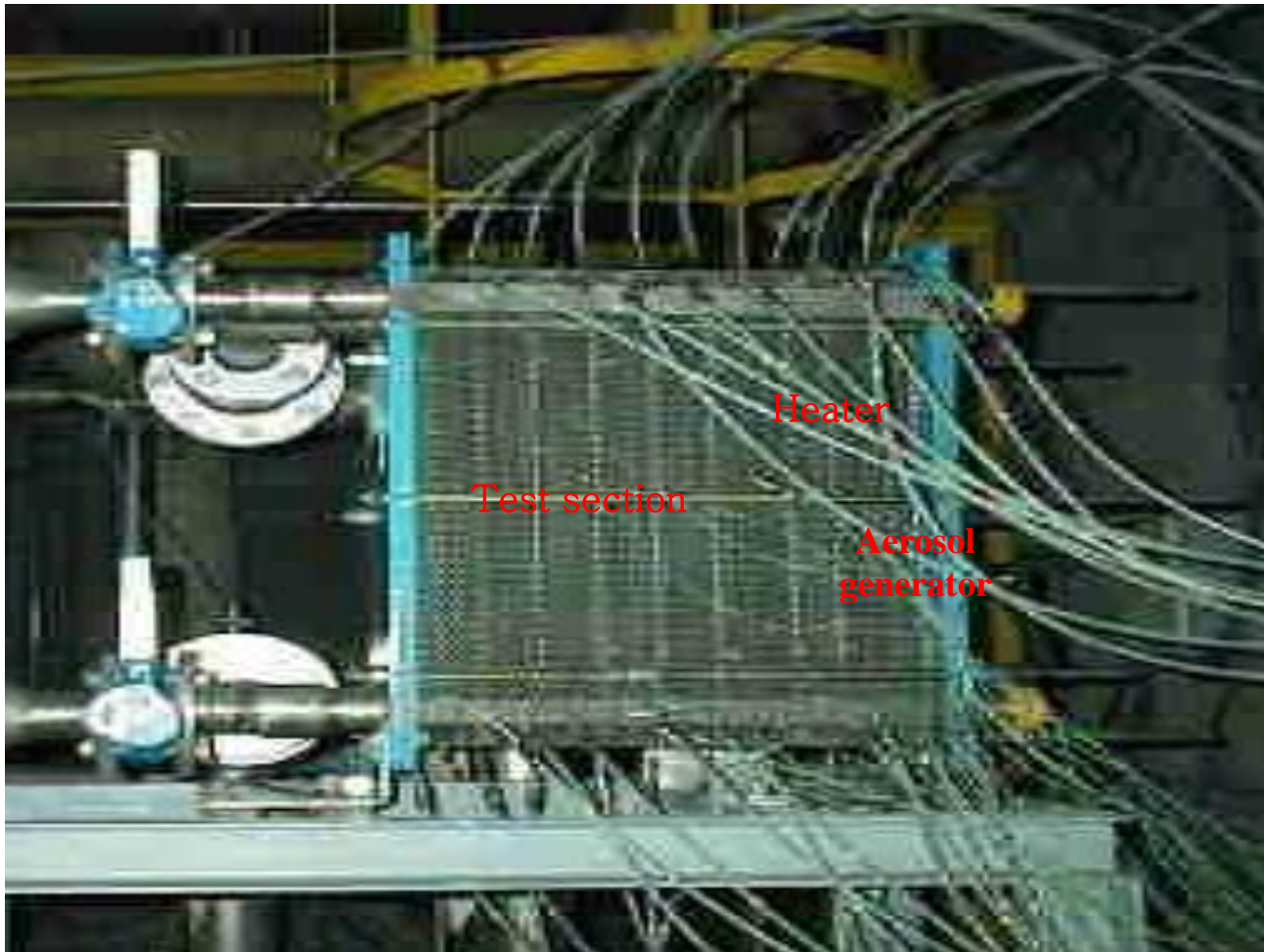
36 cellules

~ 1,000,000 mailles





eau claire / eau chargée en particules

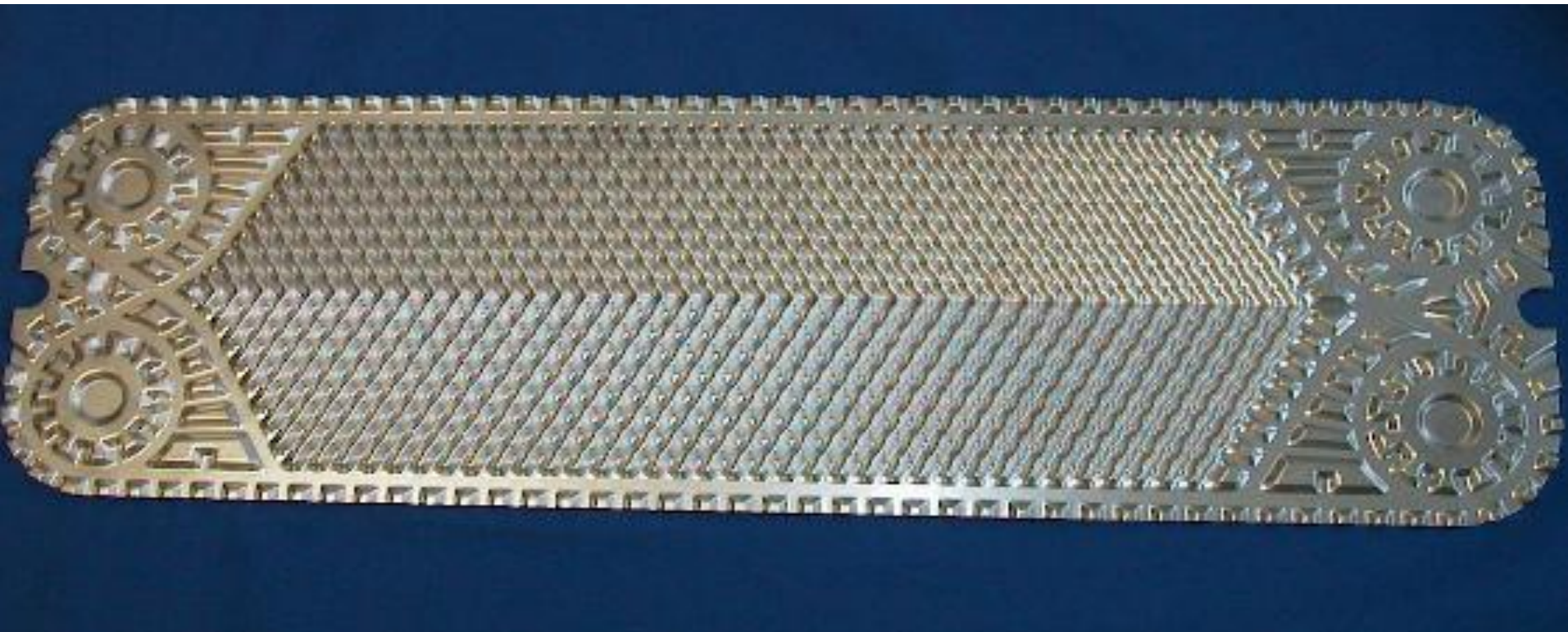


- ↳ Toutes les possibilités du concept haricot n'ont pas été explorées
- ↳ A été favorisée celle qui nous donnait un gain en DP
- ↳ Les résultats expérimentaux obtenus sont conformes aux attentes du modèle numérique, et même meilleurs en terme de pertes de pression
 - ↳ Réduction de 30% des pertes de pression sans baisse des performances thermiques

- ↪ En terme de méthodologie, le programme Haricot est un exemple, puisqu'il combine les étapes suivantes :
 - ↪ Idée à partir d'un constat expérimental: brevet
 - ↪ Modélisation numérique et optimisation
 - ↪ Tests sur maquette simple
 - ↪ Tests sur échangeur 21 plaques

- ↪ Dépôt d'un second brevet sur les plaques Haricot (Octobre 2004).

