

**Les microréacteurs :
Opportunités et applications pour les industries
chimiques**

Qui est ALCIMED ?

2



ALCIMED est une société de conseil et d'aide à la décision spécialisée dans le domaine des sciences de la vie et de la chimie fondée en 1993

Clients



➤ **Industriels leaders dans le domaine de la Santé, l'agroalimentaire, la chimie, les matériaux, l'énergie les biotechnologies / Institutionnels nationaux / Organismes Européens**

Champs d'intervention



➤ **R&D, marketing et stratégie à l'interface de la science et du business**

Equipe



➤ **Plus de 100 personnes de haut niveau diplômées des grandes écoles et meilleures universités européennes ayant pour la plupart une double formation business ou marketing**

ALCIMED en Europe



➤ **Paris, Lyon, Toulouse, Madrid, Cologne, Lausanne**

Contexte de l'étude

- Les **réacteurs microstructurés** représentent une opportunité offerte à l'industrie chimique de créer une **rupture technologique** dans le domaine des **procédés industriels**.
- Les réacteurs microstructurés doivent encore trouver leur place entre la **pétrochimie**, la **chimie fine** et les nombreuses applications de la **chimie de spécialités**.
- Les enjeux techniques sont de taille, à la fois au niveau de la **fabrication** des réacteurs microstructurés eux-mêmes que dans les phases de développement associées aux applications visées.
- Le développement des réacteurs microstructurés s'accélère aujourd'hui et s'appuie à la fois sur la mise en place de premiers réseaux européens et sur un dynamisme fort de l'**Europe** - en particulier de l'**Allemagne** -, des **Etats-Unis** et du **Japon**.
- **Dans cette effervescence actuelle, la France semble aujourd'hui en retrait.**

Objectif de la DGE

- **Le MINEFI envisage de participer à la promotion d'une politique de soutien à la recherche industrielle sur le thème des réacteurs microstructurés** pour renforcer la compétitivité des entreprises de chimie et créer de nouveaux emplois, améliorer la sécurité en matière de risques et promouvoir des actions concrètes dans le cadre de la politique de préservation de l'environnement (réduction des rejets, économie d'énergie, meilleure intégration des infrastructures industrielles).
- **Le MINEFI souhaite aujourd'hui se donner les moyens :**
 - de surmonter les problèmes scientifiques et techniques auxquels les réacteurs microstructurés doivent faire face,
 - de profiter de cette opportunité pour maintenir et renforcer notre compétitivité en chimie par une approche d'innovation et de développement durable.

Objectif d'ALCIMED

- **L'objectif d'ALCIMED est d'aider le MINEFI dans cette démarche en réalisant une étude en trois phases :**
 - Recensement des applications potentielles des réacteurs microstructurés et sélection du champ d'investigation prioritaire pour les phases suivantes
 - Cartographie du savoir-faire français dans le domaine des réacteurs microstructurés et positionnement de la France dans un environnement international.
 - Analyse des besoins et attentes des industriels français, évaluation de l'impact économique des réacteurs microstructurés et synthèse de la position de la France.

Le comité de pilotage

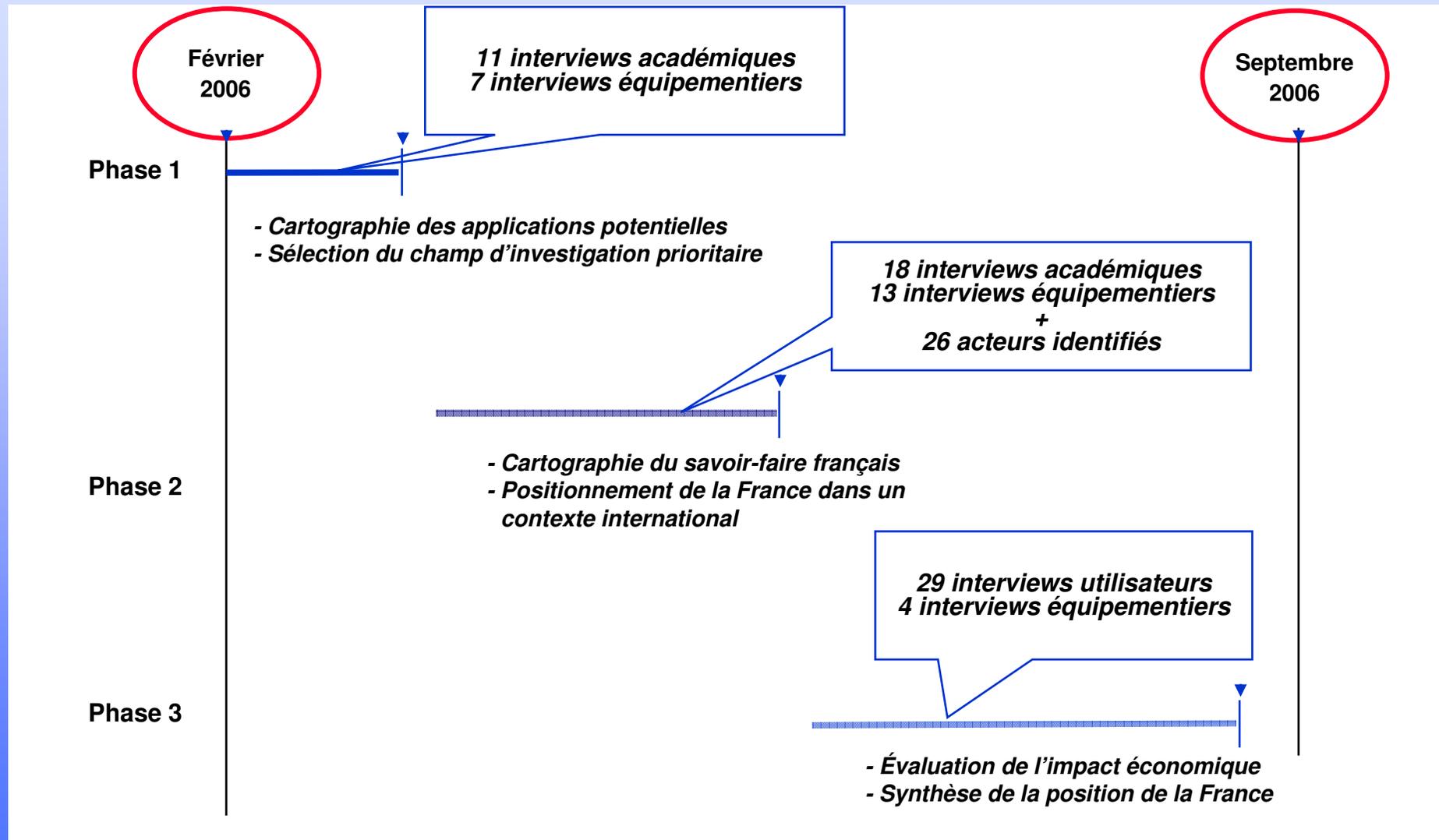
5



Louis Trépiéd	DGE
Marc Condat	MENR
Isabelle Rico-Lattes	MEDD
Sylvie Dumartineix	OSEO ANVAR
Jean-Antoine Gruss	CEA
Patrice Tochon	CEA
Claude Vauchier	CEA
Gilles Le Marois	CEA
Denis Bortzmeyer	ARKEMA
Jean-Pierre Brunelle	RHODIA
Edouard Brunet	SAINT-GOBAIN
François Fuentes	AIR LIQUIDE
David Averous	NORDON CRYOGENIE
Michel Froehlicher	CTMN
Christophe Boyer	IFP
Gilbert Rios	IEM Montpellier
Michaël Matlosz	INPL Nancy

Le planning de l'étude

6



Définitions

Panorama des technologies microstructures

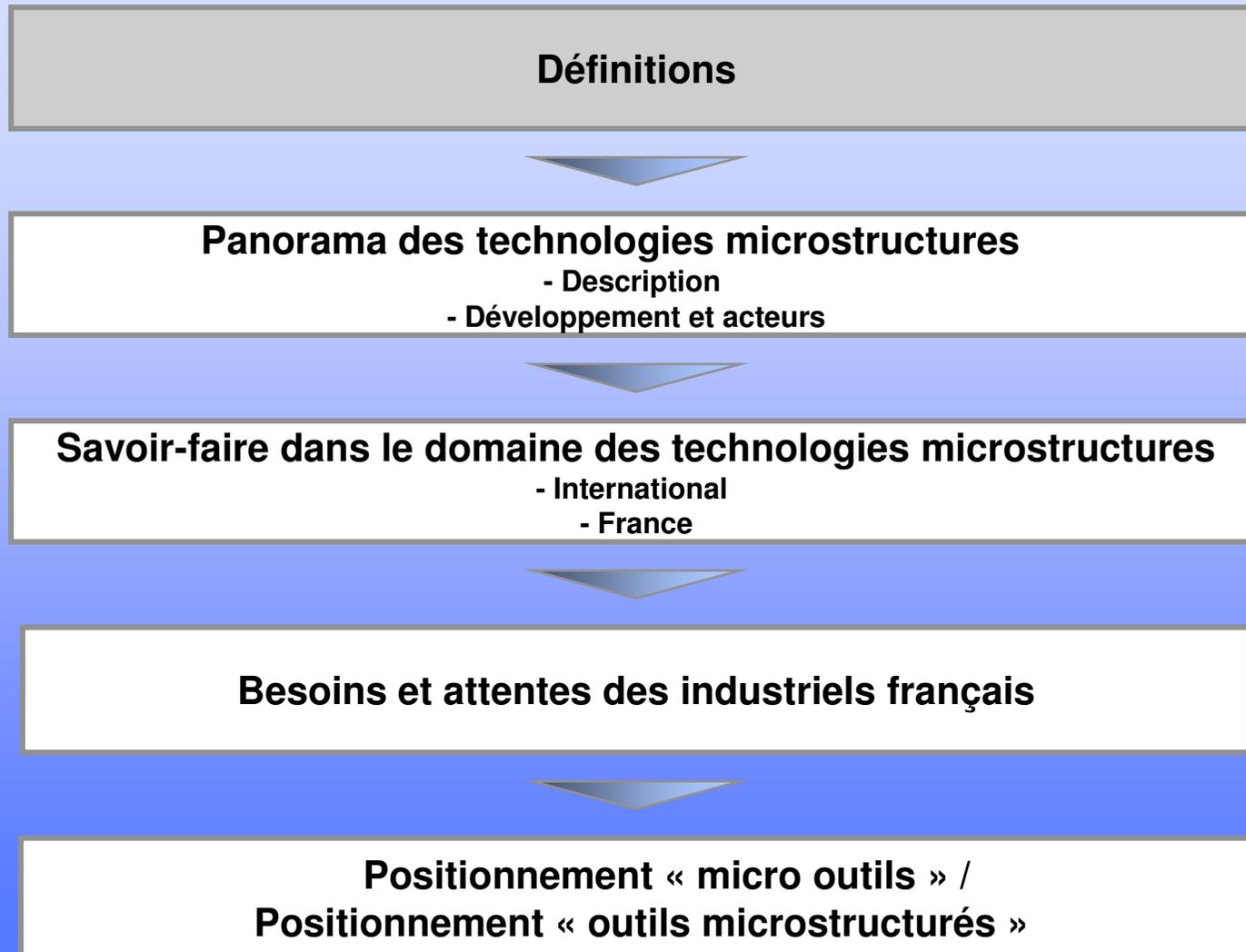
- Description
- Développement et acteurs

