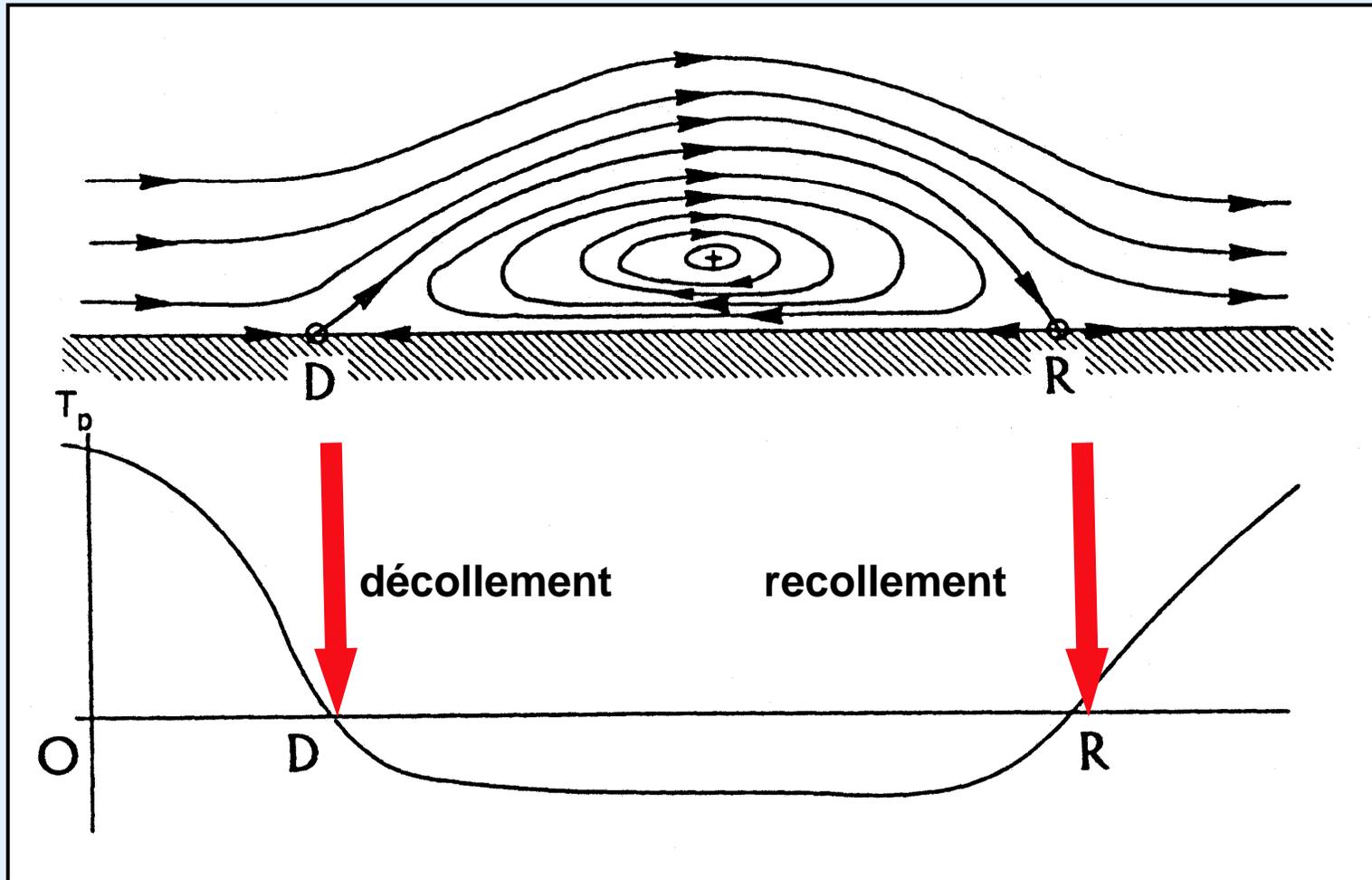


Décollement en écoulement tridimensionnel stationnaire

Partie 4 : LE DÉCOLLEMENT BIDIMENSIONNEL REVISITÉ AVEC LES CONCEPTS DU TRIDIMENSIONNEL OU UN CAS SIMPLE EN APPARENCE !

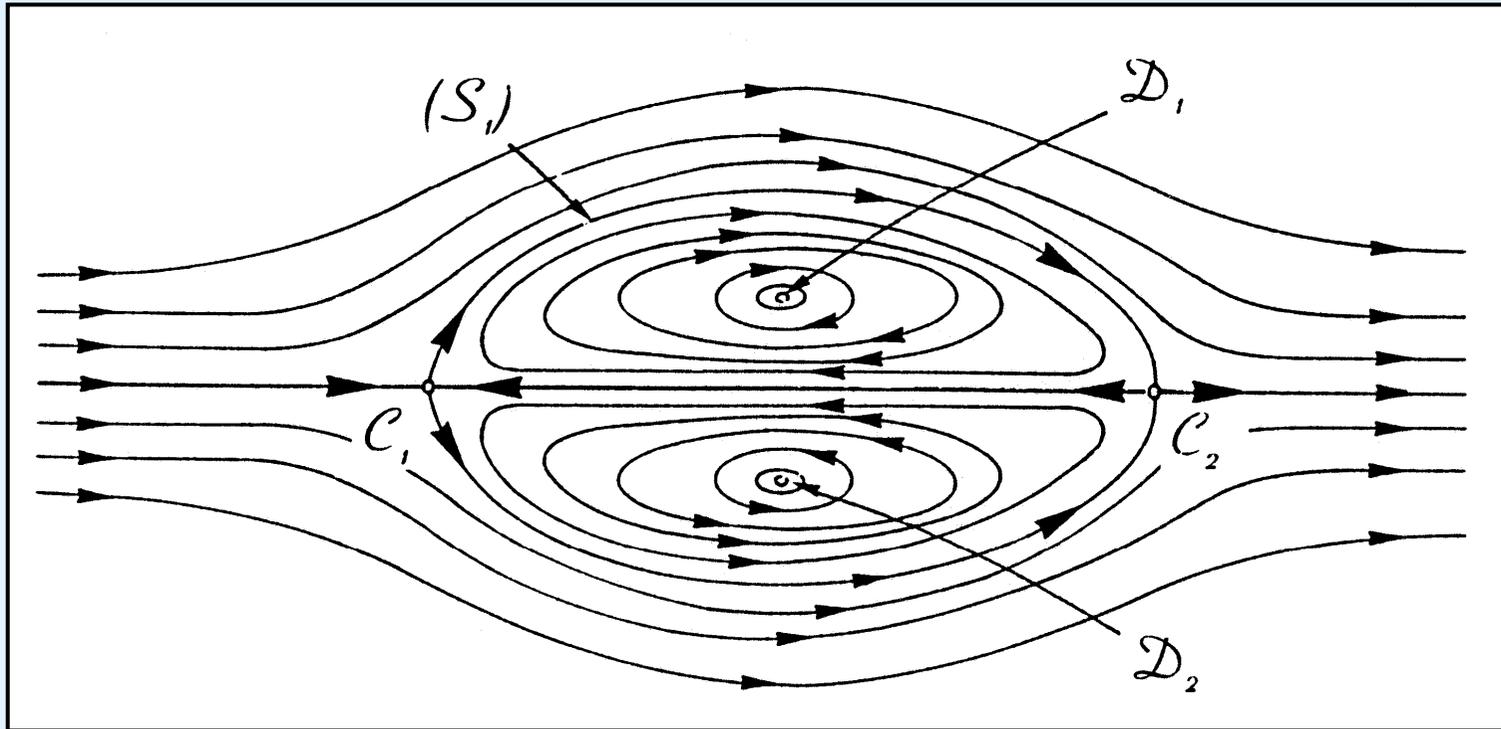


Décollement en écoulement bidimensionnel Définition classique



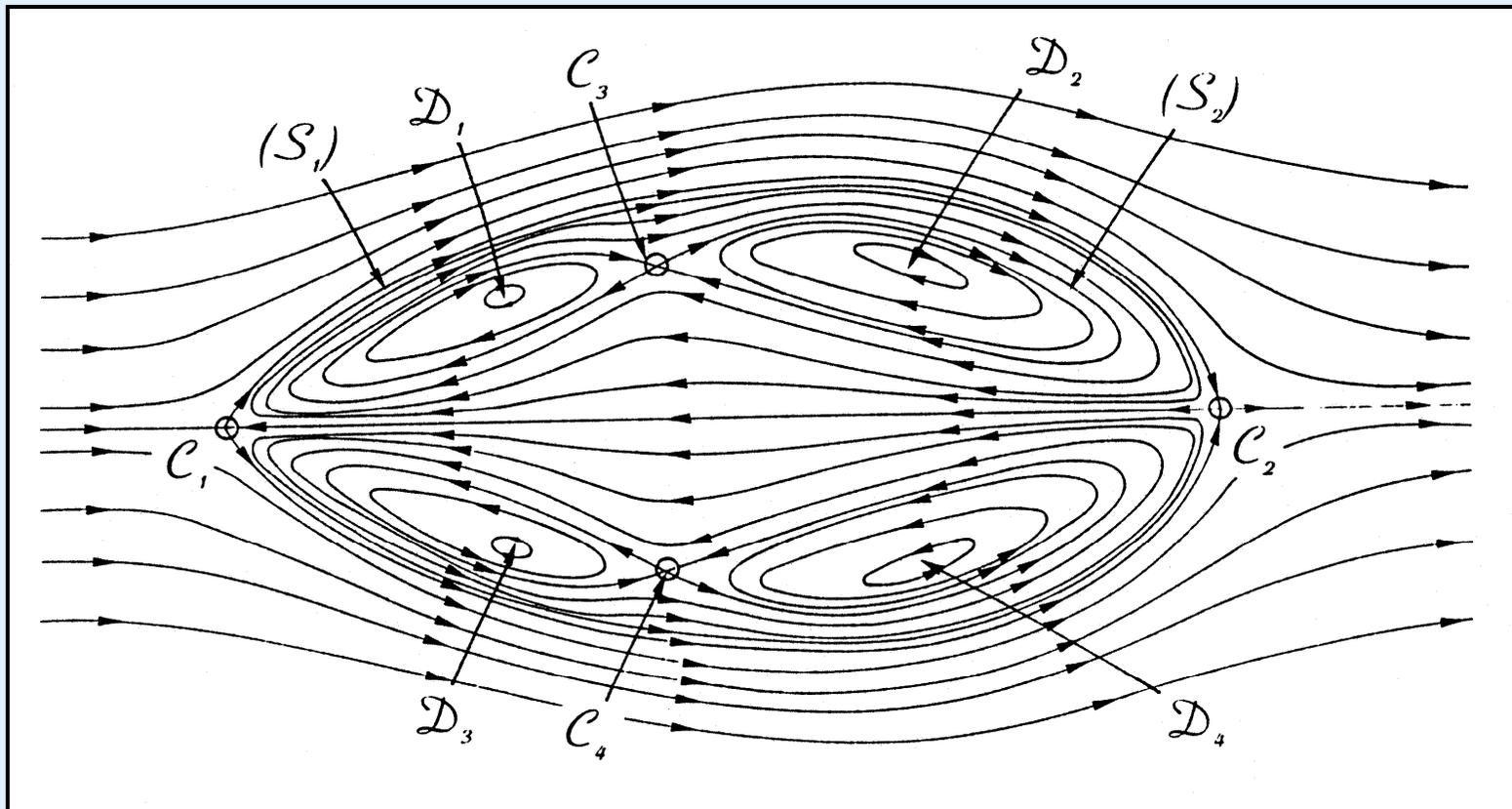
Frottement pariétal

Généralisation de la notion de décollement bidimensionnel



**Bulbe au sein d'un sillage de révolution :
tourbillon torique se refermant sur lui-même**

Généralisation de la notion de décollement bidimensionnel



Structure d'un tourbillon éclaté. Écoulement méridien

Décollement en écoulement bidimensionnel

- Il y a des preuves expérimentales de l'existence de **perturbations tridimensionnelles** dans des écoulements bidimensionnels décollés.

Ginoux - 1960
Roshko and Thomke - 1965
Settles et al. - 1978
autres...