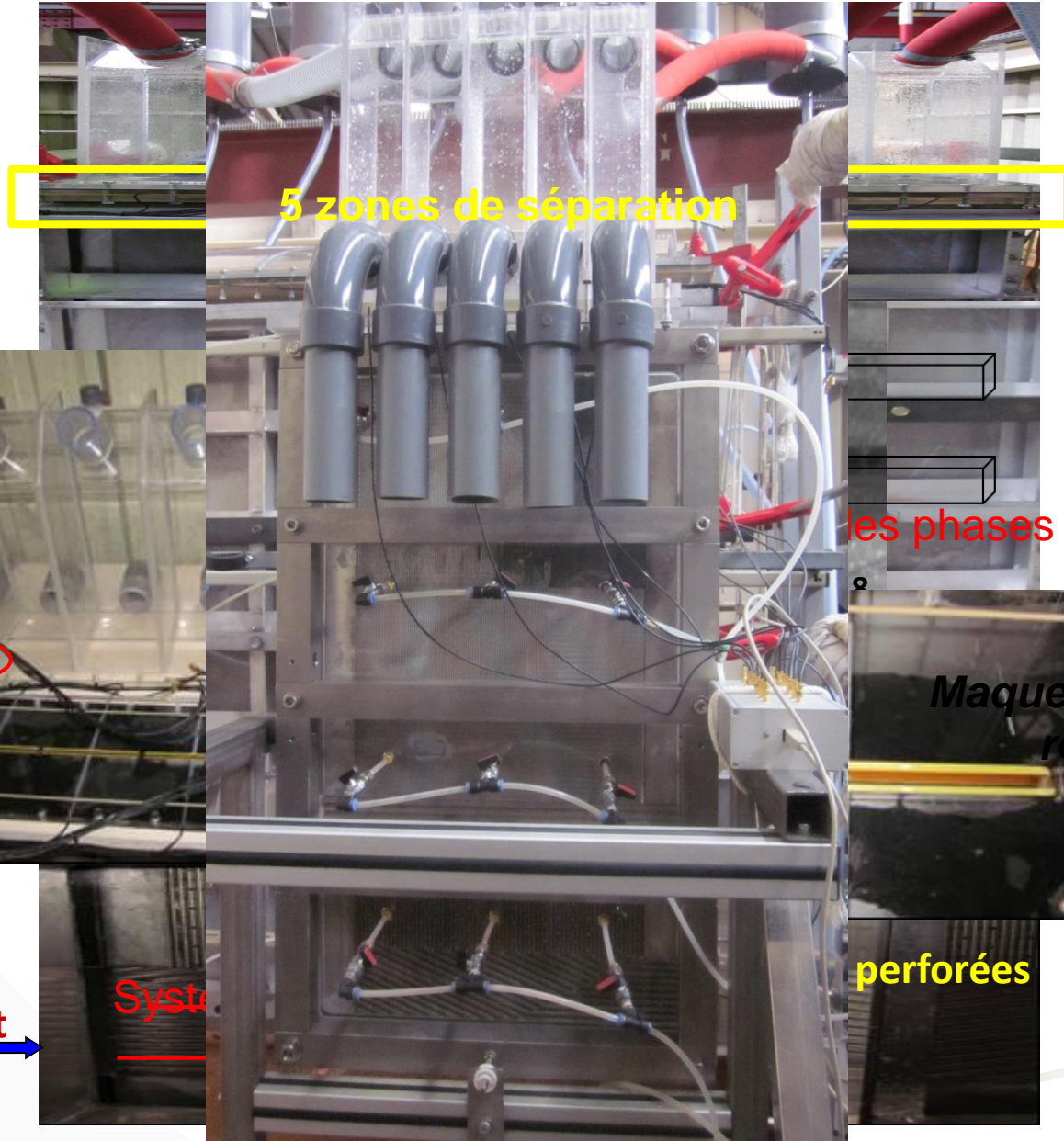
- ↪ Mise sur le marché en début 2005 des plaques T2B (ex V2) et T5L (ex V8)



un échangeur à plaques brasées

- **Visualisation en eau air sur maquette adiabatique**
- **Modélisation du fonctionnement du distributeur par CFD**
 - Simulation du distributeur complet
 - Etude locale d'un seul canal
 - Carte d'écoulement au niveau du distributeur

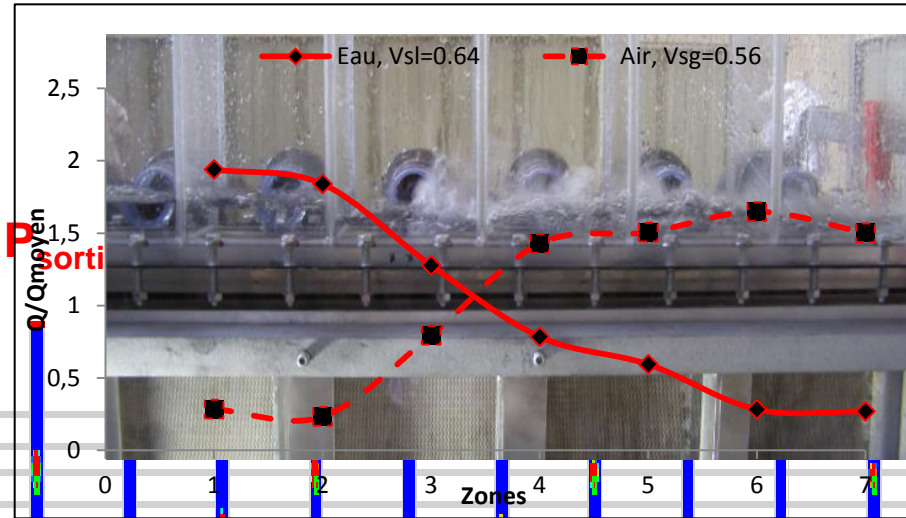
Conception et utilisation de la maquette