Savoir-faire dans le domaine des technologies microstructures

- International
- France

Besoins et attentes des industriels français

Positionnement « micro outils » /
Positionnement « outils microstructurés »



→ **Travailler à l'échelle du micromètre permet de révéler au niveau de la fluïdique ou bien au niveau des propriétés physico-chimiques de la matière des phénomènes inhabituels ...**

- **Les écoulements de fluides à l'échelle micrométrique sont des écoulements laminaires, à bas nombre de Reynolds (sans turbulence).**
- **Les écoulements de fluides dans des systèmes micrométriques mettent en œuvre une physico-chimie inhabituelle.**
 - Les dimensions caractéristiques d'une réaction chimique (transport de matière, transfert de chaleur et mélange) sont comprises entre **50** et **300** microns. La production industrielle ne met généralement pas en œuvre de telles dimensions.
 - A ces dimensions, les phénomènes hydrodynamiques et physico-chimiques liés aux différents mécanismes de transport de matière, transfert de chaleur ou mélange sont gouvernés par des effets surfaciques. Des comportements « non conventionnels » peuvent être observés.

Définitions

réacteur microstructuré

10

→ ... d'où l'intérêt de développer des réacteurs microstructurés pour tirer pleinement partie de ces avantages.

Réacteurs classiques (Échelle macro)

- Il existe deux grandes familles de réacteurs :
 - Réacteur continu (procédés à fort tonnage, ex. pétrochimie)
 - Réacteur batch (petites productions, élaboration de produits à haute valeur ajoutée, ex. chimie fine, pharmacie)
- Dans un réacteur classique, les étapes-clés sont conçues par extrapolation à partir des différents essais réalisés en laboratoire (« scale-up »), et peuvent connaître des problèmes de reproductibilité.

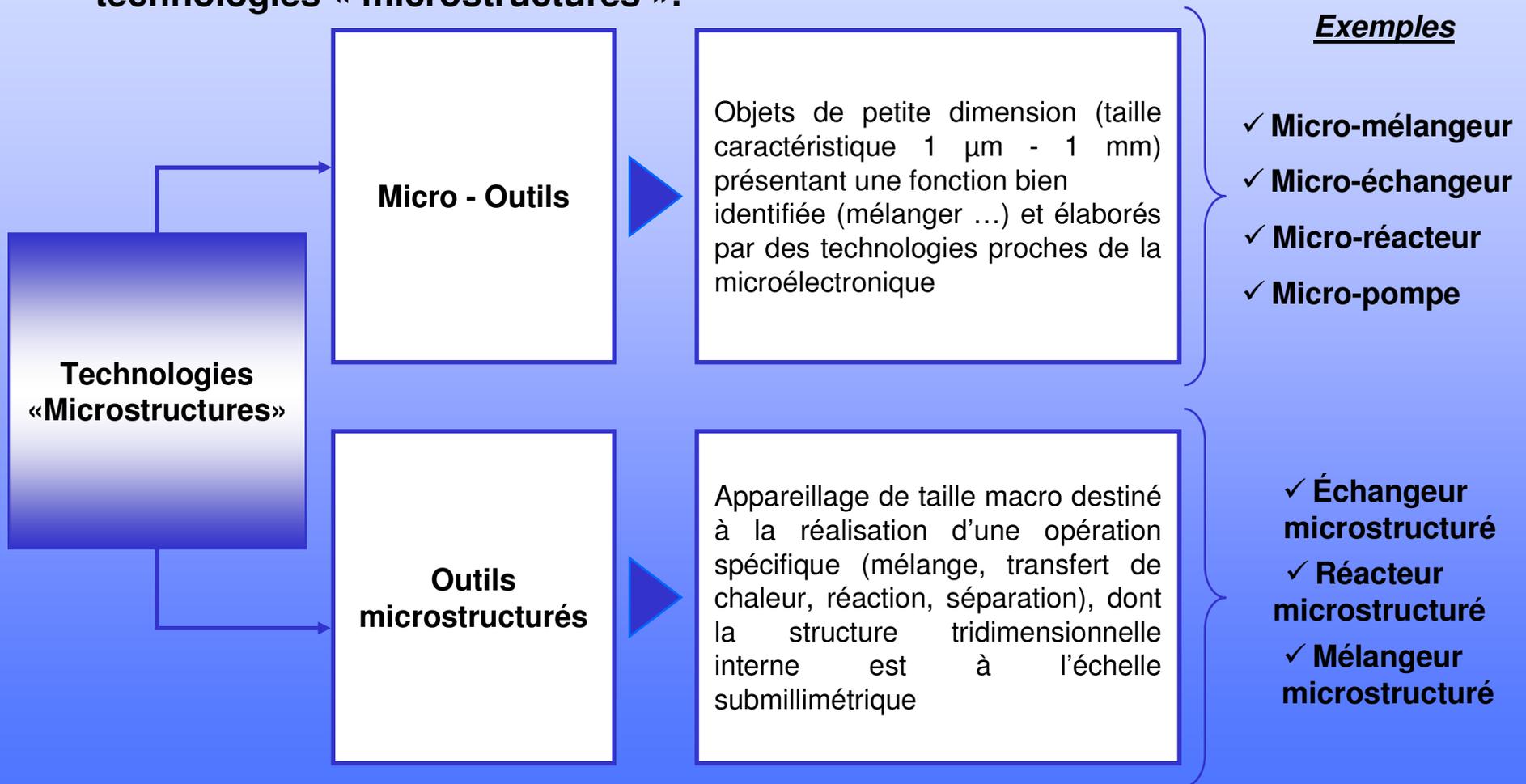
Réacteurs microstructurés (Échelle micro)

- On appelle réacteur microstructuré tout système dont la structuration est faite à l'échelle du micromètre, par exemple :
 - Chambre de réaction
 - Canaux
 - Chambre d'analyse
- Dans un réacteur microstructuré, les étapes-clés se font à l'échelle du micromètre (analyse chimique / réactions chimiques).
- De ce fait, ces systèmes présentent de meilleurs rendements, avec une sensibilité et une réactivité optimisées, et permettent le passage du batch au continu.

Définitions

technologies microstructures

→ Dans le cadre de cette étude, deux types de microstructures sont considérés : les micro-outils et les outils microstructurés, rassemblés sous le terme technologies « microstructures ».