- Question : **le mot "perturbation" est-il approprié**, en ce sens qu'il évoque un défaut relativement à une configuration réelle ?
- En fait c'est la configuration dite réelle qui n'est pas réalisable, l'état « perturbé » étant le seul ayant une existence véritable.

Décollement en écoulement bidimensionnel

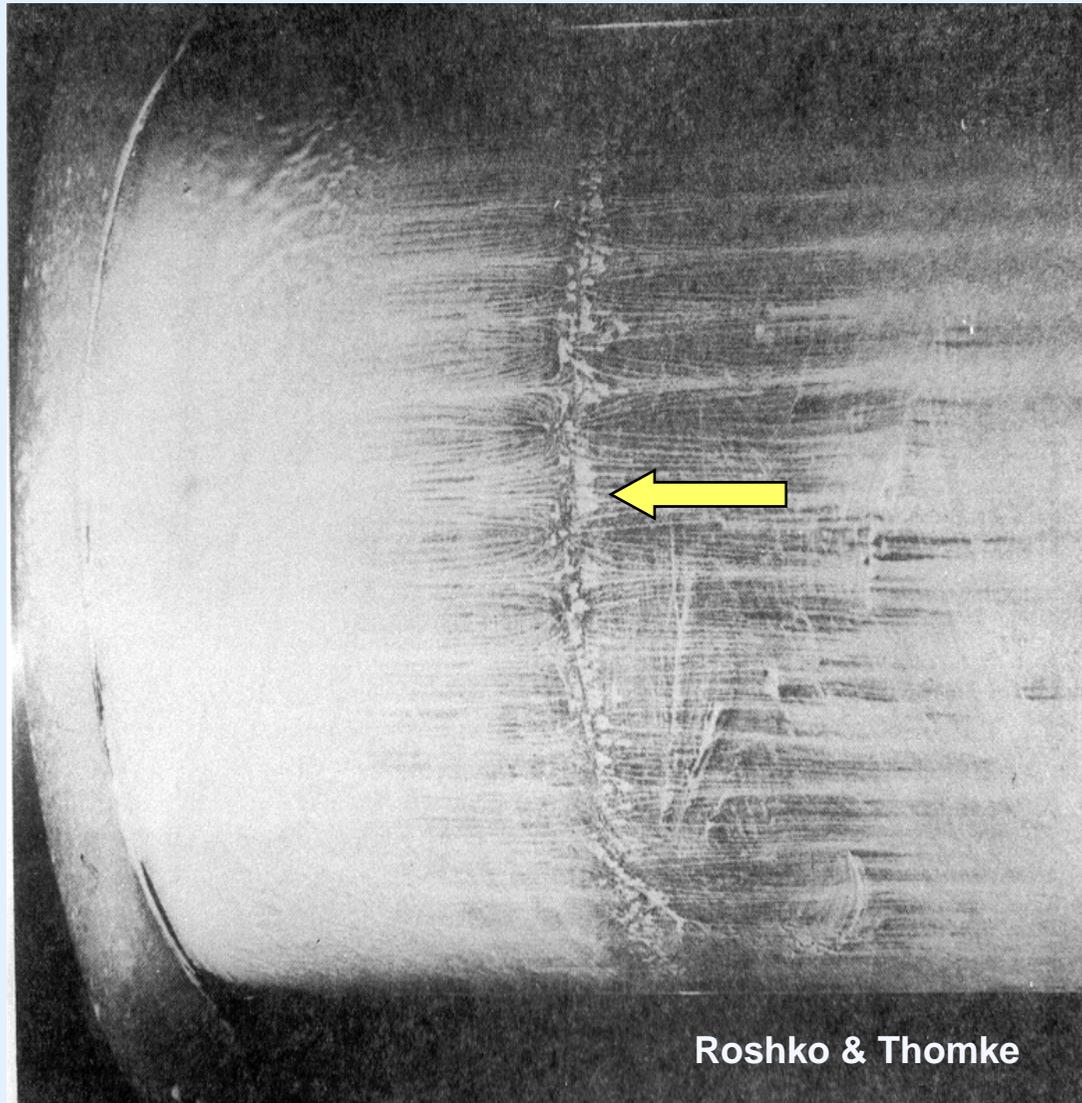
➤ Dans le cadre de la théorie des points singuliers, en bidimensionnel une ligne de séparation ou d'attachement porte **une suite infinie de cols !**

➤ Circonstance **très improbable** dans le monde réel : le caractère tridimensionnel doit se manifester :

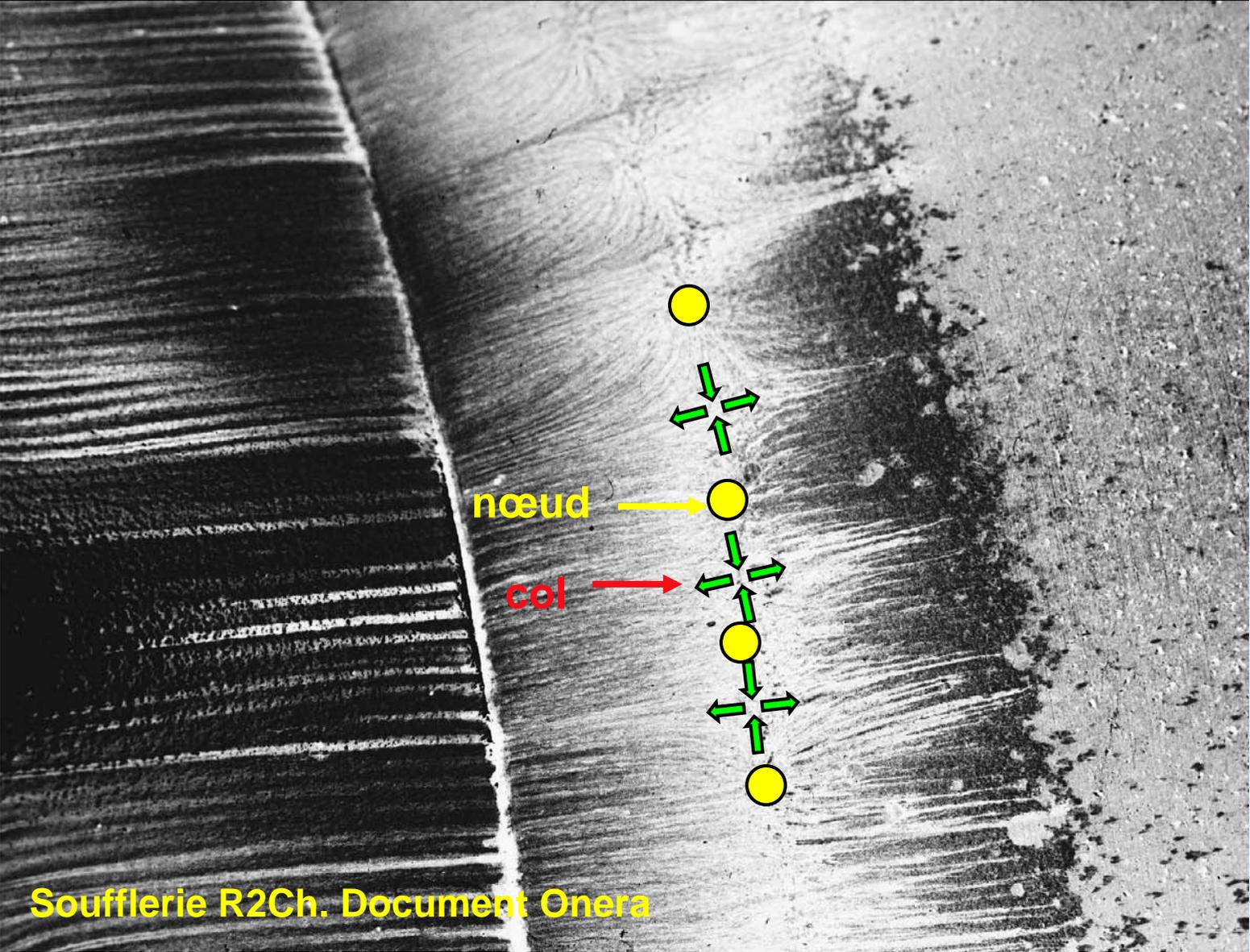
- **soit à l'échelle microscopique**, c'est-à-dire par l'existence de sous structures topologiques se superposant à une organisation globalement bidimensionnelle,

- **soit à l'échelle macroscopique**, par une organisation d'ensemble de la topologie qui perd tout caractère bidimensionnel

**Décollement en écoulement bidimensionnel
Recollement en aval d'une marche de révolution**



**Décollement en écoulement bidimensionnel
Recollement sur une jupe de révolution**



Soufflerie R2Ch. Document Onera

La théorie des points singuliers et le bidimensionnel

examen du cas $q = 0$

$$q = \begin{pmatrix} \frac{\partial \tau_x}{\partial x} & \frac{\partial \tau_z}{\partial z} & - & \frac{\partial \tau_z}{\partial x} & \frac{\partial \tau_x}{\partial z} \end{pmatrix}$$

alors les valeurs propres sont données par :

$$S^2 + pS = 0 \quad \text{ou} \quad S(S + p) = 0 \quad \text{racines} \rightarrow S_1 = 0, S_2 = -p$$

équations des lignes de frottement :

$$x(t) = \frac{A_1 \mu_2}{\lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1} - \frac{A_2 \mu_1}{\lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1} \exp(pt)$$
$$z(t) = -\frac{A_1 \lambda_2}{\lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1} + \frac{A_2 \lambda_1}{\lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1} \exp(pt)$$

La théorie des points singuliers et le bidimensionnel

posons :

$$\mathbf{B}_1 = \frac{\mathbf{A}_1}{\lambda_1\mu_2 - \lambda_2\mu_1}, \quad \mathbf{B}_2 = \frac{\mathbf{A}_2}{\lambda_1\mu_2 - \lambda_2\mu_1}$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{B}_1\mu_2 - \mathbf{B}_2\mu_1 \exp(pt)$$

$$\mathbf{z}(t) = -\mathbf{B}_1\lambda_2 + \mathbf{B}_2\lambda_1 \exp(pt)$$

lignes de frottement  droites d'équation

$$\lambda_1\mathbf{x} + \mu_1\mathbf{z} = \mathbf{B}_1(\lambda_1\mu_1 - \lambda_2\mu_2)$$

de pente

 $\frac{dz}{dx} = -\frac{\lambda_1}{\mu_1}$

La théorie des points singuliers et le bidimensionnel

si $\lambda_1 > 0$ et $\mu_1 > 0$ et si $p > 0$

quand t varie de $+\infty$ à $-\infty$ la trajectoire est parcourue depuis l'infini jusqu'au point critique de coordonnées :

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(+\infty) = -\infty &\quad \rightarrow \quad \mathbf{x}(-\infty) = \mathbf{x}^* = \mathbf{B}_1 \mu_2 \\ \mathbf{z}(+\infty) = +\infty &\quad \rightarrow \quad \mathbf{z}(-\infty) = \mathbf{z}^* = -\mathbf{B}_1 \lambda_2 \end{aligned}$$

➤ les points \mathbf{x}^* et \mathbf{z}^* sont sur la droite d'équation :

$$\lambda_2 \mathbf{x}^* + \mu_2 \mathbf{z}^* = \mathbf{0}$$

➤ cette droite porte une infinité de points singuliers obtenus en faisant varier \mathbf{B}_1 ,