Simulation du distributeur complet

Distribution des phases à la sortie de l'échangeur

Distribution des phases à la sortie du distributeur



Eau
Gaz
Vsg

Air

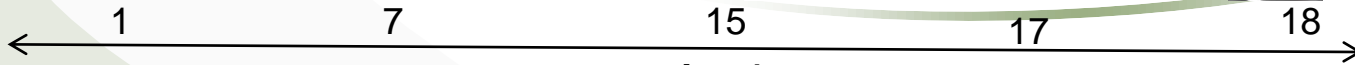
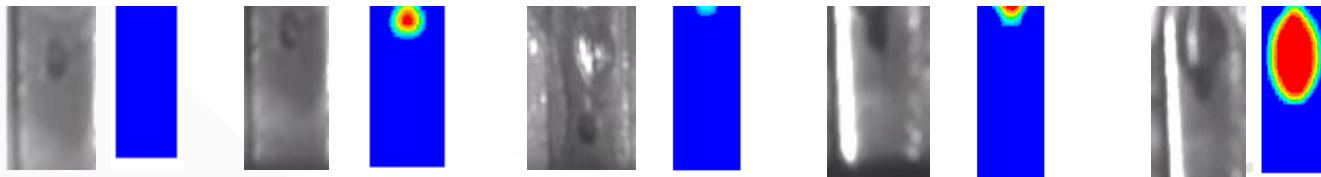
Diamètre des bulles