Définitions

Panorama des technologies microstructures

- Description
- Développement et acteurs

Savoir-faire dans le domaine des technologies microstructures

- International
- France

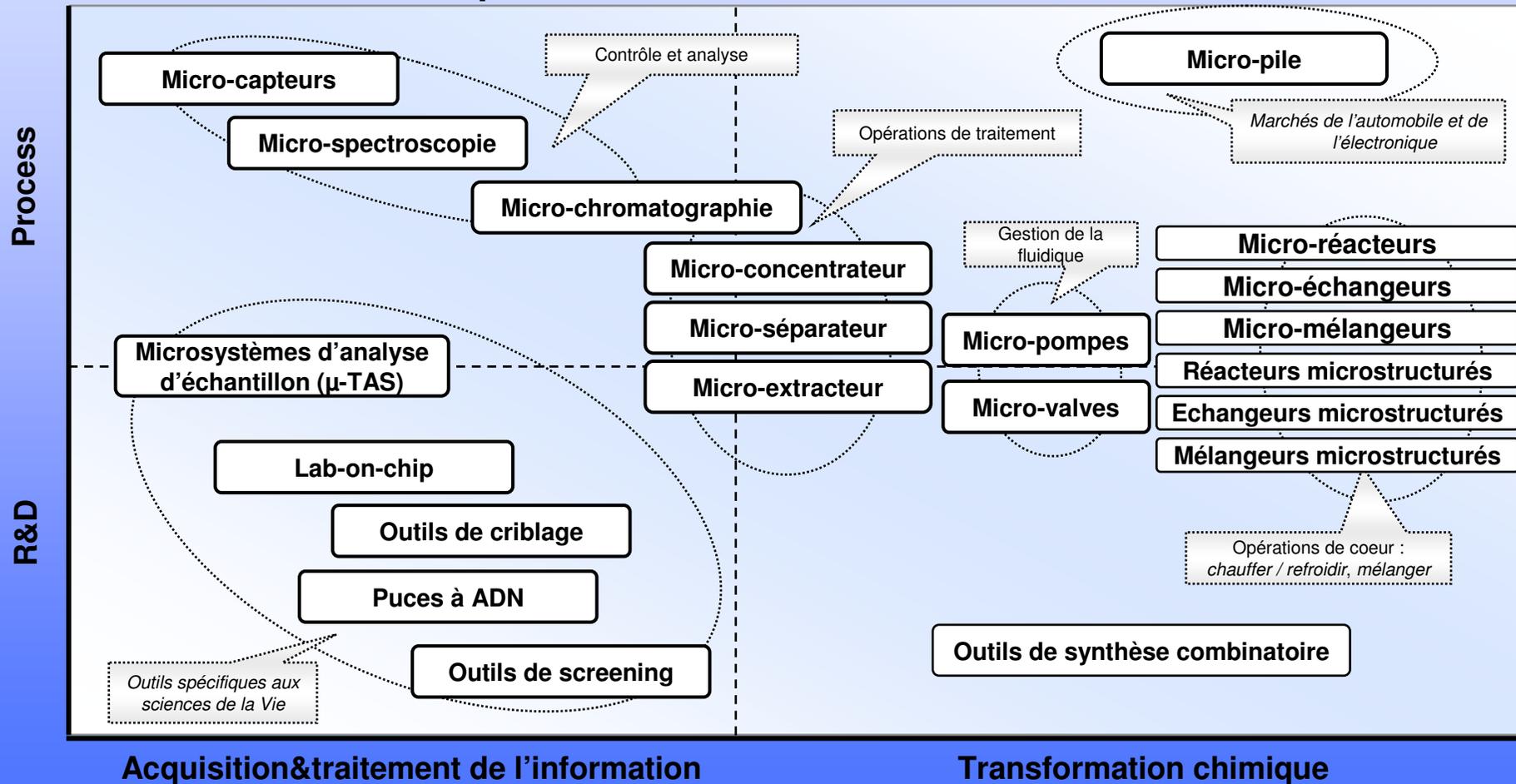
Besoins et attentes des industriels français

**Positionnement « micro outils » /
Positionnement « outils microstructurés »**

Types de technologies microstructures

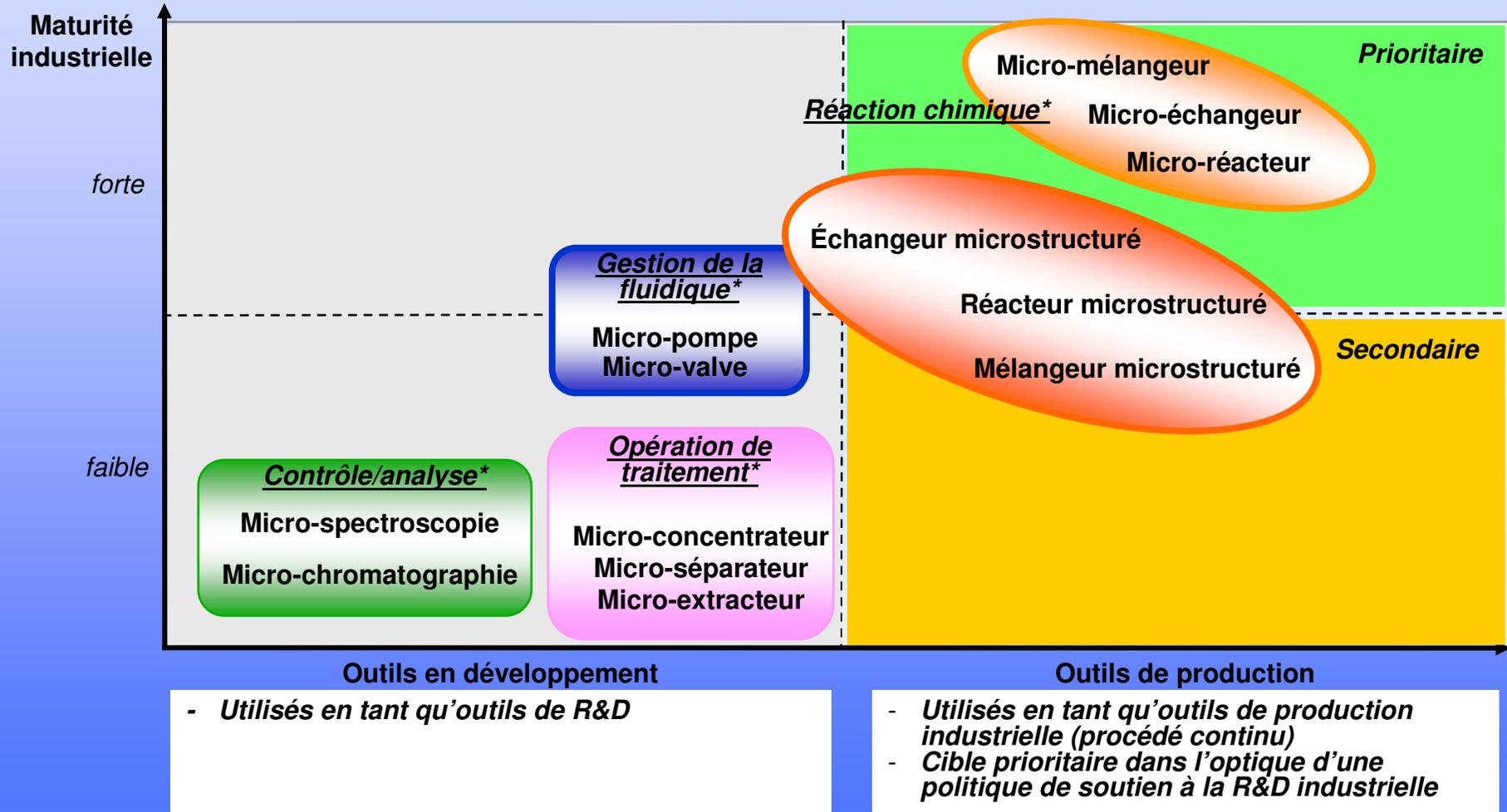
première segmentation

→ 21 types de réacteurs microstructurés ont été identifiés, se répartissant entre applications R&D / industrielles et acquisition & traitement de l'information / transformation chimique.



Technologies « microstructures » *technologies prometteuses*

→ Seules les technologies microstructures destinées à la réaction chimique sont jugées comme prometteuses.



*représentent les 4 étapes unitaires d'un procédé chimique

→ L'élaboration des technologies microstructures repose sur deux approches distinctes : l'approche « top-down » et l'approche « bottom-up ».

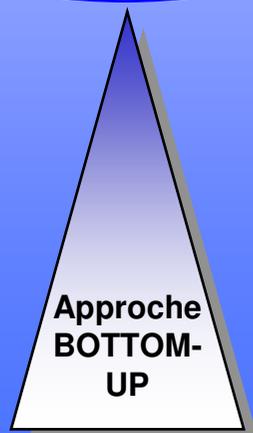


- L'approche « top-down », historiquement utilisée par l'industrie micro-électronique, permet aujourd'hui, grâce aux progrès technologiques, de miniaturiser des objets de plus en plus petits touchant des domaines aussi variés que la mécanique, la biologie, la médecine, la chimie ...
 - «Nous maîtrisons certaines microtechnologies, nous avons décidé de l'appliquer à nos échangeurs de chaleur pour proposer un appareillage microstructuré» *Mr Levy, Service commercial, Heatric*

Problématique industrielle

- Les premiers essais de conception d'appareillages microstructurés sont réalisés vers la fin des années 80.

Technologies microstructures



- L'approche « bottom-up » consiste à construire, à partir d'une structure initiale, un dispositif de taille supérieure par assemblage ou auto-assemblage. Cette approche devrait permettre un contrôle précis de la matière, en s'affranchissant des limitations de la miniaturisation.
 - «Nous fabriquons depuis le début des outils dédiés à la R&D, mais nous proposons maintenant des outils de process de taille supérieure» *Mr Hessel, Vice-directeur scientifique, IMM*

Approche académique

- Les premiers réacteurs microstructurés conçus avec cette approche sont apparus il y a une dizaine d'années, au début des années 90.

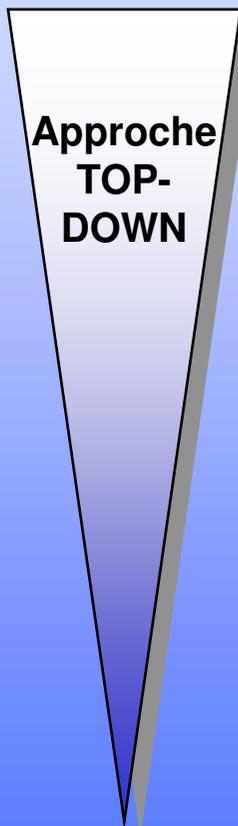
Approche « top-down »

principaux acteurs identifiés

16

→ L'approche «top-down» est privilégiée par les fabricants d'échangeurs thermiques et les équipementiers de la filière industrielle traditionnelle.

Principaux acteurs identifiés



- **HEATRIC** conçoit et fabrique des échangeurs thermiques, et propose aujourd'hui deux appareillages microstructurés de taille macro :
 - L'échangeur circuit imprimé ECI (de l'anglais Printed Circuit Heat Exchanger-PCHE), échangeur compact de très haute résistance, généralement utilisé dans des procédés d'hydrocarbures
 - Le PCR, réacteur chimique incorporant les deux fonctions mélange et échange de chaleur, pour des applications allant du réformage pour piles à combustible, à la production de chimie fine.



- **CHART** est un fournisseur de systèmes de refroidissement et propose aujourd'hui des échangeurs thermiques et des réacteurs chimiques microstructurés compacts ou de taille macroscopique :
 - Le réacteur ShimTec combine les deux fonctions mélange et échange de chaleur, pour des applications de réformage et de synthèse en chimie fine et pharmacie.