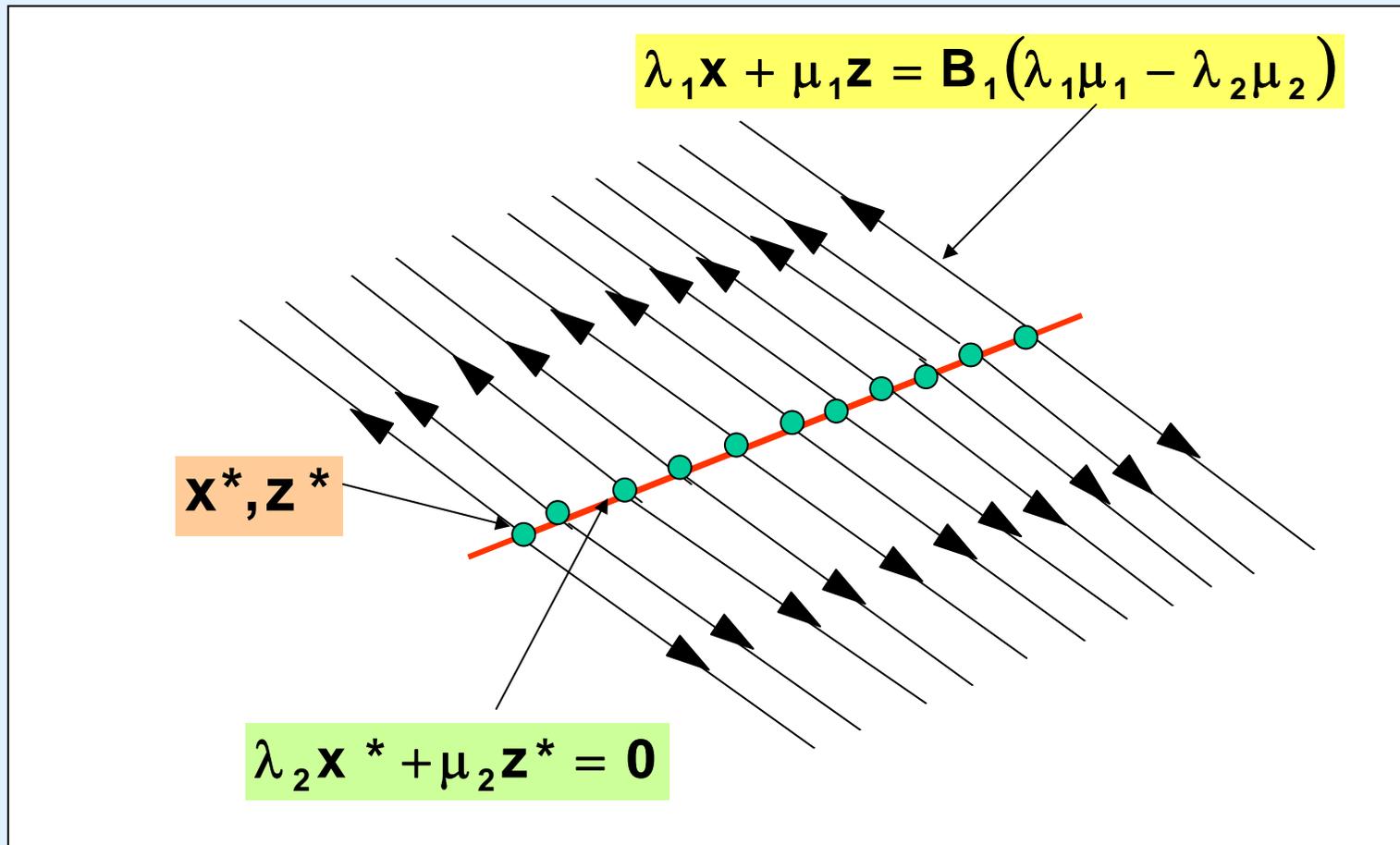
➤ quand t varie de $-\infty$ à $+\infty$ les lignes de frottement sont parcourues selon un mouvement d'éloignement du point singulier



comportement d'attachement

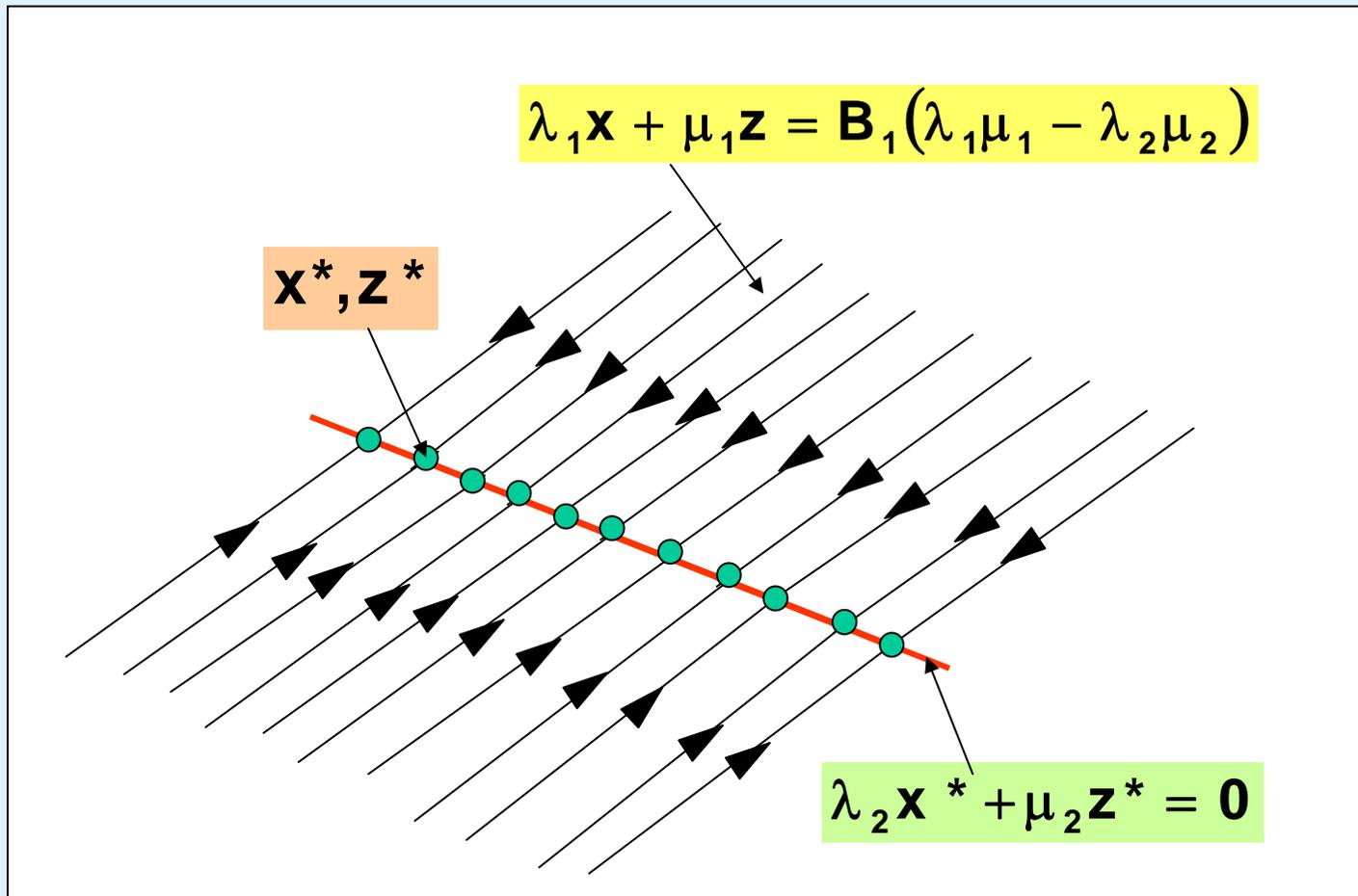
La théorie des points singuliers et le bidimensionnel

cas $p > 0$ mouvement d'éloignement (attachement)