L = 1 m

Liquide
Vsl

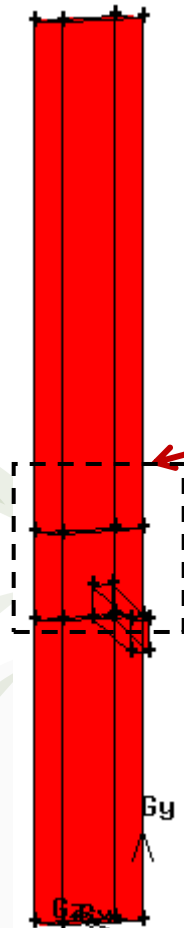
Pas
dan



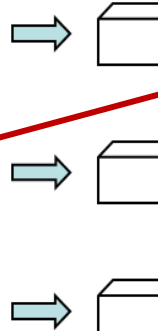
L = 1 m

Etude locale d'un seul canal

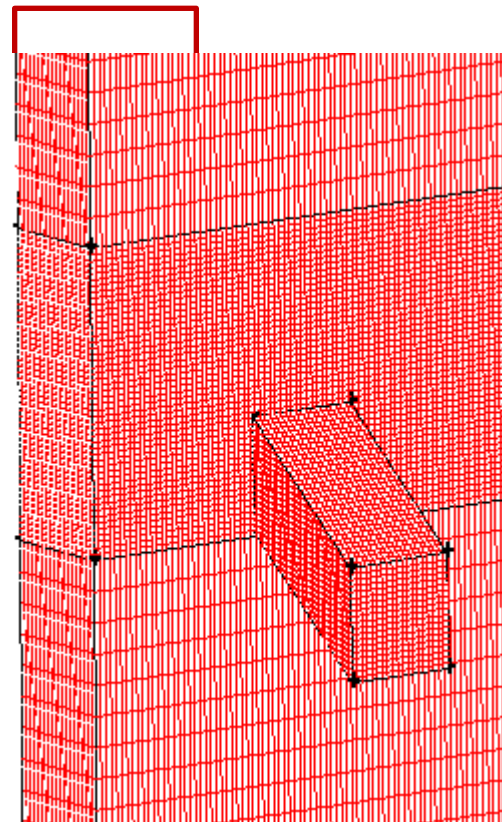
Pression



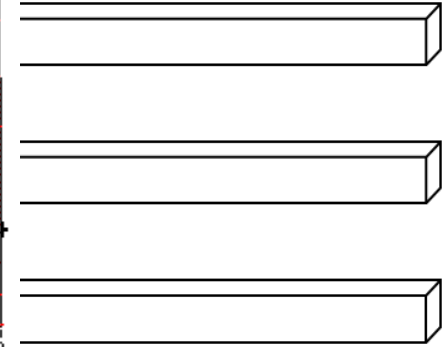
Phase 1



Canal



Orifices
d'injection



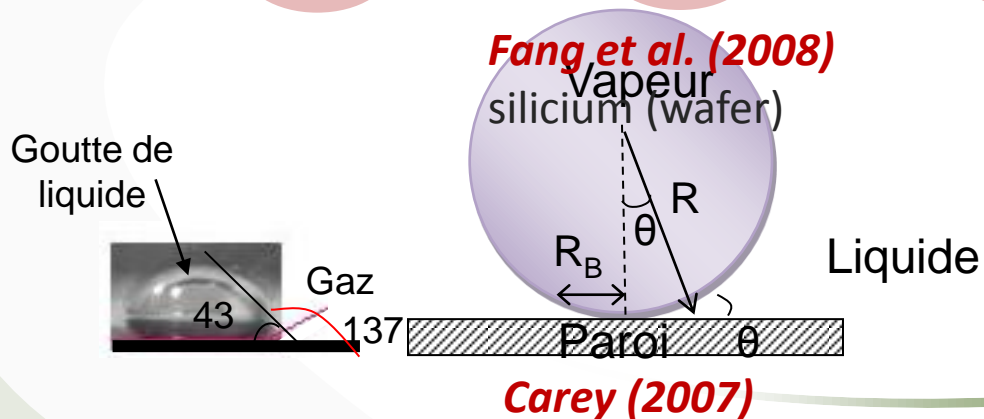
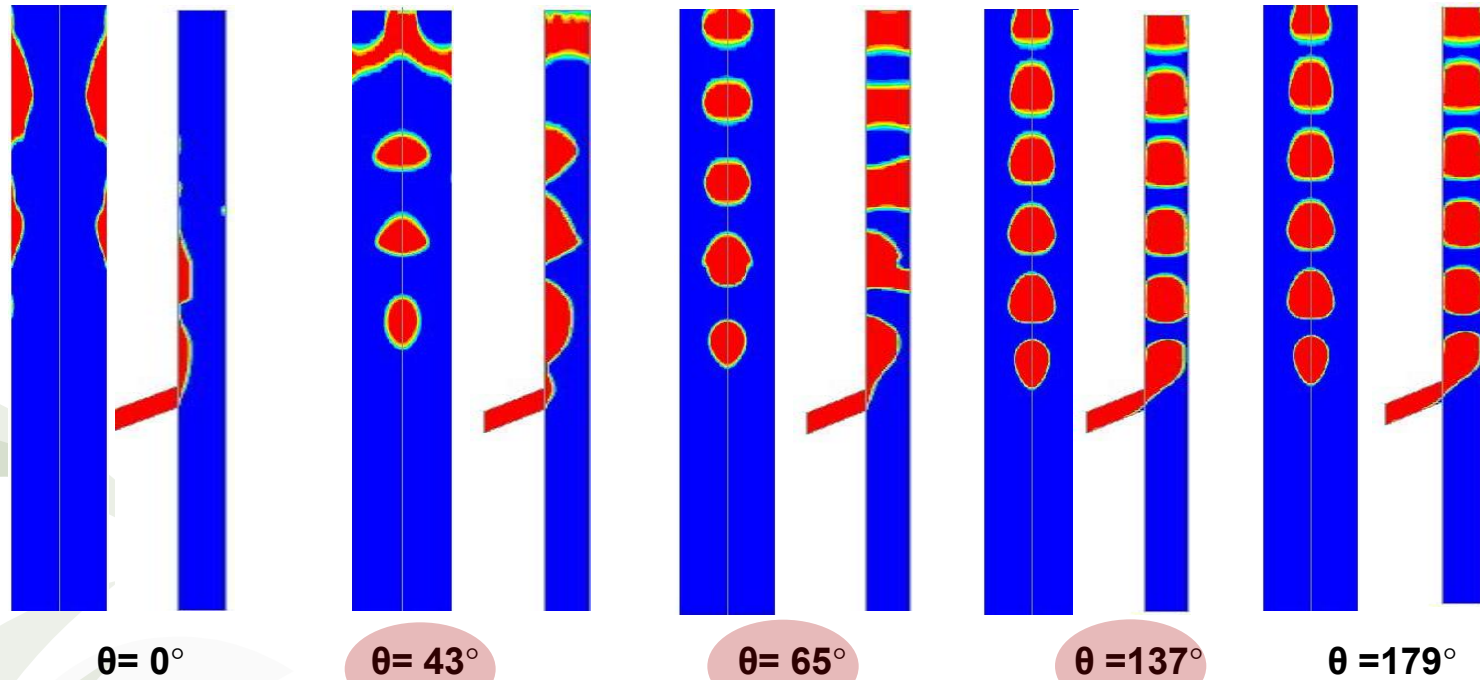
----> canal 18