- **ALFA LAVAL** est leader dans le domaine des équipements de séparation, des échangeurs thermiques et du transfert des fluides, et propose aujourd'hui des échangeurs thermiques compacts à plaques.

Technologies
microstructures

Approche « bottom-up »

principaux acteurs identifiés

17

- Les spin-off issues des centres de recherche, principalement allemands, adoptent une approche «bottom-up» pour se positionner sur le marché des réacteurs microstructurés.

Technologies
microstructures

Approche
BOTTOM-
UP



- Start-up de taille moyenne fondée en 2000, Ehrfeld a été rachetée en 2004 par Bayer Technology Services (BTS), et propose une large gamme de systèmes microstructurés : micro-mélangeurs, -échangeurs, -réacteurs, -capteurs, -actuateurs... pour des applications R&D ou de production.



- IMM a été fondé en 1990, et se définit comme un fournisseur de microsystèmes pour la R&D, avec une large gamme de micro-mélangeurs, -échangeurs de chaleur, -réacteurs, -capteurs, -actuateurs, puces...



- Spin-off d'IMM, CPC-Systems a été fondé en 1999, et propose le micro-réacteur CYTOS à destination de l'industrie pharmaceutique.



- Spin-off d'IMM, Mikrogilas a été fondé en 2004 et se spécialise dans la conception et la fabrication de micro-mélangeurs, -échangeurs, -réacteurs en verre.



- Bartels a été fondé en 1996 et propose des outils de microfluidique (micro-pompes, -valves) à destination de l'industrie.



- Velocys développe des micro-réacteurs à destination des secteurs de la chimie et de l'énergie.

Principaux acteurs identifiés

Définitions

Panorama des technologies microstructures

- Description
- Développement et acteurs

Savoir-faire dans le domaine des technologies microstructures

- International
- France

Besoins et attentes des industriels français

**Positionnement « micro outils » /
Positionnement « outils microstructurés »**

Utilisation des technologies microstructures

logique de cas par cas

19

→ **L'utilisation industrielle des technologies microstructures est très récente, si bien qu'elles sont encore conçues et développées au cas par cas ...**

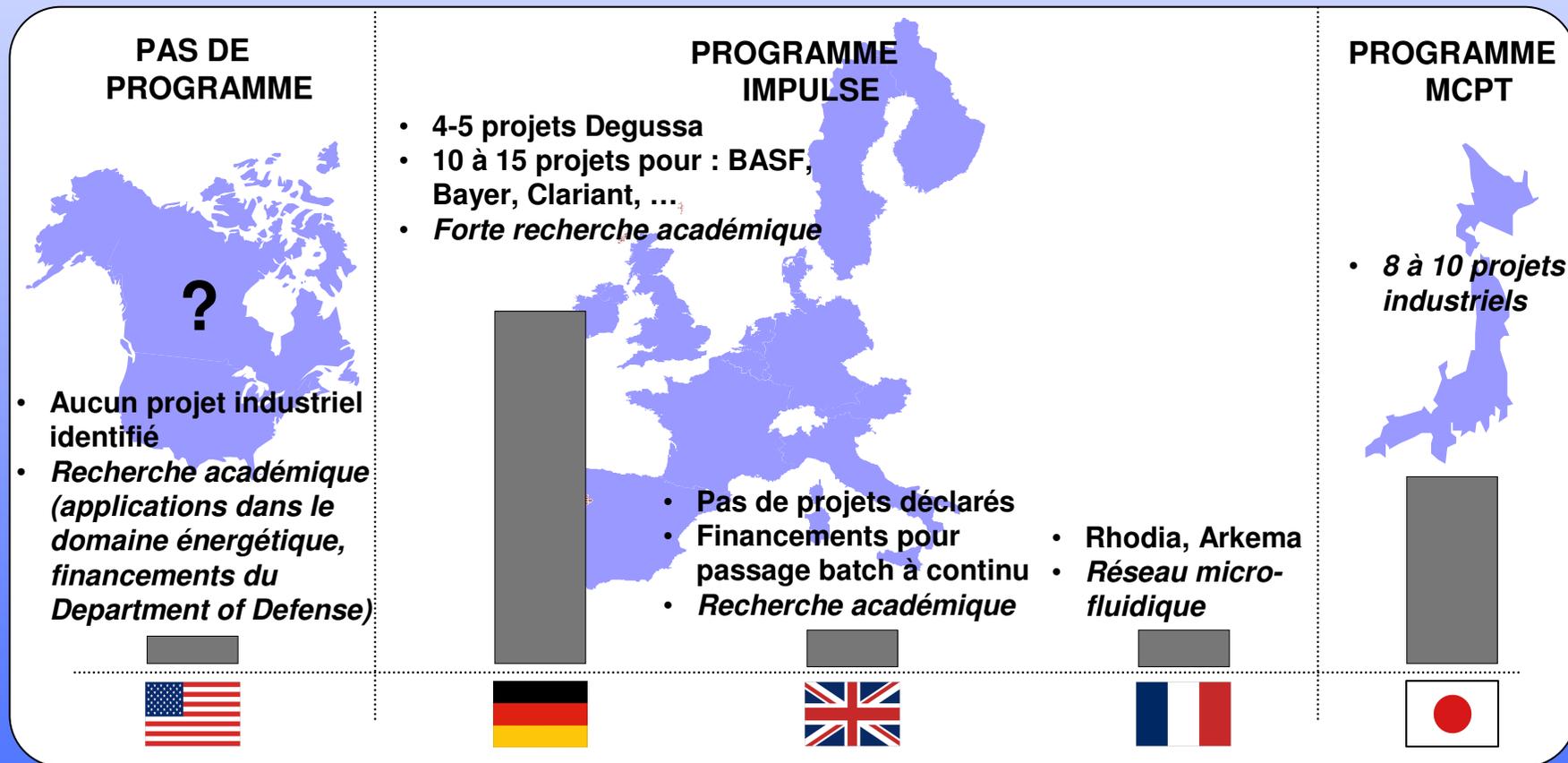
- **Les réacteurs microstructurés n'en sont encore qu'à leurs débuts, et les retours d'expérience sont peu nombreux...**
 - « Les débuts des réacteurs microstructurés remontent à une dizaine d'années » *Pr Yoshida, Coordinateur du programme MCPT.*
 - Malgré la disponibilité sur le marché de certains produits standardisés (par ex. micro-mélangeurs), relativement peu d'industriels communiquent sur l'utilisation de réacteurs microstructurés.
 - L'industrie pharmaceutique et la chimie fine sont les secteurs qui communiquent le plus sur l'utilisation de réacteurs microstructurés, en pilote de laboratoire ou en production.
- **...ce qui ne permet pas encore de généraliser leur utilisation, conduisant à un développement au cas par cas.**
 - Les fournisseurs conçoivent et construisent les réacteurs microstructurés selon le cahier des charges du demandeur.
 - « On a toujours une approche de cas par cas pour fournir un réacteur microstructuré à un industriel, a fortiori pour la pharmacie » *Mr Kursawe, Ingénieur, CPC-Systems.*

Utilisation des réacteurs microstructurés

projets identifiés

20

→ ... représentant aujourd'hui, une trentaine de projets industriels dans le monde, dont la majeure partie en Europe, et surtout en Allemagne.



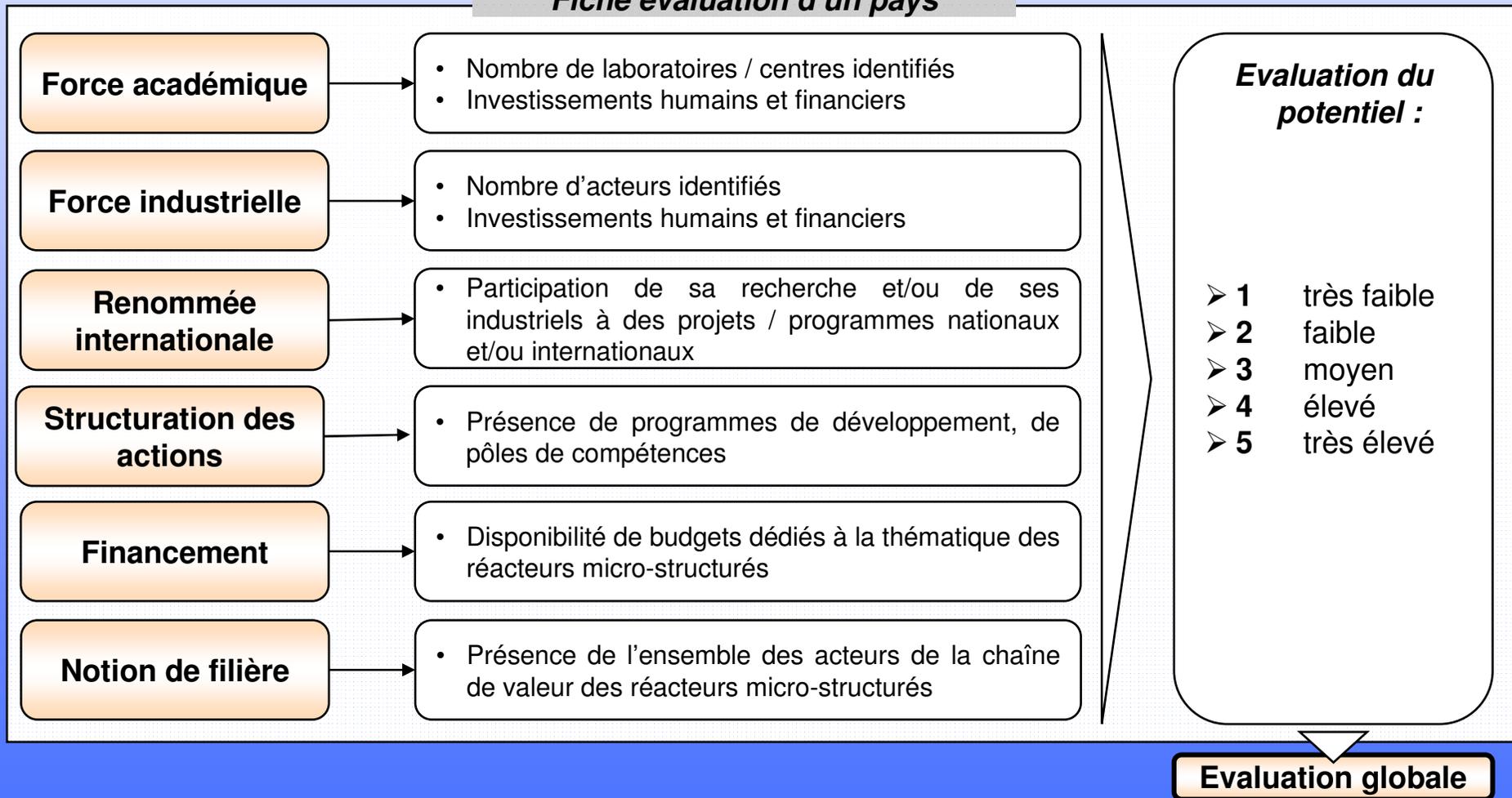
Sources : IMM, Bibliographie, entretiens ALCIMED

Savoir-faire international

évaluation des pays leaders étudiés

➔ Afin de repositionner la France dans un contexte international, chaque pays leader étudié a été évalué suivant 6 critères.