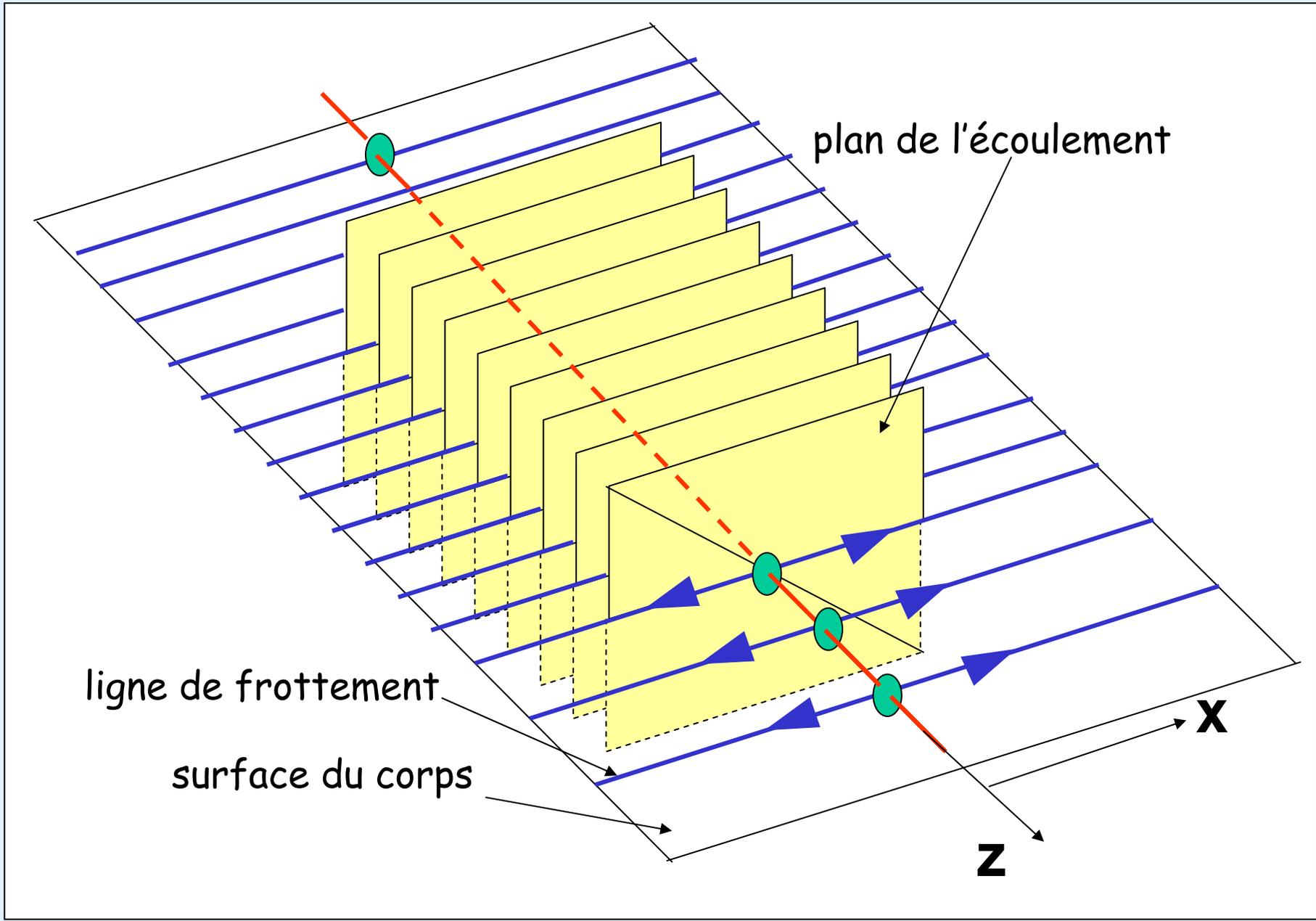


La théorie des points singuliers et le bidimensionnel

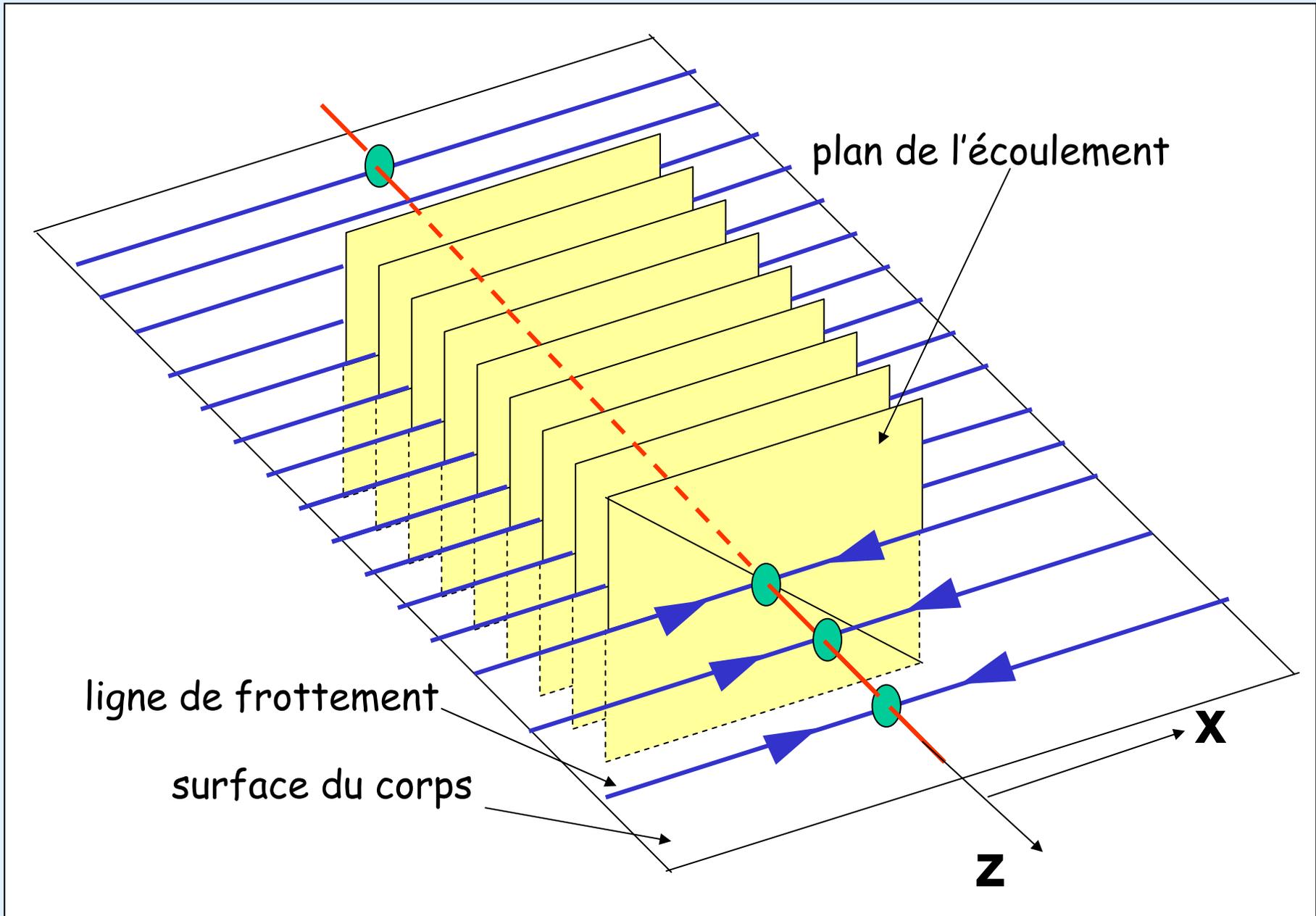
cas $p < 0$ mouvement de rapprochement (séparation)