Phase 2

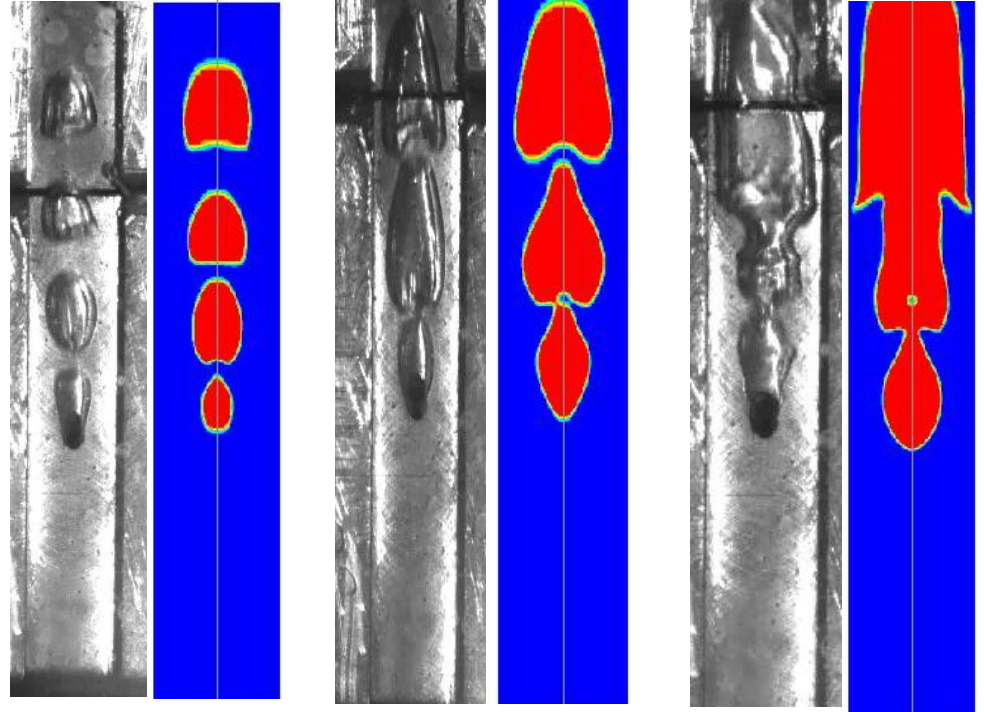
Temps de calcul de **1 à 2 semaines**
Maillage uniforme non conforme
2 millions de mailles