Fiche évaluation d'un pays



Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

L'Allemagne se positionne et est perçue comme le leader mondial dans le domaine des réacteurs microstructurés.

Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

Le Japon menace la suprématie de l'Allemagne, en allouant des budgets annuels importants et en favorisant le passage à l'échelle industrielle. Le Japon se place en 2nde position au niveau mondial.

Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

La Grande-Bretagne a depuis de nombreuses années fait le choix de l'intensification des procédés, conduisant, dans le domaine des réacteurs microstructurés, à une 2nde place au niveau européen.

Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

Pays-Bas, nouvel outsider européen. Il existe une vraie dynamique de création d'une filière réacteurs microstructurés. Les Pays-Bas se rapprochent du niveau de développement de la Grande Bretagne.

Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

Les Etats-Unis sont « dépassés » par le Japon. Néanmoins ils conservent une excellente compétitivité au niveau mondial.

Savoir-faire international

						
Force académique	5	4-5	4	4	4	3-4
Force industrielle	5	5	4	4	4-5	3
Renommée internationale	5	4-5	4	4	4	3
Structuration des actions	5	5	3	4	2	3-4
Financements	5	4-5	3-4	3-4	5	2-3
Notion de filière	5	5	4	4	3-4	2-3

La France apparaît comme légèrement en retrait, mais elle peut capitaliser sur sa force académique et un début de structuration des actions impliquant recherche académique et partenaires industriels.

Savoir-Faire en France

identification des compétences

28

→ 5 compétences ont été considérées comme savoir-faire clés dans le développement de solutions de type réacteurs microstructurés.

Compétences retenues

Description

Génie Chimique /
Procédés



Le **génie chimique** est la science de la mise en œuvre des procédés de transformation de matières premières en produits fonctionnels, il intervient donc de façon primordiale dans toute recherche académique ou industrielle liée aux réacteurs microstructurés (**analyse des bilans et équilibres cinétiques, thermiques, thermodynamiques...**). La modélisation des différents phénomènes de transport via des logiciels spécialisés apporte une aide précieuse.

Micro-
engineering



Le **micro-engineering** concerne les activités liées à la **fabrication** d'un réacteur microstructuré, depuis la mise en forme d'un matériau à l'échelle micro (LIGA, photolithographie), jusqu'à la réalisation finale d'une pièce du réacteur (micro-canaux, -valves...). Il fait appel à des compétences poussées en sciences des **matériaux, traitement de surface** et **simulation numérique**.

Catalyse



La réalisation de réactions catalytiques en micro-réacteur nécessite des compétences en **catalyse** et en sciences des **matériaux** : **conception et fabrication** du catalyseur ou du support catalytique, **dépôt** du catalyseur sur une surface microstructurée, **caractérisation** de l'activité catalytique...

Microfluidique



La **microfluidique** est l'étude et la manipulation des fluides aux petites échelles, elle intervient dans l'étude de toutes les opérations élémentaires de **stockage, mélange, filtration, extraction** et **détection** des fluides dans un micro-système.

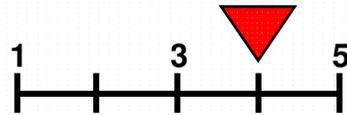
Industrialisation



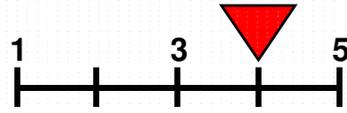
L'« **industrialisation** » recouvre l'ensemble des savoir-faire nécessaires au **dimensionnement**, à l'**installation** et à la **gestion** d'une unité de fabrication de composés chimiques, d'un point de vue technique et économique. Cette compétence est nécessaire pour l'intégration d'un système microstructuré dans une installation industrielle.

Evaluation des compétences

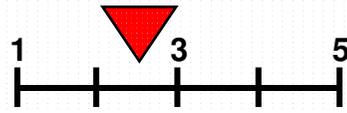
Génie chimique /
Procédés



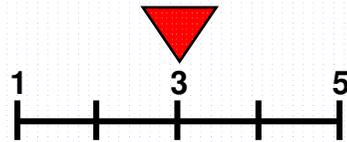
Micro-engineering



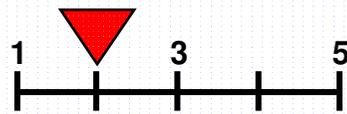
Catalyse



Microfluidique

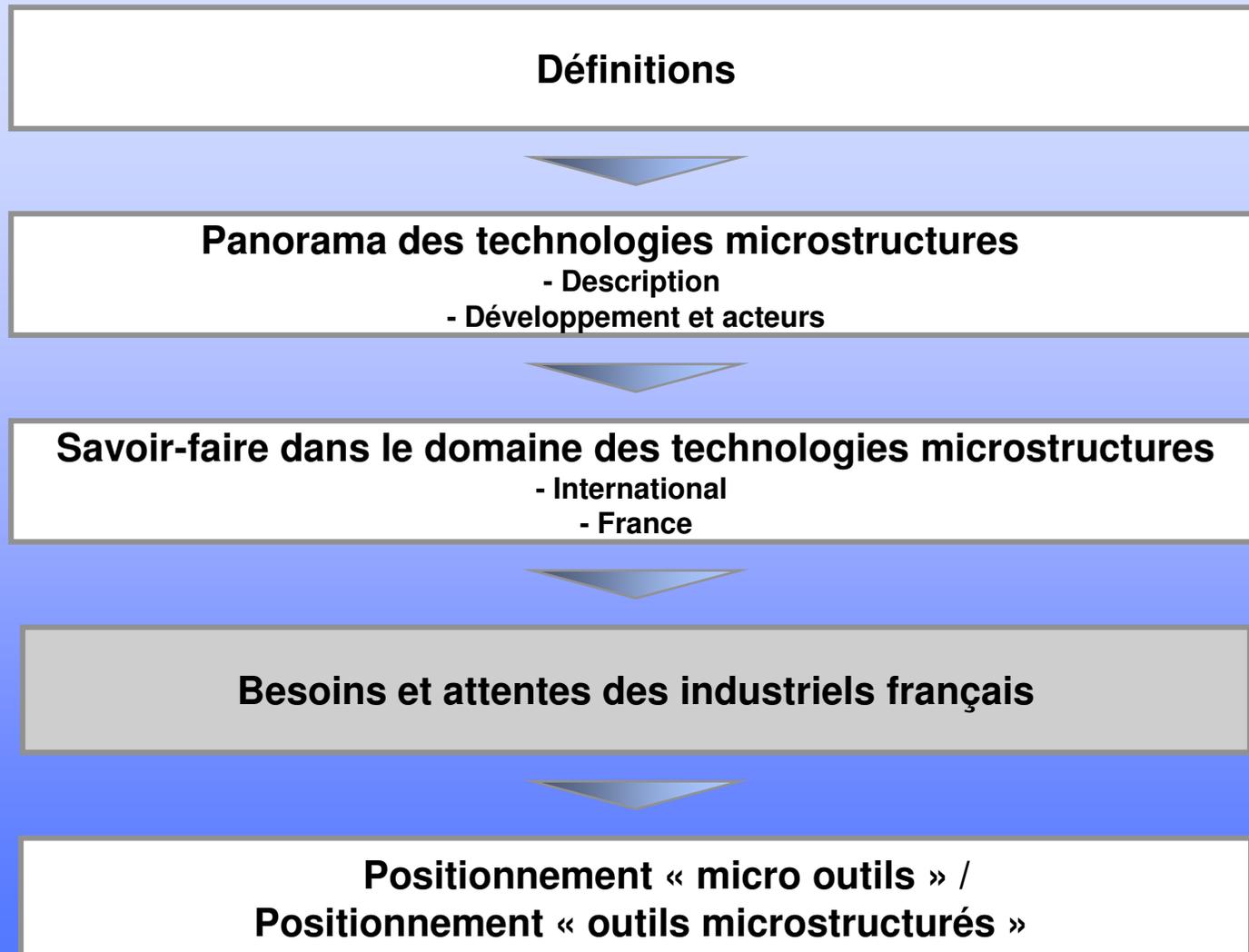


Industrialisation



Synthèse sur les compétences

- Une position prometteuse de la France en génie chimique / procédés et en micro-engineering, avec de bonnes compétences académiques et industrielles, renforcées par des collaborations existantes entre ces différents acteurs et une position forte en matériaux.
- De bonnes compétences académiques dans les domaines de la catalyse et de la microfluidique mais un manque de « champions nationaux » au niveau industriel.
- Une position plus modeste en industrialisation, avec un savoir-faire industriel aujourd'hui balbutiant, voire inexistant. Un intérêt pour intégrer des réacteurs microstructurés qui reste limité.