Structure topologique d'un recollement plan

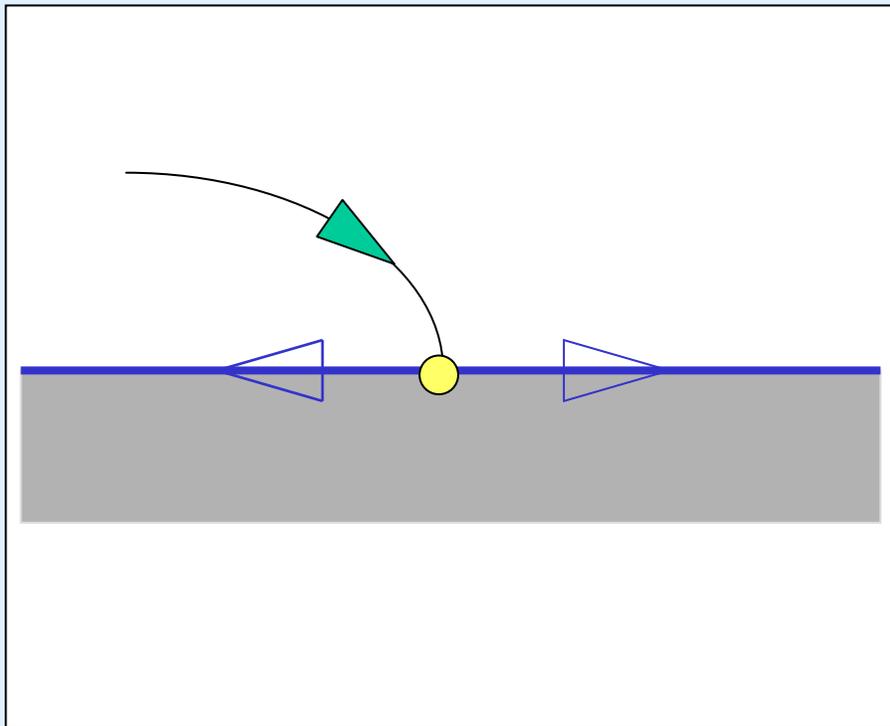


Structure topologique d'un décollement plan

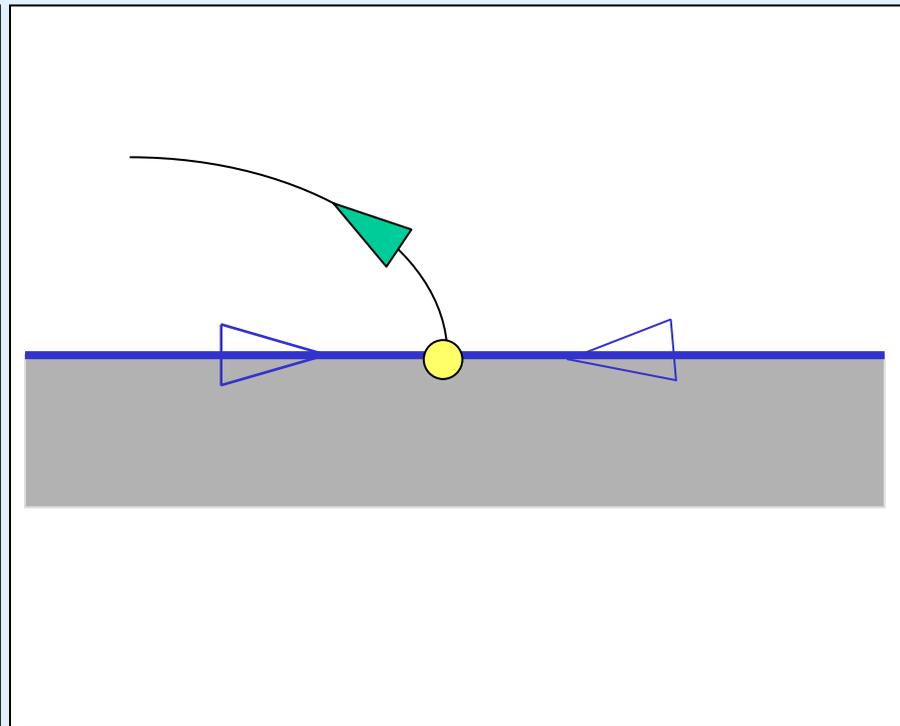


Structure topologique d'un décollement plan

Point singulier dans le plan de l'écoulement

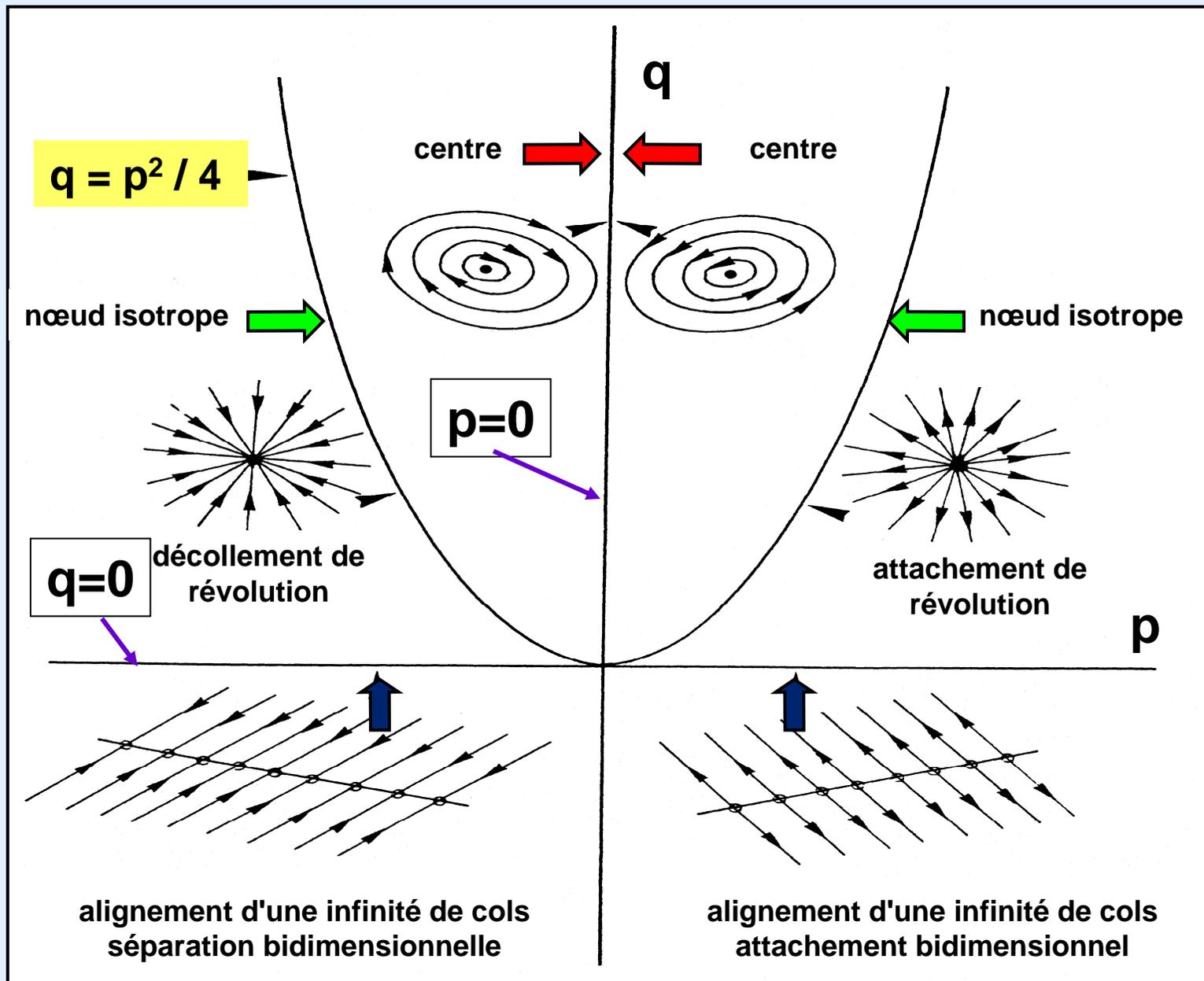


attachement



séparation

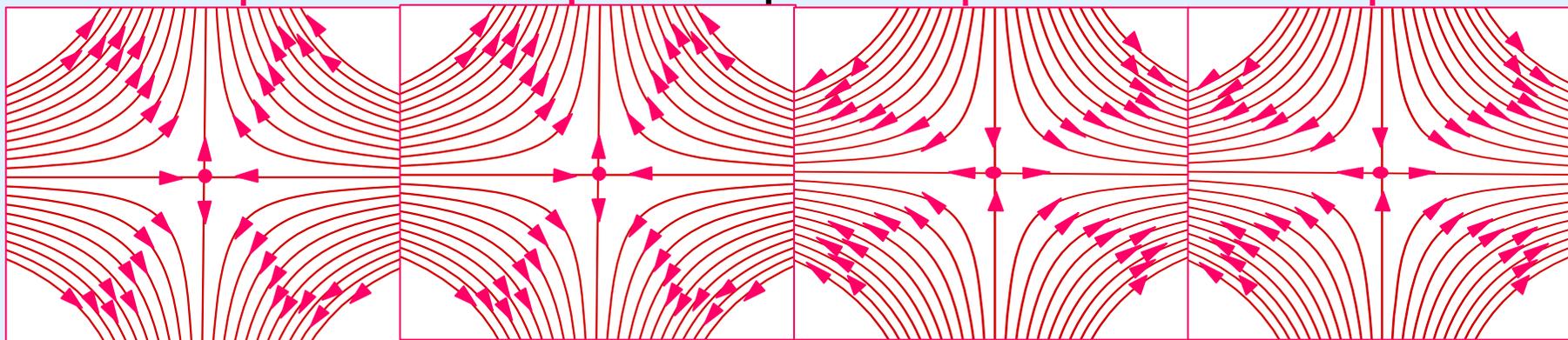
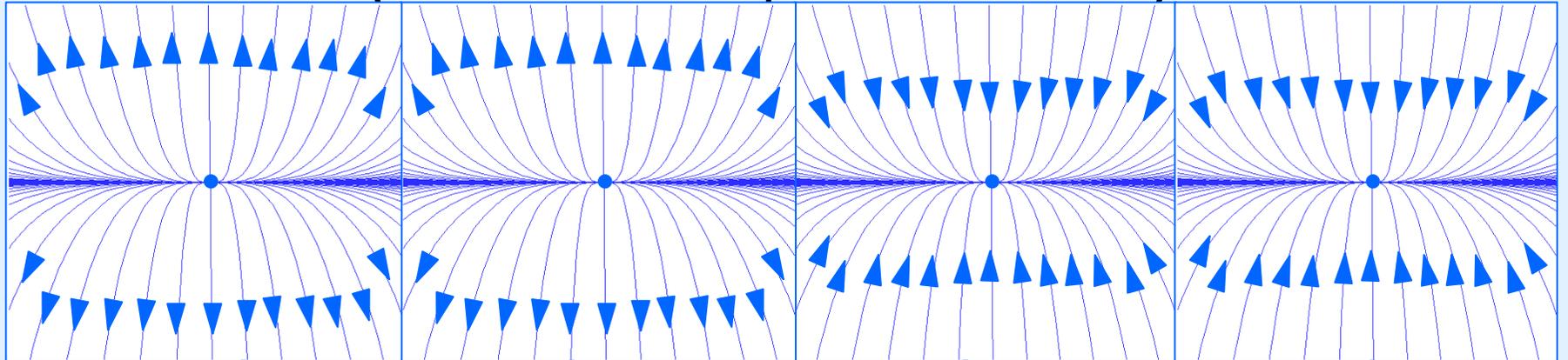
Situations spéciales dans le plan [p,q]



Situations spéciales dans le plan [p,q]

$$q = \frac{p^2}{4}$$

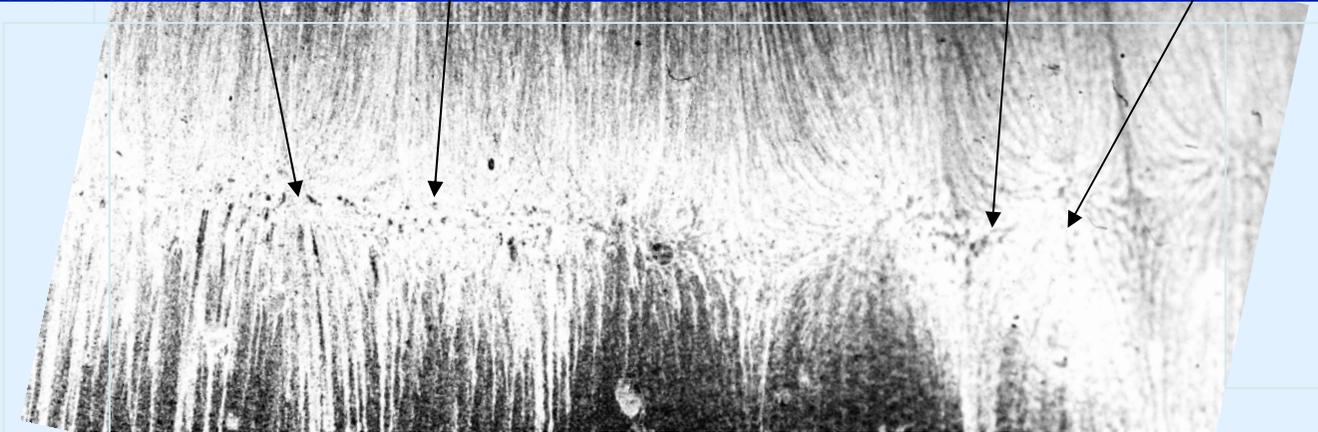
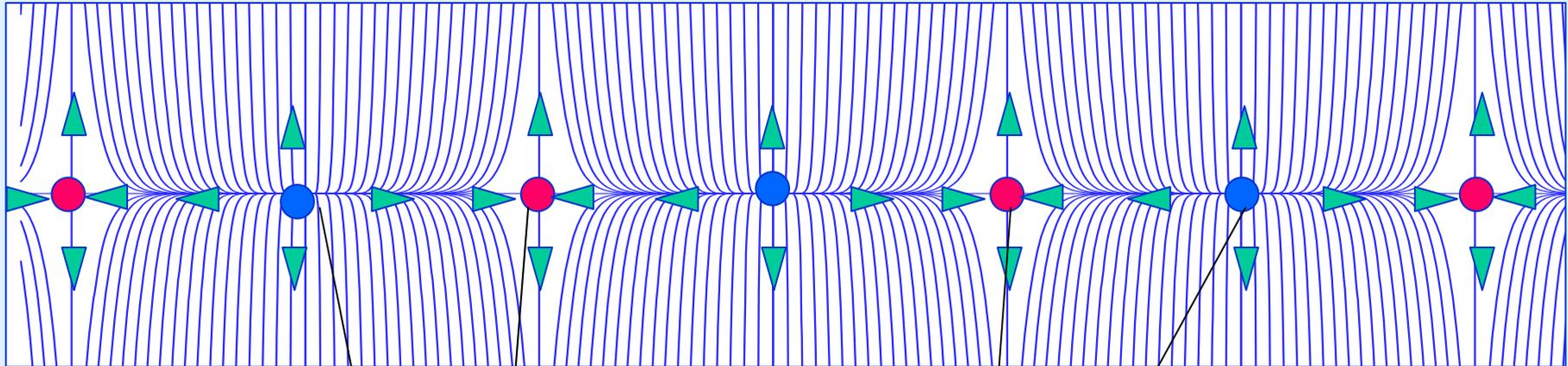
le côté des noeuds