Effet de l'angle de contact

➔ Adhérence à la paroi, choix et effet de l'angle de contact



Comparaisons expériences-simulations

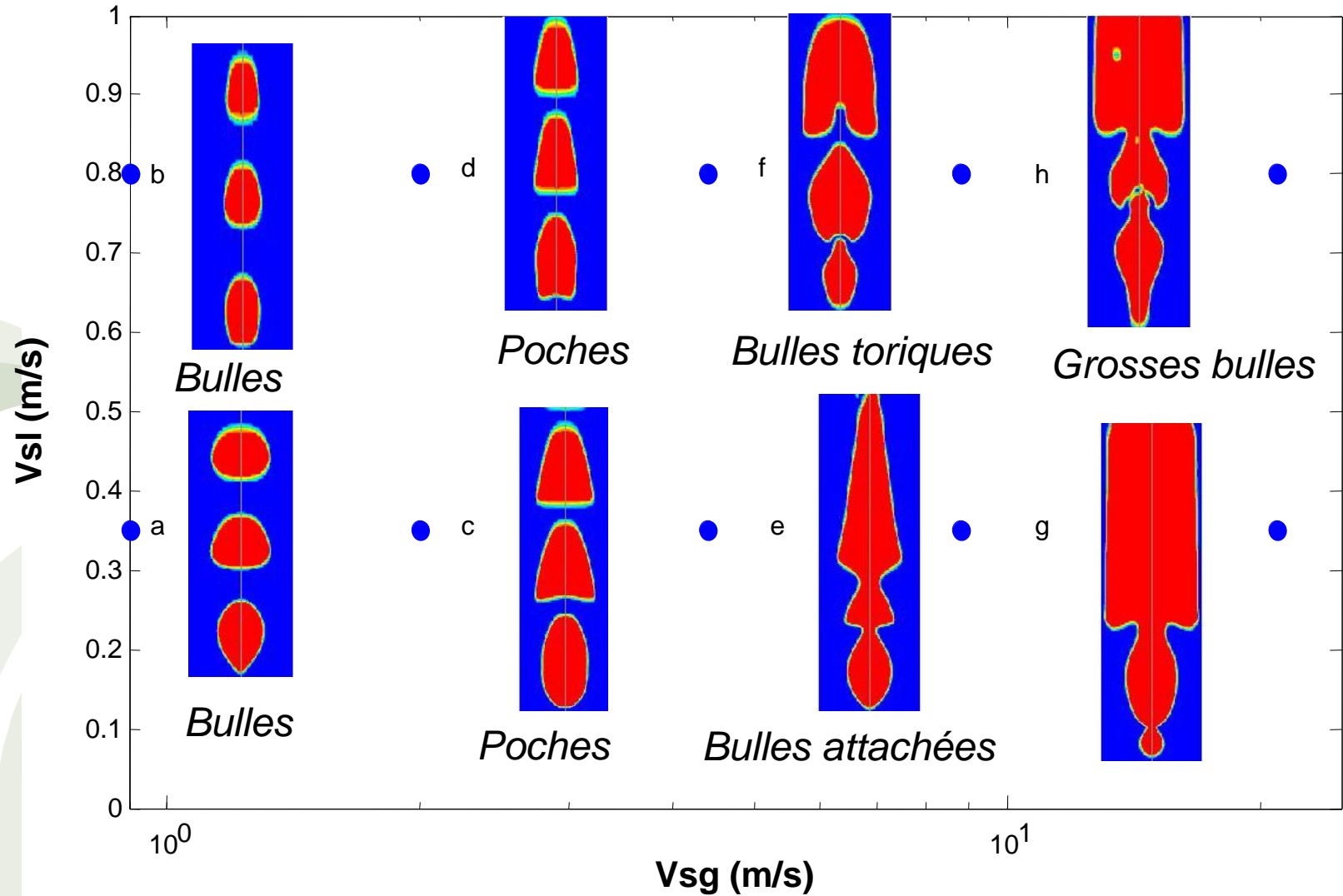


$V_{sl}=0.8$ m/s
 $V_{sg}=2$ m/s
 $\theta=137^\circ$

$V_{sl}=0.8$ m/s
 $V_{sg}=4$ m/s
 $\theta=137^\circ$

$V_{sl}=0.8$ m/s
 $V_{sg}=8.8$ m/s
 $\theta=137^\circ$

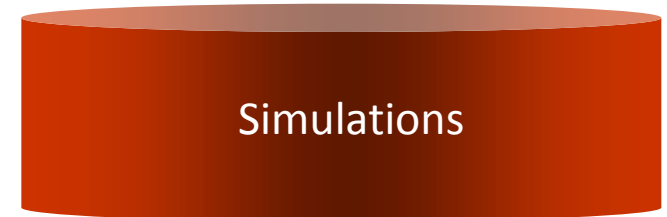
Carte d'écoulement au niveau du distributeur



Conclusions & Perspectives

- **Simulation 3D du distributeur constitue une première étape vers la simulation des échangeurs industriels**
- **Etendre les résultats aux mélanges d'hydrocarbures et de leurs vapeurs**
- **prise en compte de l'angle de contact dynamique**

Optimisation des échangeurs à plaques et ondes



Simulations

- **Etudier les paramètres influant sur les instabilités d'écoulements: géométrie, tension superficielle**
- **Conception d'un nouveau distributeur diphasique**



Expériences