→ 3 logiques d'utilisation sont identifiées par les fournisseurs pour l'introduction d'un réacteur microstructuré : optimisation de réactions, optimisation de procédés et développement de nouveaux procédés.

Réacteurs microstructurés

Optimisation de réactions



Optimiser une réaction chimique consiste à déterminer les meilleures conditions opératoires (température, solvant, concentration...) de façon à améliorer le rendement et la pureté des produits de réaction.

Réactions visées : réactions dangereuses, réactions difficiles, réactions à très fort échange thermique

Optimisation de procédés



Le recours à un réacteur microstructuré peut permettre de réaliser l'intensification des procédés conduisant à de meilleurs rendements ou puretés.

Développement de nouveaux procédés



Passer du laboratoire à l'étape de production impose de concevoir et de développer un procédé industriel (choix des opérations unitaires, des appareillages, de la topologie du procédé, des conditions opératoires...).

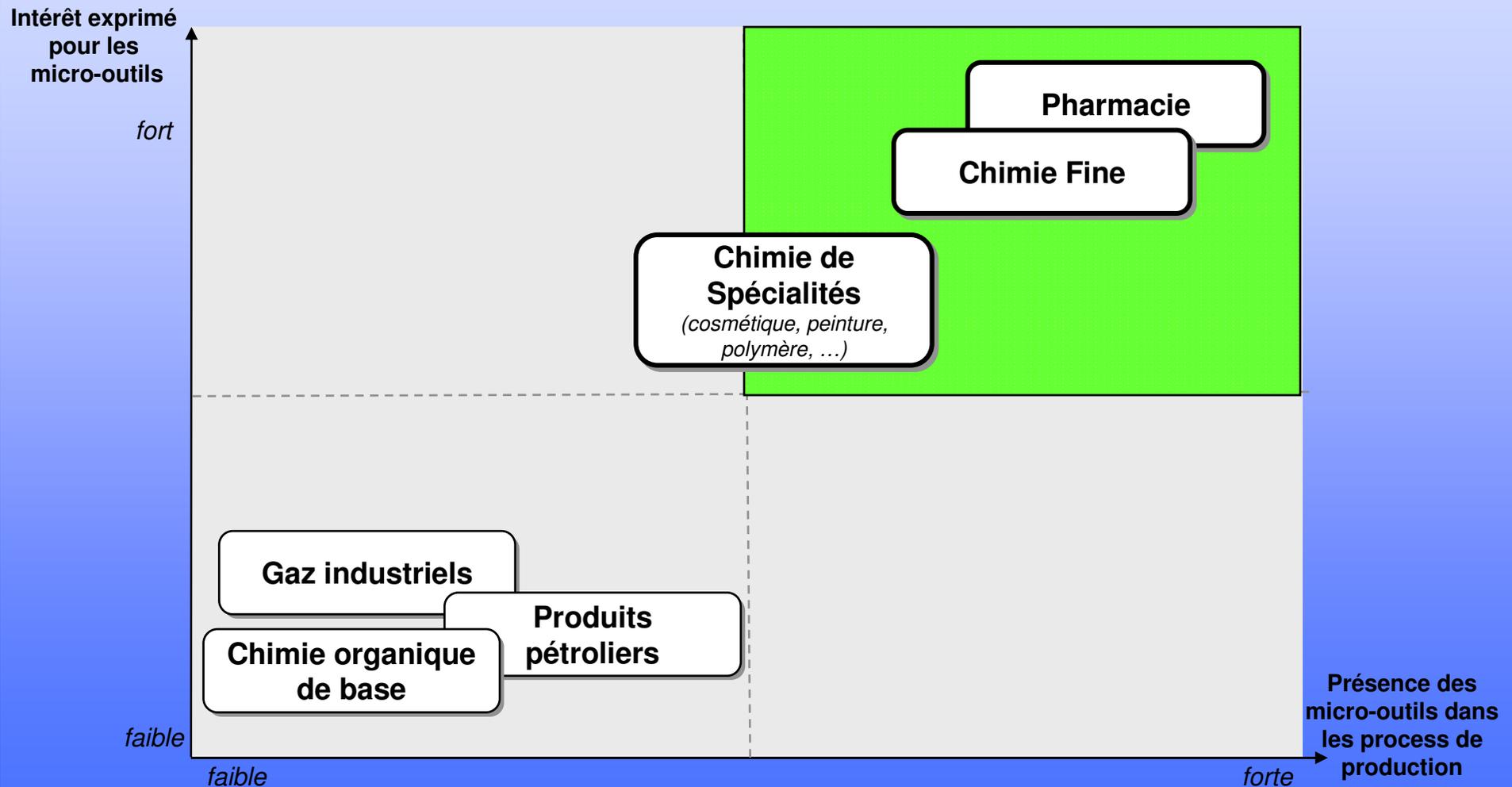
De façon traditionnelle, développer un nouveau procédé impose de réaliser différentes étapes de scale-up. Le recours à un réacteur microstructuré peut faciliter ces étapes.

Besoins et attentes des industriels français

synthèse micro-outils

32

→ La pharmacie, la chimie fine et la chimie de spécialités sont les secteurs d'application les plus prometteurs pour les micro-outils.