le côté des cols

Situations spéciales dans le plan $[p,q]$

Tendance vers l'axe $q = 0$ ou
quand les nœuds et les cols se rencontrent

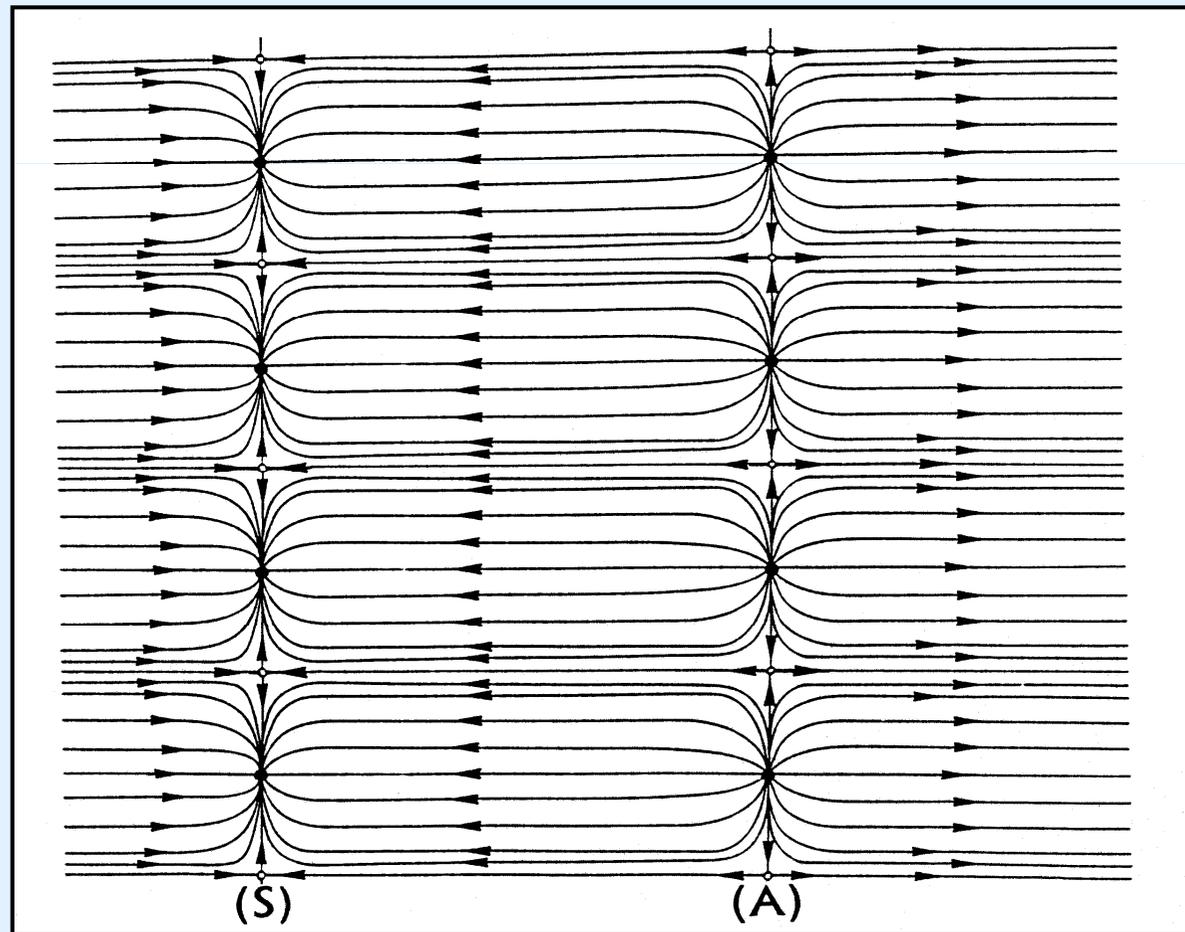


recollement d'un écoulement de révolution

Écoulement décollé en écoulement bidimensionnel

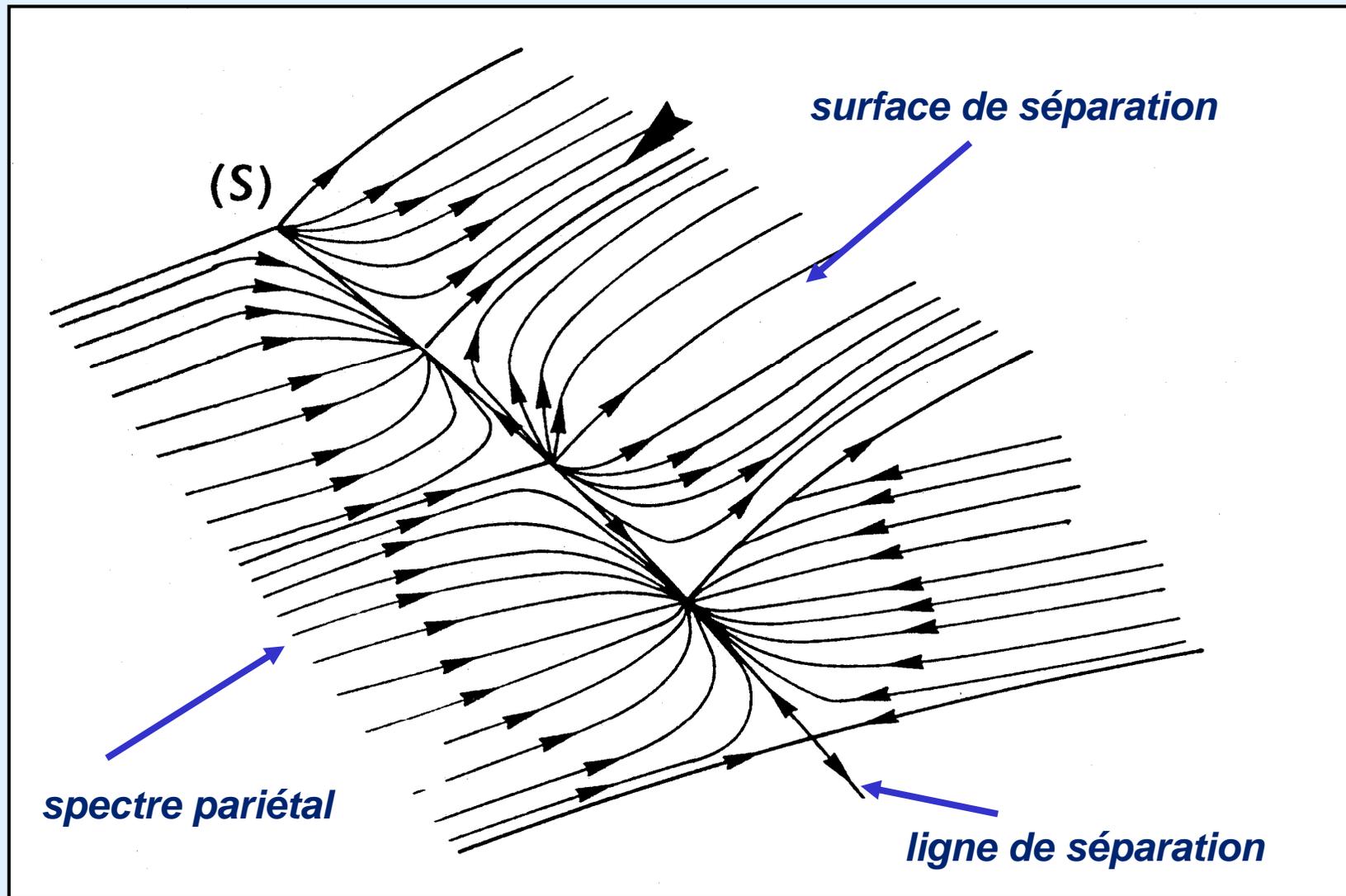
décollement

recollement



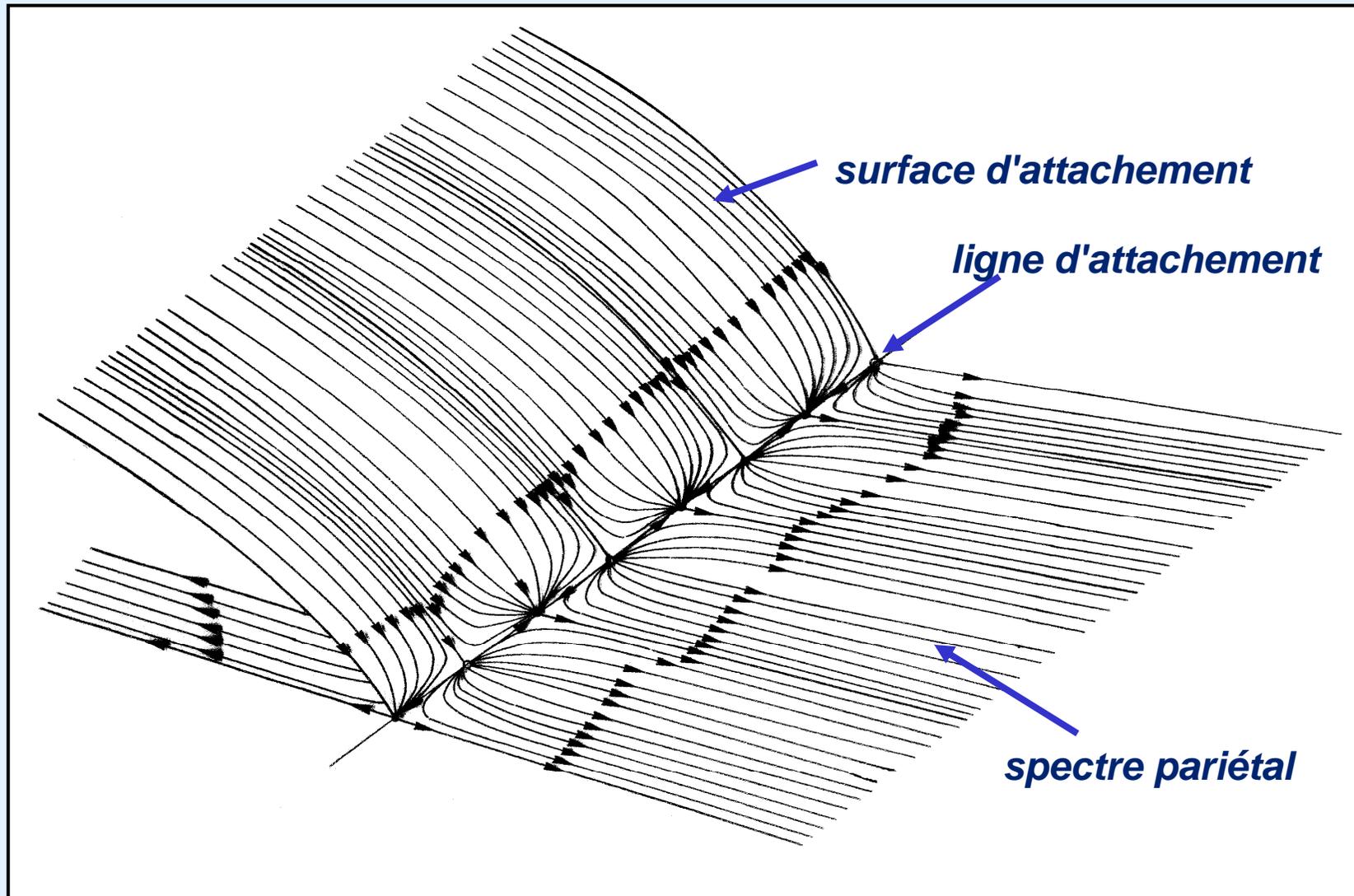
Suite infinie de combinaisons nœuds-cols se correspondant

Décollement en écoulement bidimensionnel



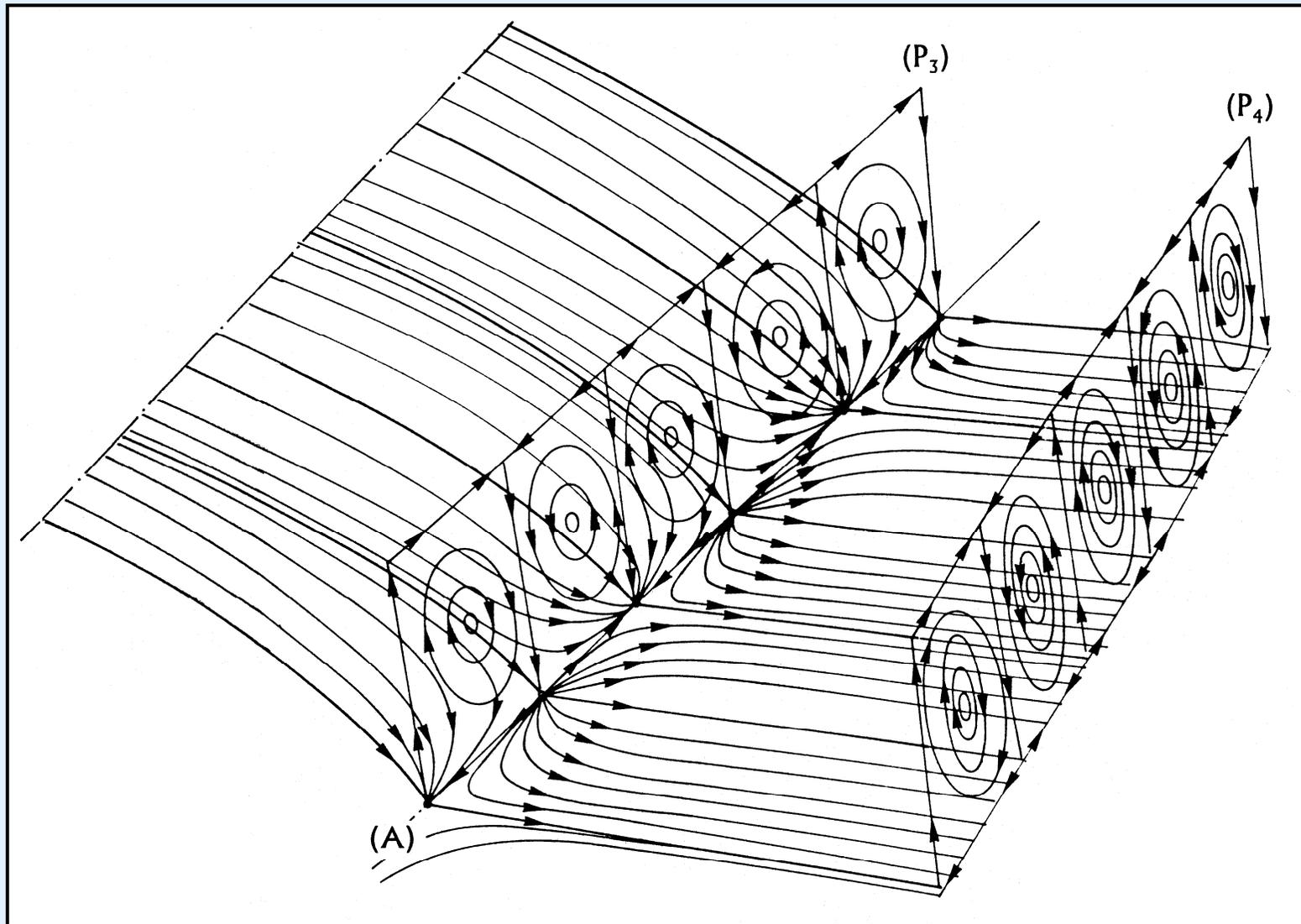
Région de séparation

Décollement en écoulement bidimensionnel



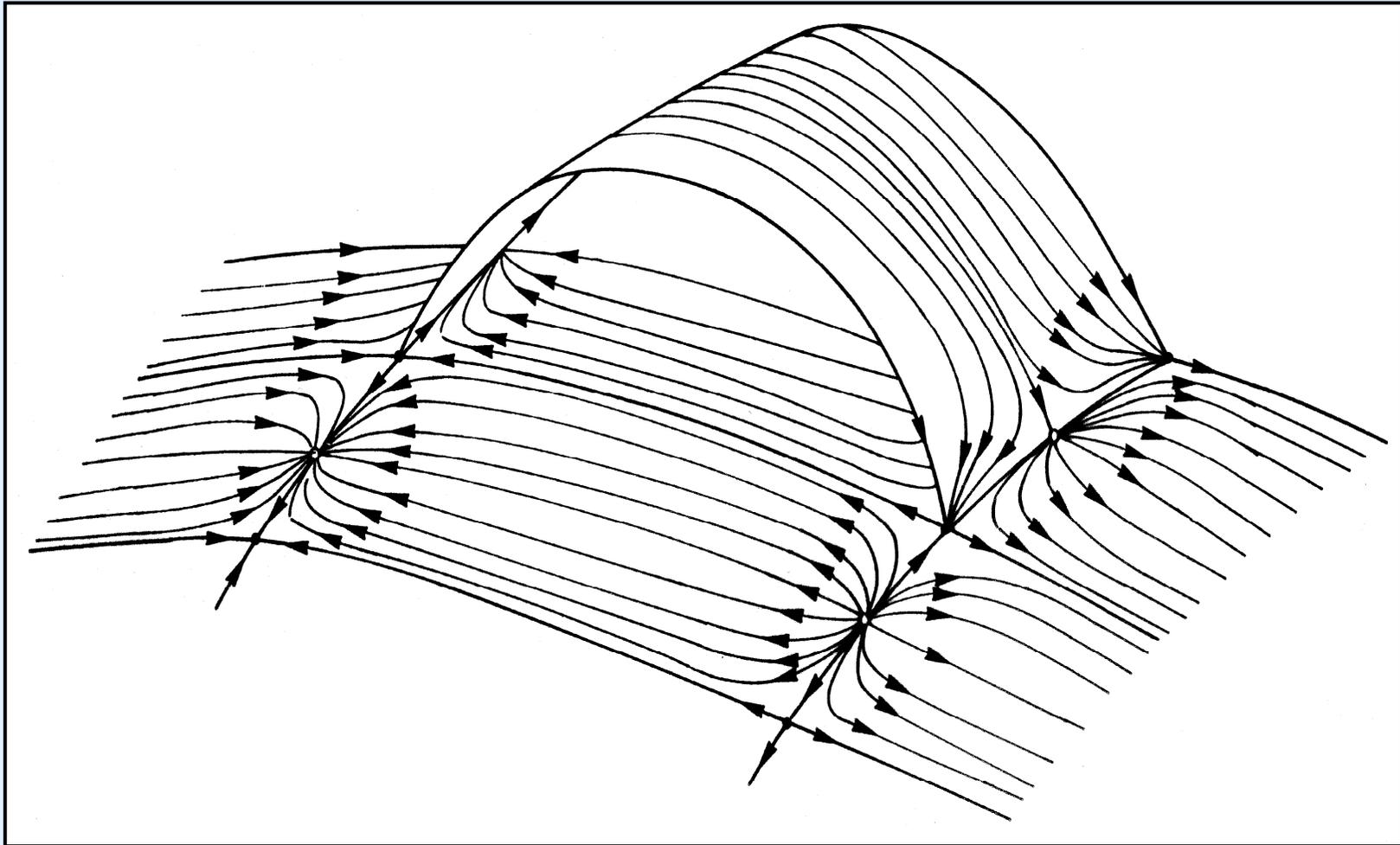
Région d'attachement

Décollement en écoulement *bidimensionnel*



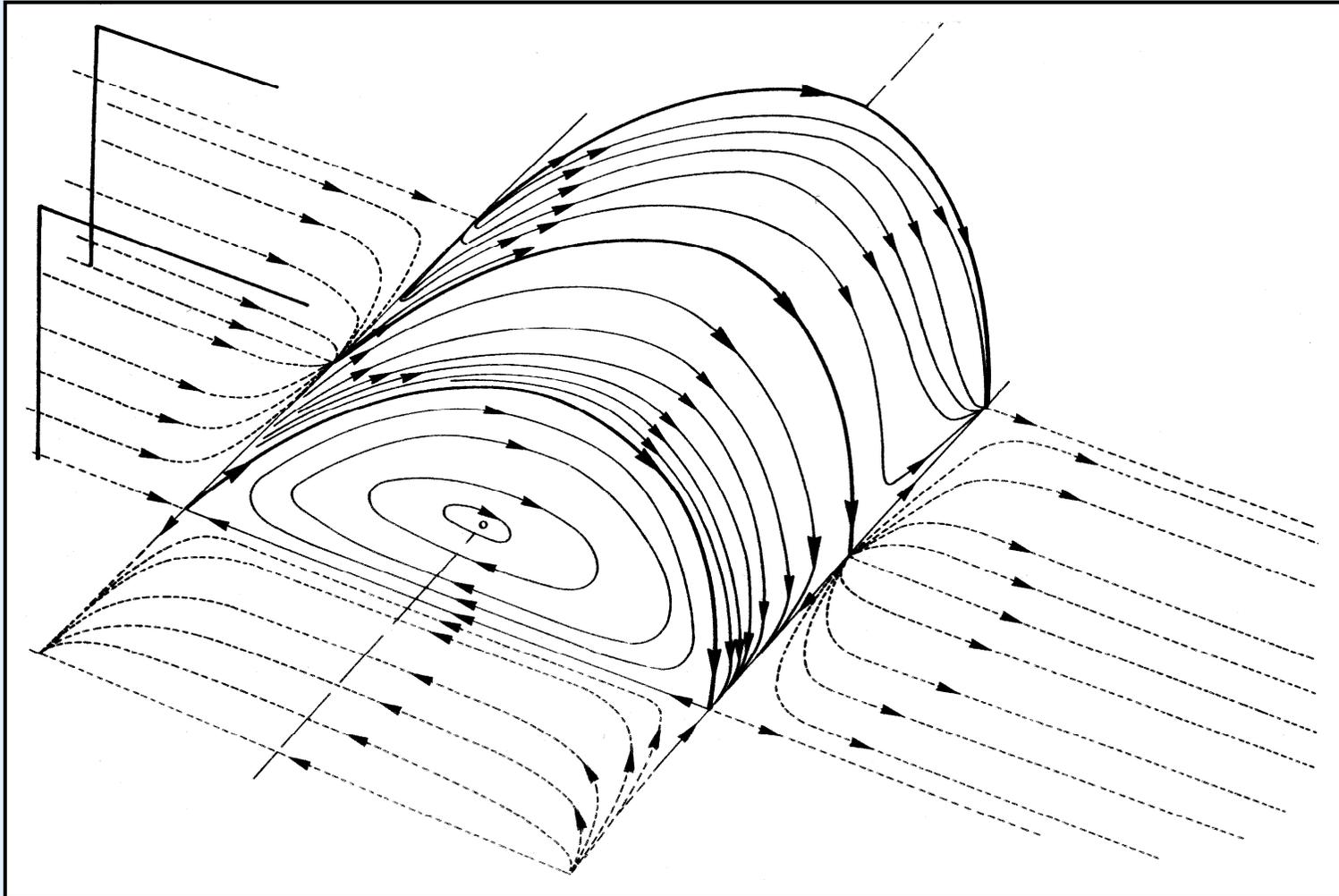
Topologie de l'écoulement et tourbillons contrarotatifs

Décollement et recollement en écoulement bidimensionnel



Surface de décollement - recollement

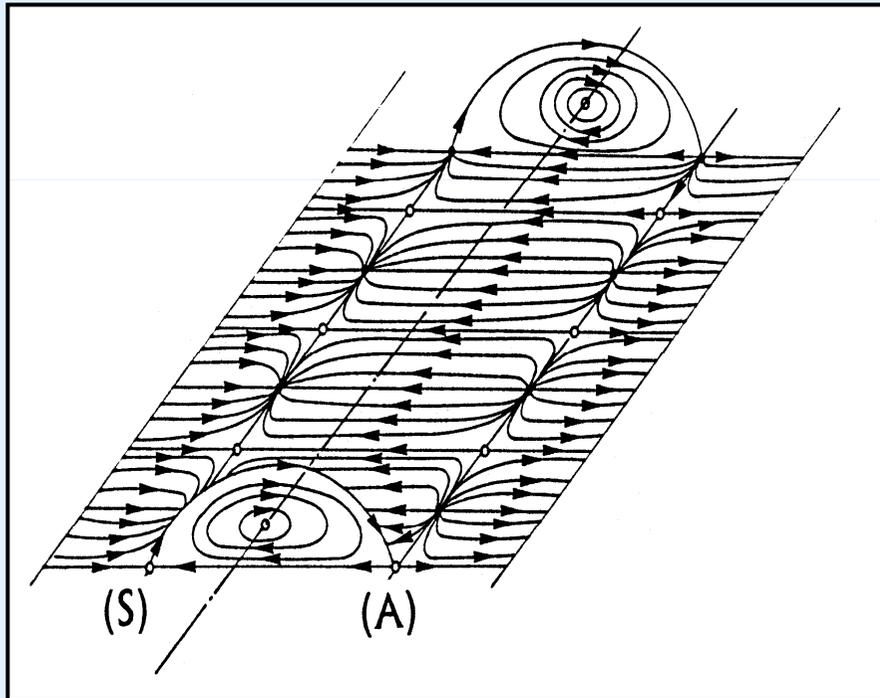
Décollement et recollement en écoulement bidimensionnel



Organisation de l'écoulement dans le bulbe de décollement

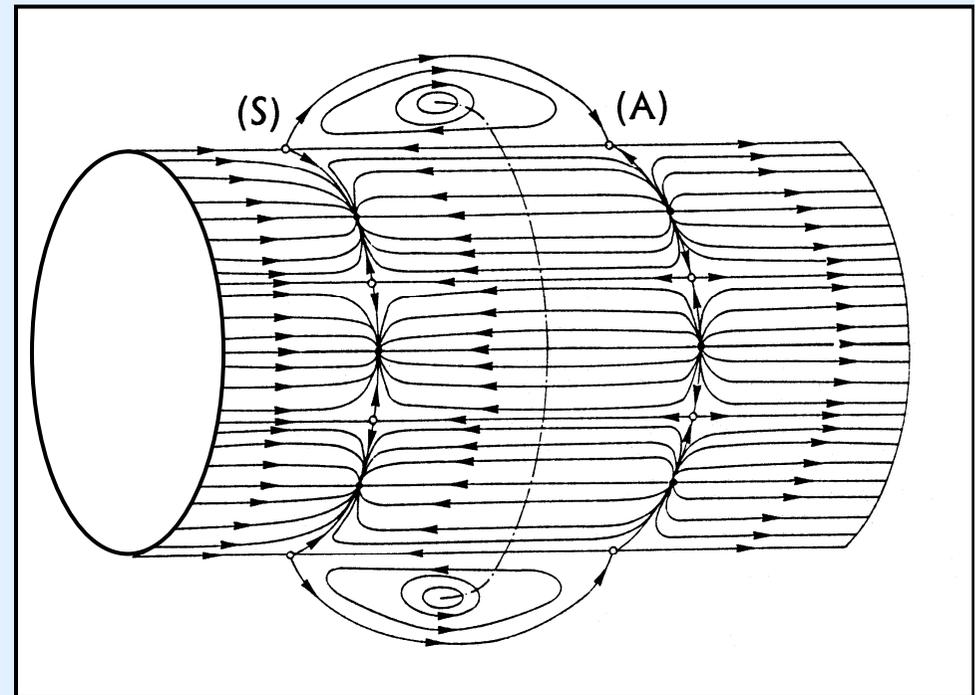
Décollement et recollement en écoulement bidimensionnel

bidimensionnel plan (improbable)



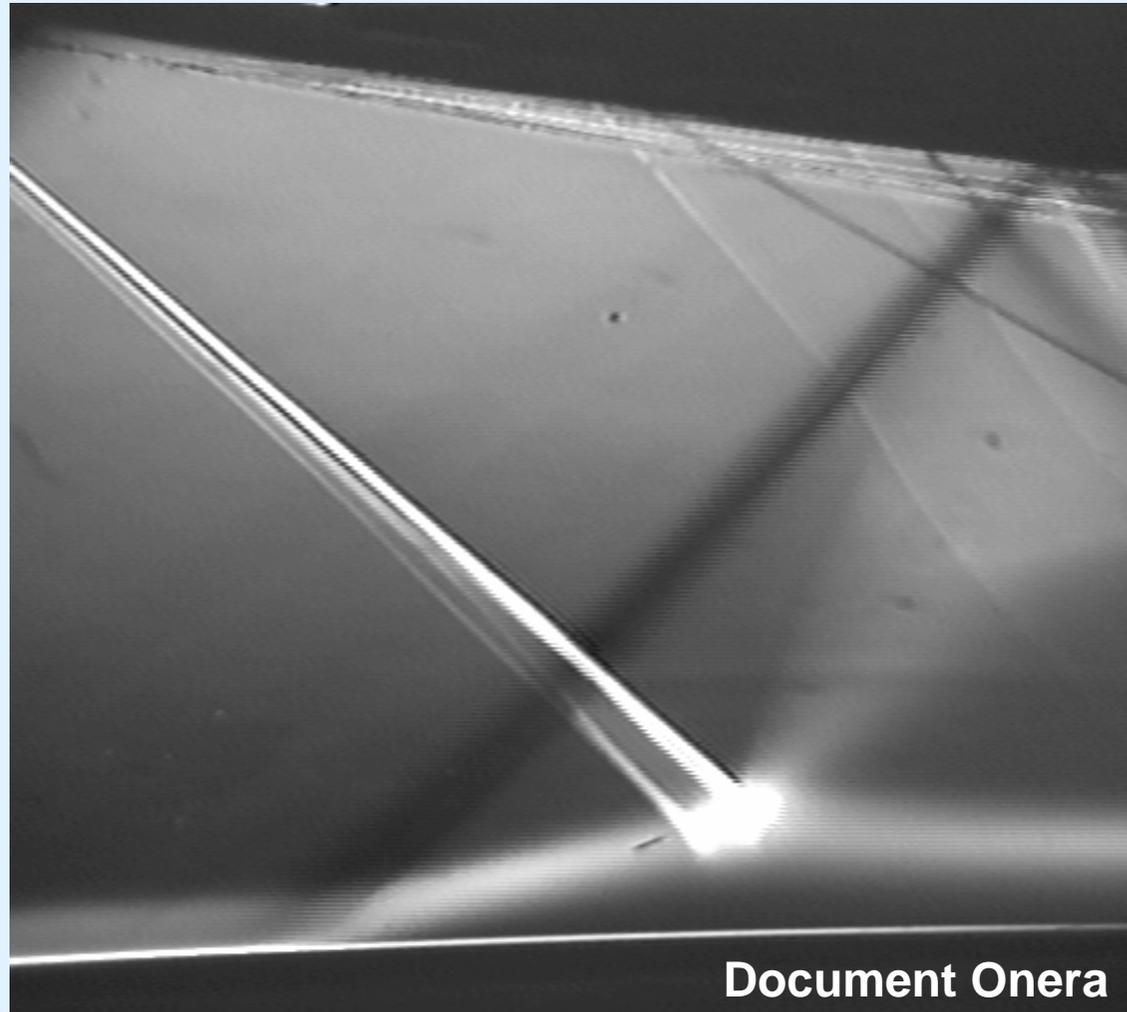
**Configuration rarement observée.
La limitation transversale de la
géométrie impose une structure
tridimensionnelle à grande échelle**