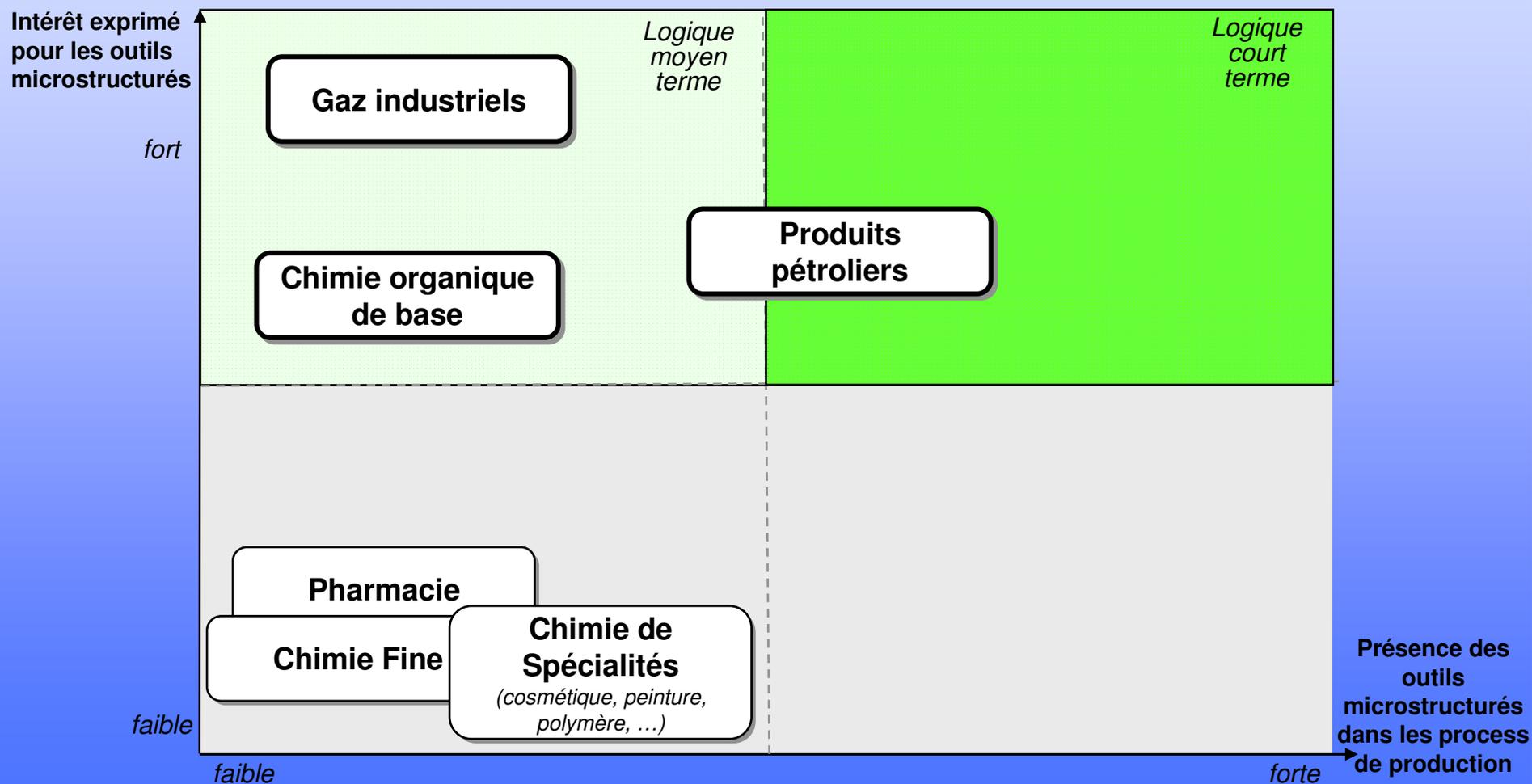


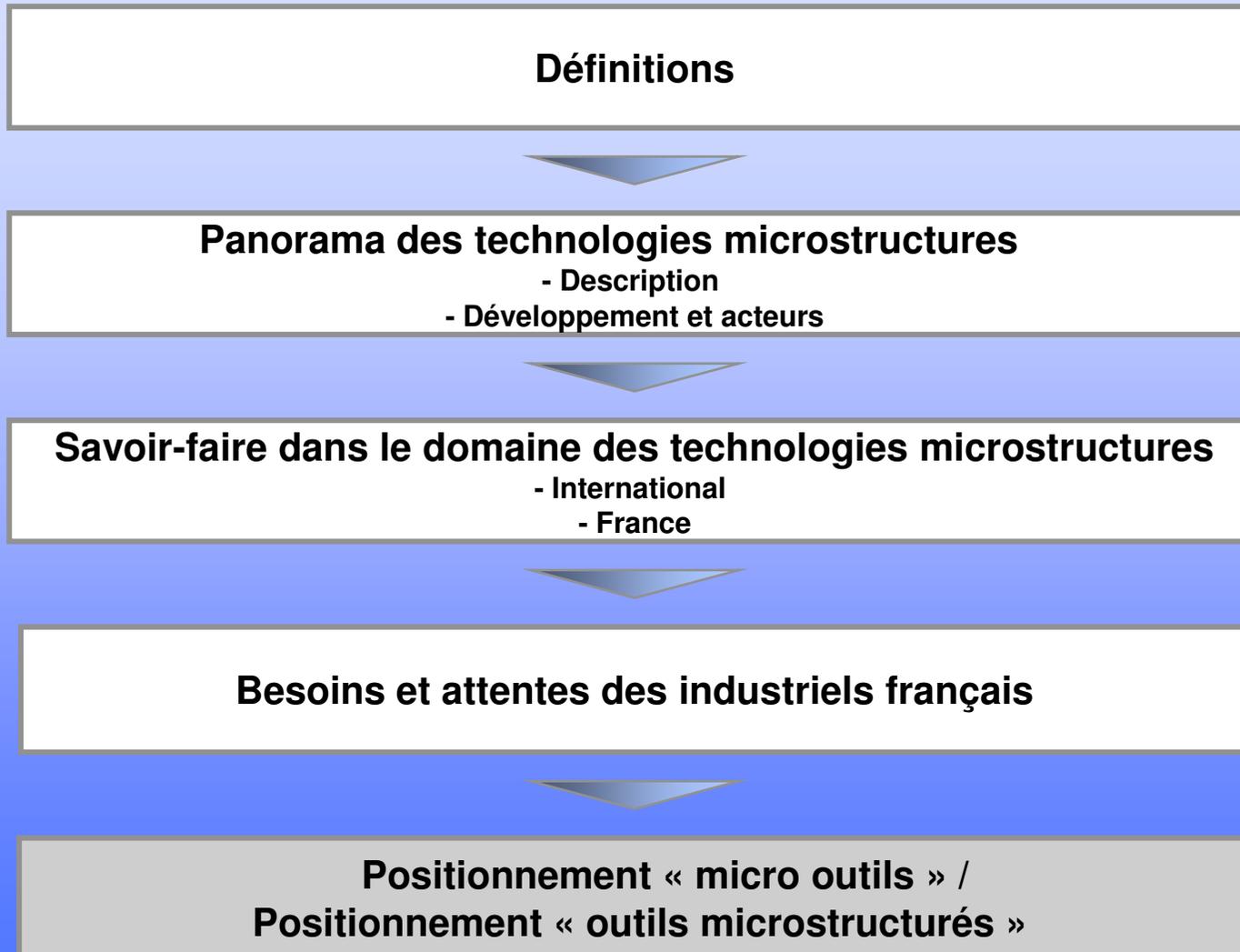
Besoins et attentes des industriels français

synthèse outils microstructurés

33

→ Les gaz industriels, les produits pétroliers et la chimie organique de base sont les secteurs d'application les plus prometteurs pour les outils microstructurés.





Positionnement micro-outils

rappels

35

Secteurs cibles

- Chimie fine, Pharmacie, Chimie de Spécialités
- Ces secteurs possèdent un portefeuille de produits synthétisés extrêmement vaste, ainsi que de nombreux outils d'aide au développement et à la production.

Applications cibles

- Intégration des micro-outils sur des applications de faibles volumes à forte valeur ajoutée
- Logique d'introduction des micro-outils au cas par cas sur les réactions dangereuses, difficiles (sulfonation, nitration, hydrogénation, méthylation...)

Rôles et objectifs visés

- Utilisation en pilote R&D (production rapide d'un lot de laboratoire), aide au scale-up pour les installations pilotes et pré-pilotes
- Les micro-outils sont perçus comme une innovation incrémentale, venant compléter la boîte à outils du chimiste.
- Remplacement progressif des réacteurs batch et miniaturisation des équipements pour l'usine du futur

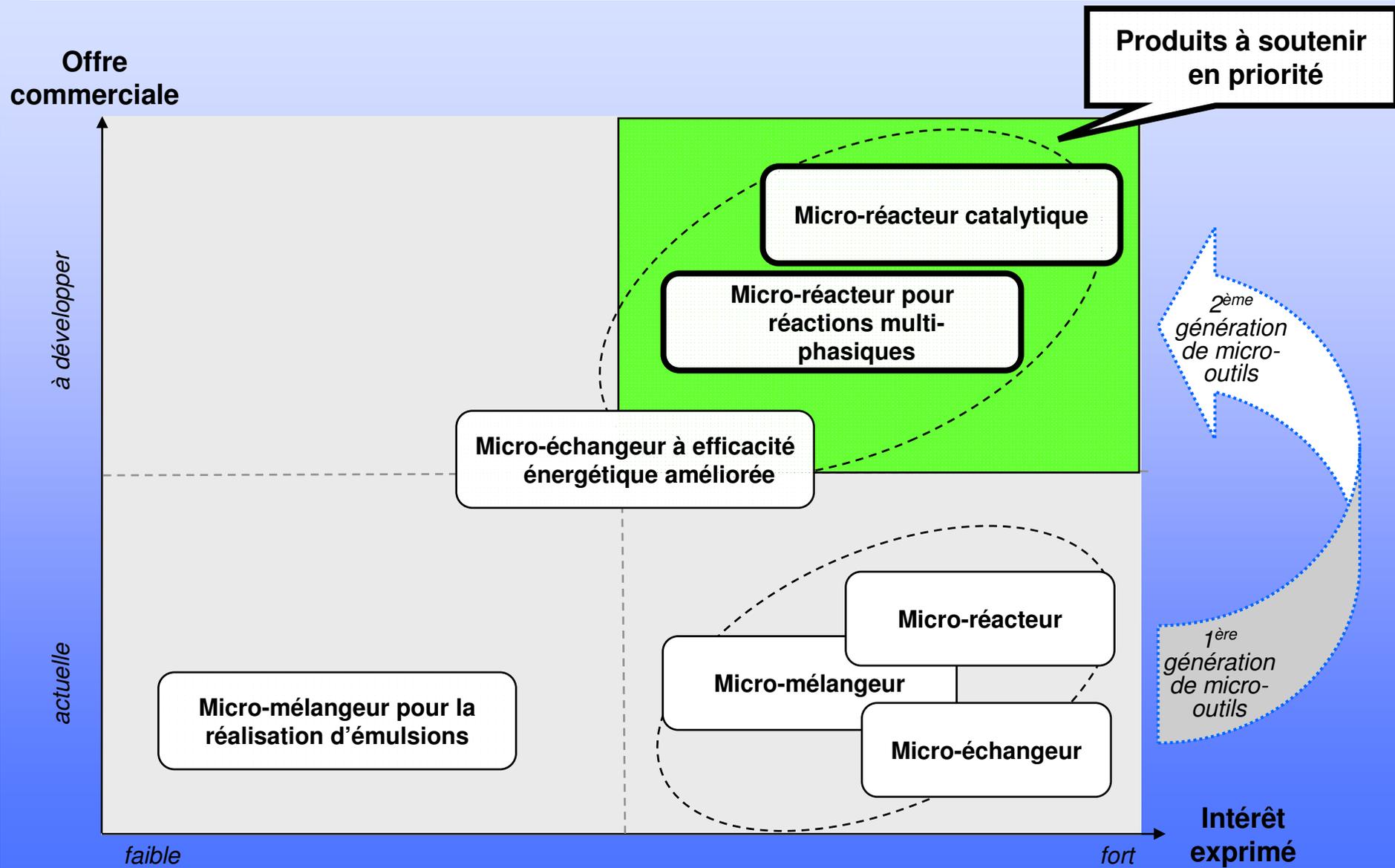
Réalisations actuelles

- Offre commerciale de micro-outils existante en Europe, recherche académique foisonnante depuis une dizaine d'années sur les micro-outils, unités pilote en fonctionnement en Europe et au Japon

Positionnement fort des secteurs de la chimie fine et de la pharmacie sur l'utilisation de micro-outils

Positionnement micro-outils produits à développer

36



Positionnement micro-outils

SWOT compétences France

37

Analyse SWOT des compétences en France pour le développement des micro-réacteurs de 2^{ème} génération

Forces

- Un fort savoir-faire à la fois académique et industriel en micro-engineering (pôles à Besançon et Grenoble), un fort savoir-faire académique en catalyse, synthèse organique et matériaux
- Savoir-faire académique dans le domaine des Sciences de la Vie (Lab-on-chip), valorisable en chimie fine

Faiblesses

- Pas/peu d'acteur français fournisseur de micro-outils dans la chimie fine / pharmacie
- Peu de valorisation réalisée autour de micro-réacteurs à l'intention des secteurs de la chimie fine / pharmacie

- Un vivier de PME dynamiques basé sur des niches techniques susceptibles d'utiliser les micro-outils
- PME aux savoir-faire pointus, susceptibles d'être fournisseurs de technologies
- Des grands groupes français ou les filiales France de groupes étrangers avancés sur la question et prêts à s'investir

Opportunités

Menaces

- Offre commerciale en micro-outils déjà vaste au niveau européen (Allemagne, Pays-Bas, Grande-Bretagne)
- Retard de la France, notamment pour le transfert technologique (une dizaine d'années d'avance pour l'Allemagne)

Positionnement outils microstructurés

rappels

38

Secteurs cibles

- Chimie de Base, Gaz industriels, Produits Pétroliers
- Il s'agit de secteurs à gros tonnages, où chaque site industriel produit un nombre restreint de composés via des procédés continus.

Applications cibles

- Intégration des outils microstructurés sur des applications de fort volume à faible valeur ajoutée
- Procédés à très fort échange thermique

Rôles et objectifs visés

- Les réacteurs microstructurés sont pressentis comme de nouveaux équipements de production.
- Introduction des réacteurs microstructurés sur les équipements-clés des procédés (approche-multi échelle)
- Les outils microstructurés représentent une véritable rupture technologique pour ces secteurs aux procédés parfaitement éprouvés.

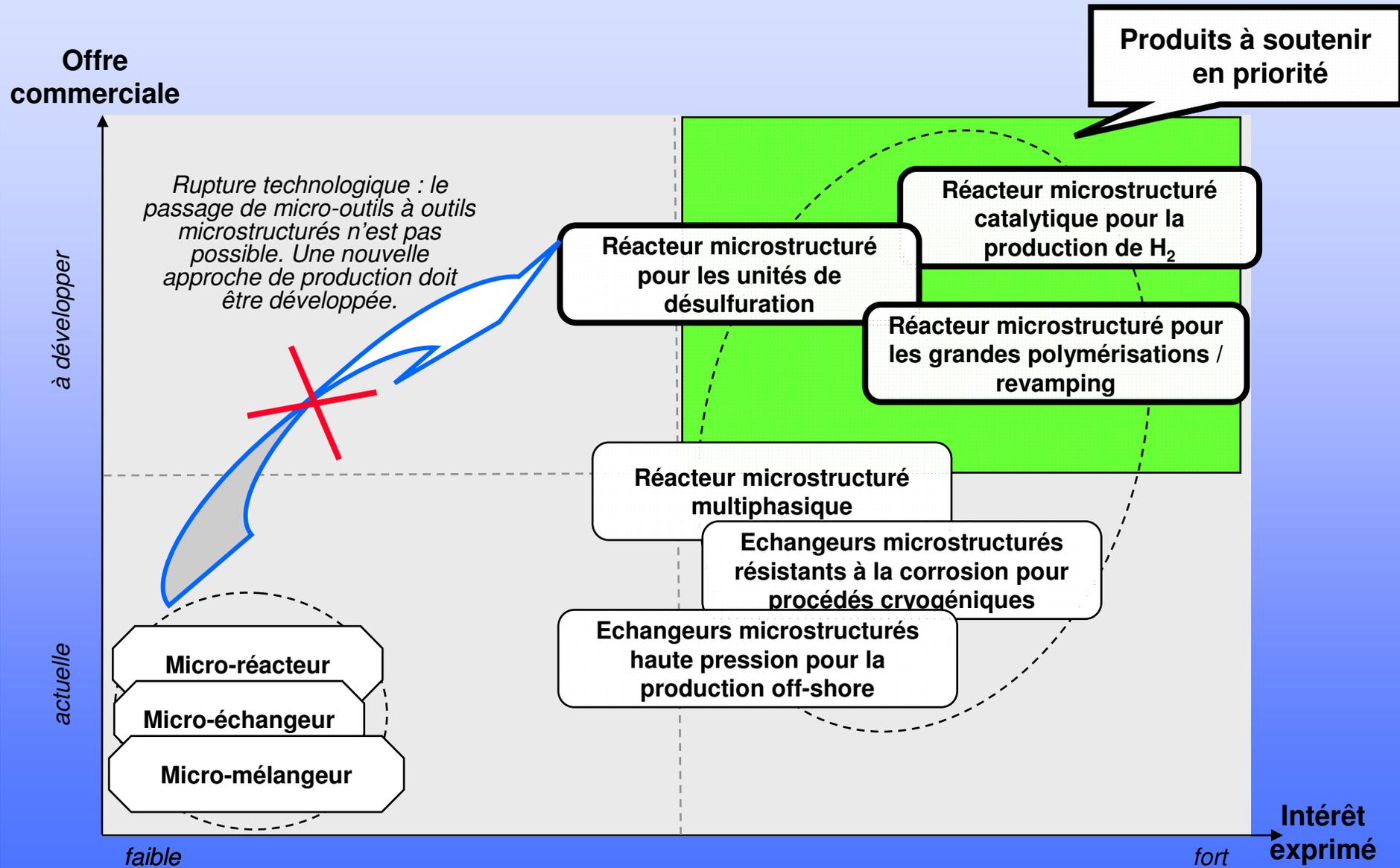
Réalisations actuelles

- Echangeurs microstructurés disponibles commercialement
- Quelques projets de recherche académique en cours (Shell en collaboration avec l'Université de Twente, Velocys aux Etats-Unis, IRC en France...), peu de réalisations à visée industrielle

Les réacteurs microstructurés pourraient être décisifs sur les secteurs des gaz industriels et de la chimie organique de base

Positionnement outils microstructurés produits à développer

39



Positionnement outils microstructurés

SWOT des compétences France

40

Analyse SWOT des compétences en France pour le développement de nouveaux réacteurs microstructurés

Forces

- Le GRETh, l'IRC, le LSGC, le LGPC, l'IFP, l'IEM, le LGC... acteurs-clés de la recherche académique / technologique
- Un industriel reconnu dans le monde des échangeurs travaillant sur le sujet, Nordon
- D'excellentes compétences académiques et industrielles en matériaux / catalyse / génie chimique

Faiblesses

- Peu d'équipementiers en France
- Frilosité des bailleurs de licence et des acteurs de l'engineering (IFP, Technip) à recourir à ce type d'équipements (fiabilité, coûts...)

- Présence de clients potentiels leaders mondiaux : Air Liquide et Total
- Marchés des gaz industriels et du pétrole en croissance
- Pas de position forte sur les gaz industriels et la pétrochimie dans les autres pays

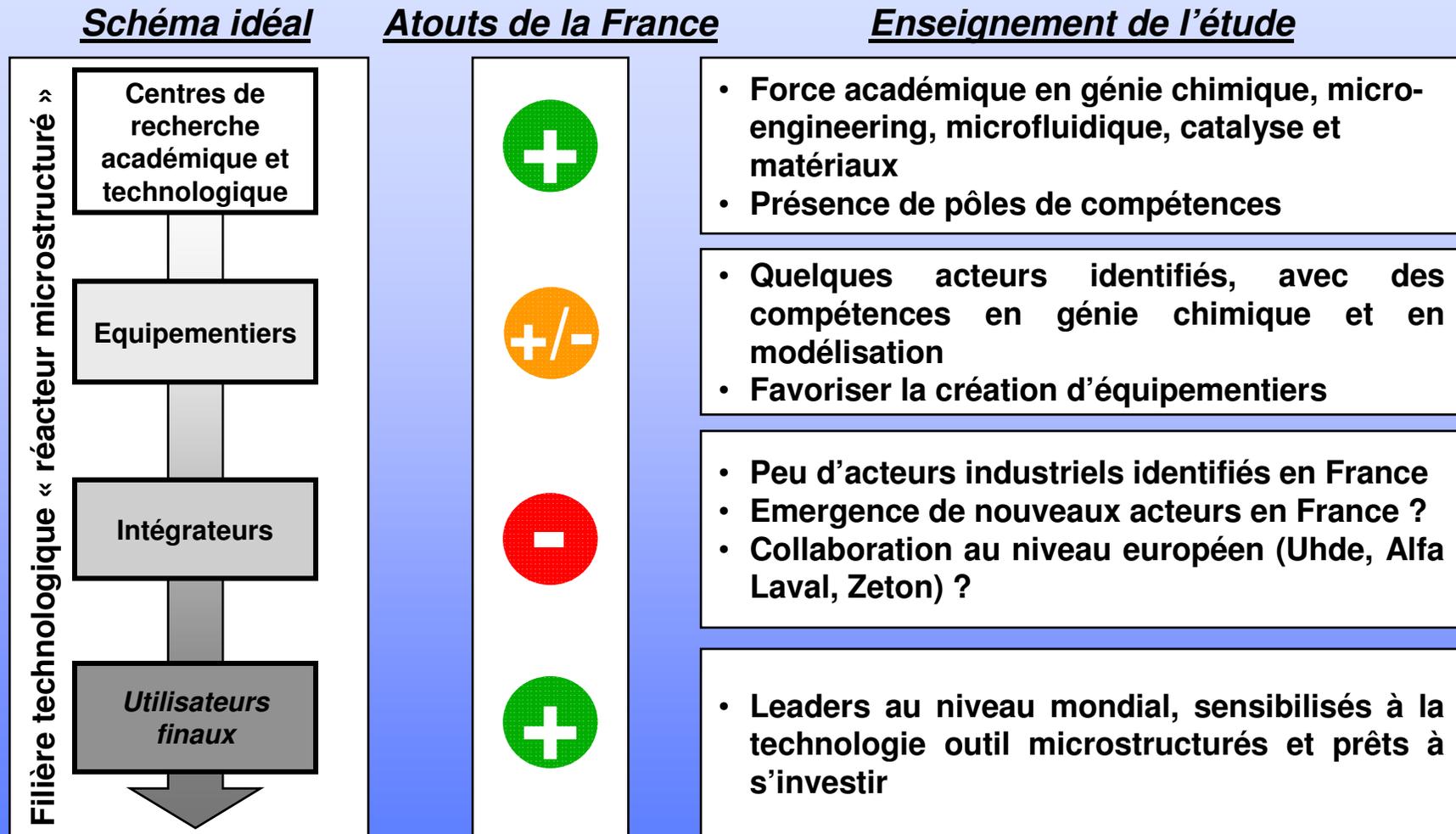
Opportunités

Menaces

- Offre commerciale déjà existante sur des échangeurs (Chart, Heatric, Alfa Laval)
- Avance de Velocys (Etats-Unis) qui dispose de fonds importants

Les technologies microstructures en France ?

41



Question clé : Quelles actions mettre en place pour développer au niveau industriel les microréacteurs en France ?