bidimensionnel de révolution



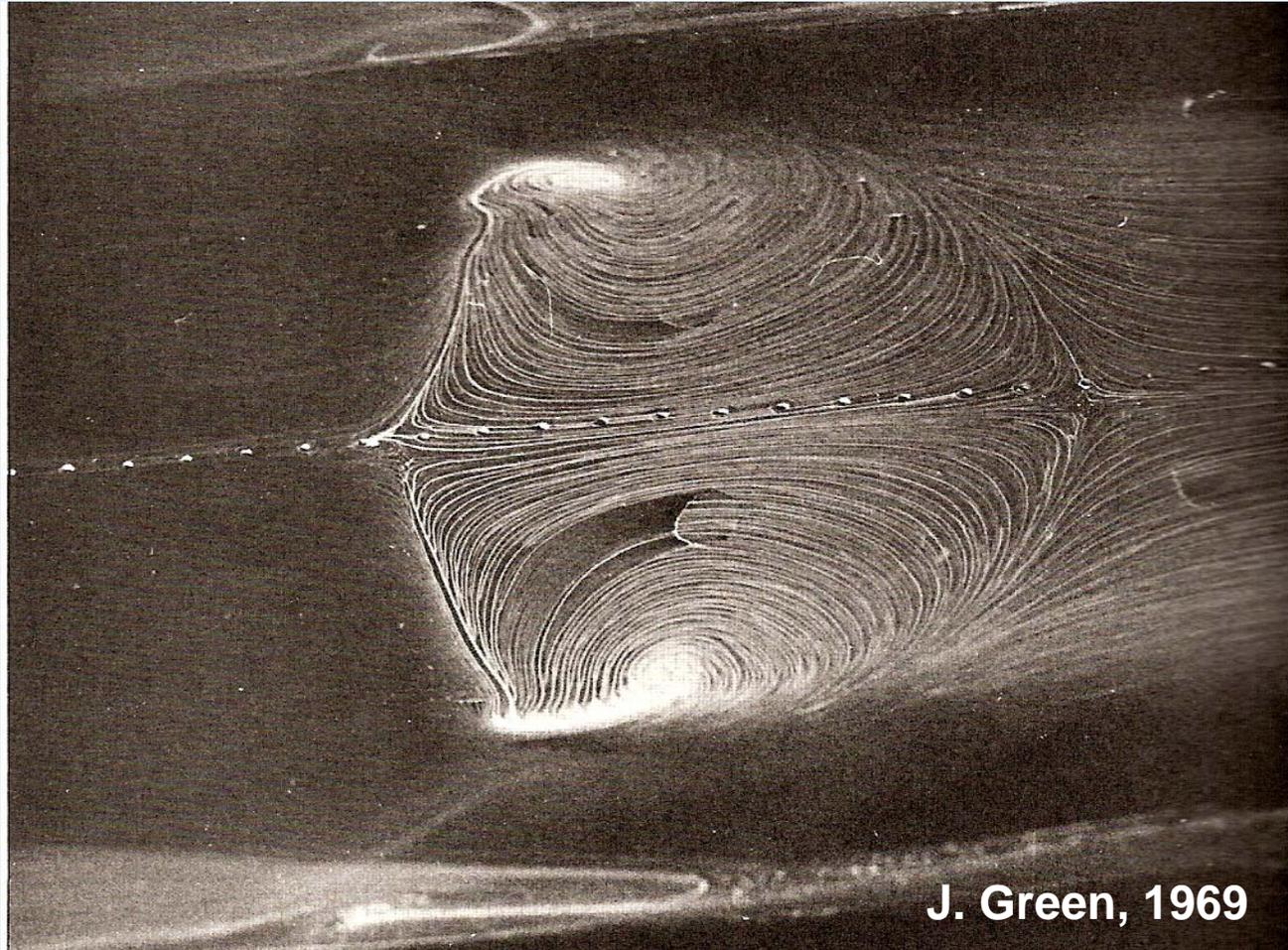
**La symétrie de révolution permet
une organisation périodique de
ce type**

**Topologies d'écoulements établis sur
des géométries bidimensionnelles planes**



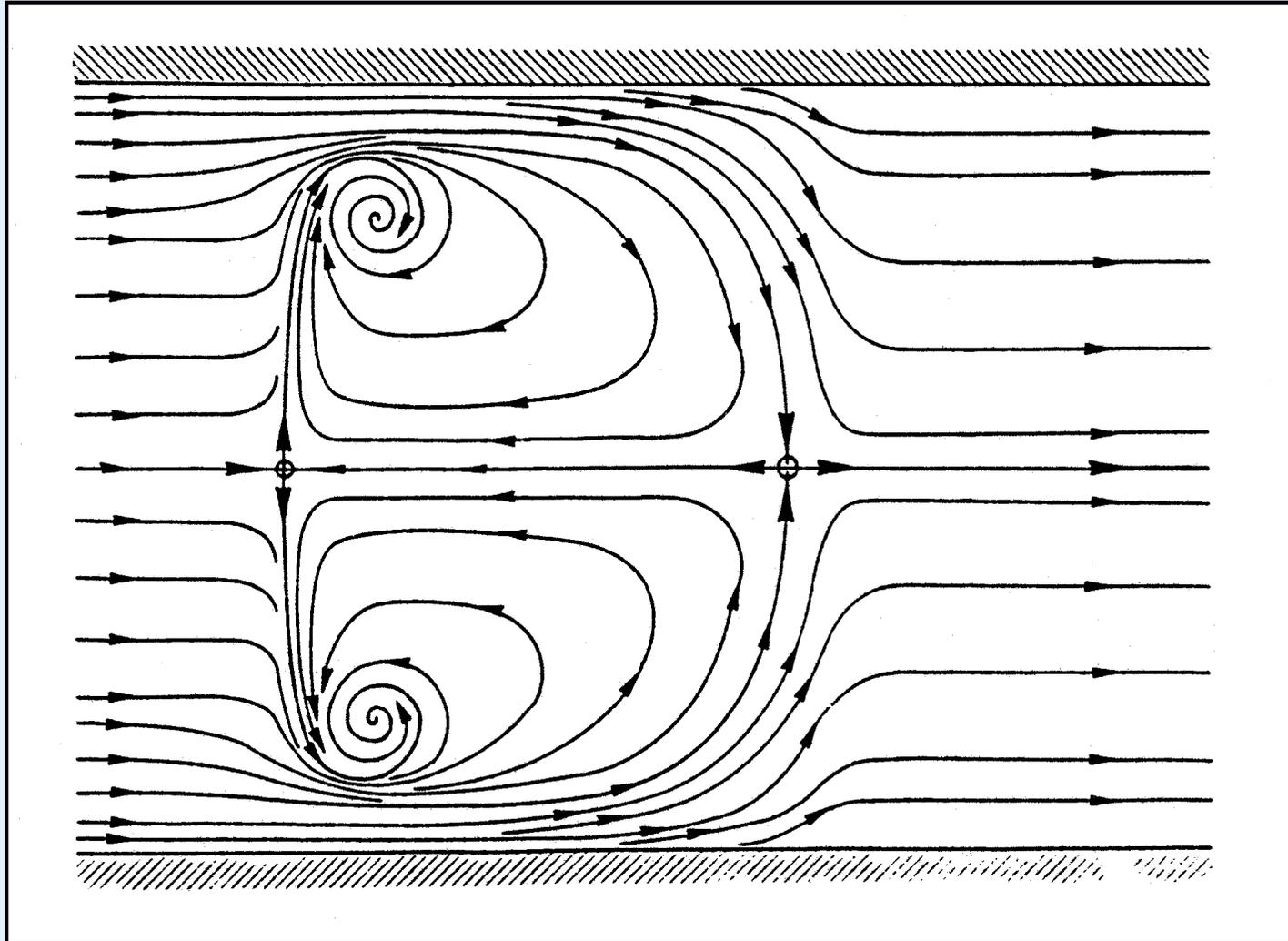
Réflexion d'un choc oblique plan à Mach 2

Réflexion d'un choc oblique plan



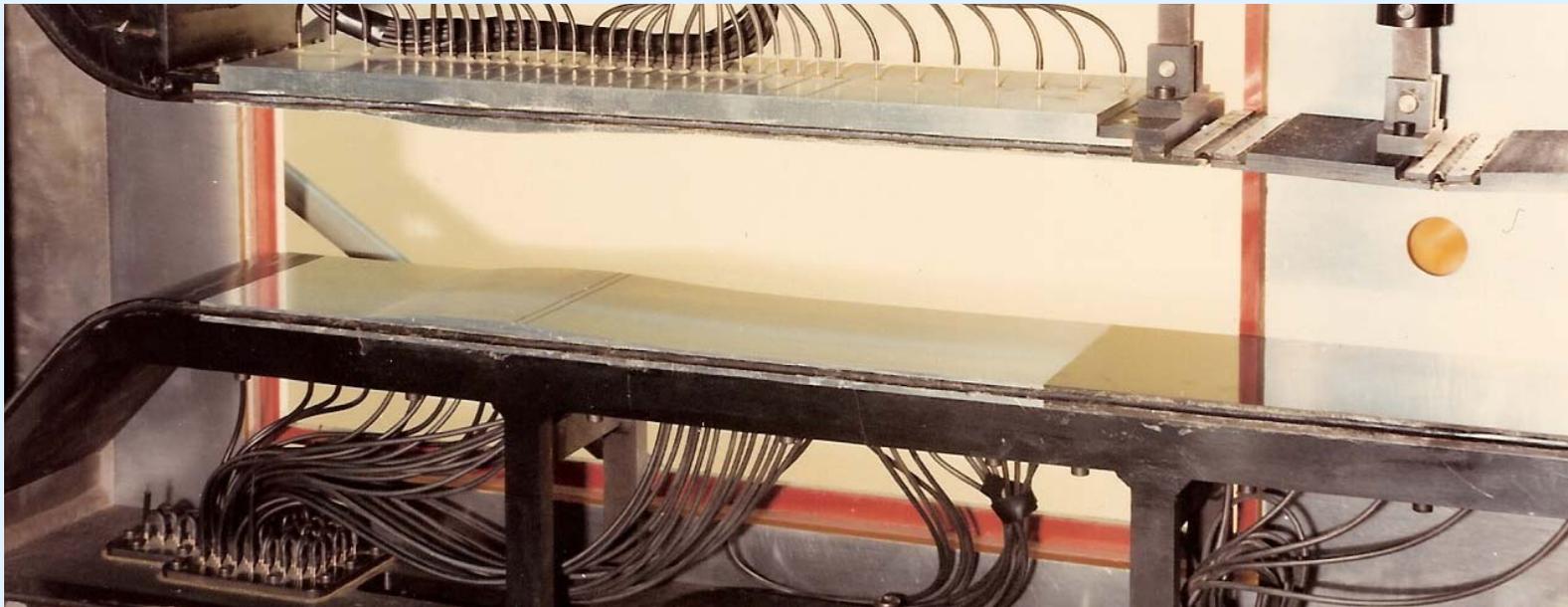
Visualisation pariétale de l'écoulement

Réflexion d'un choc oblique plan



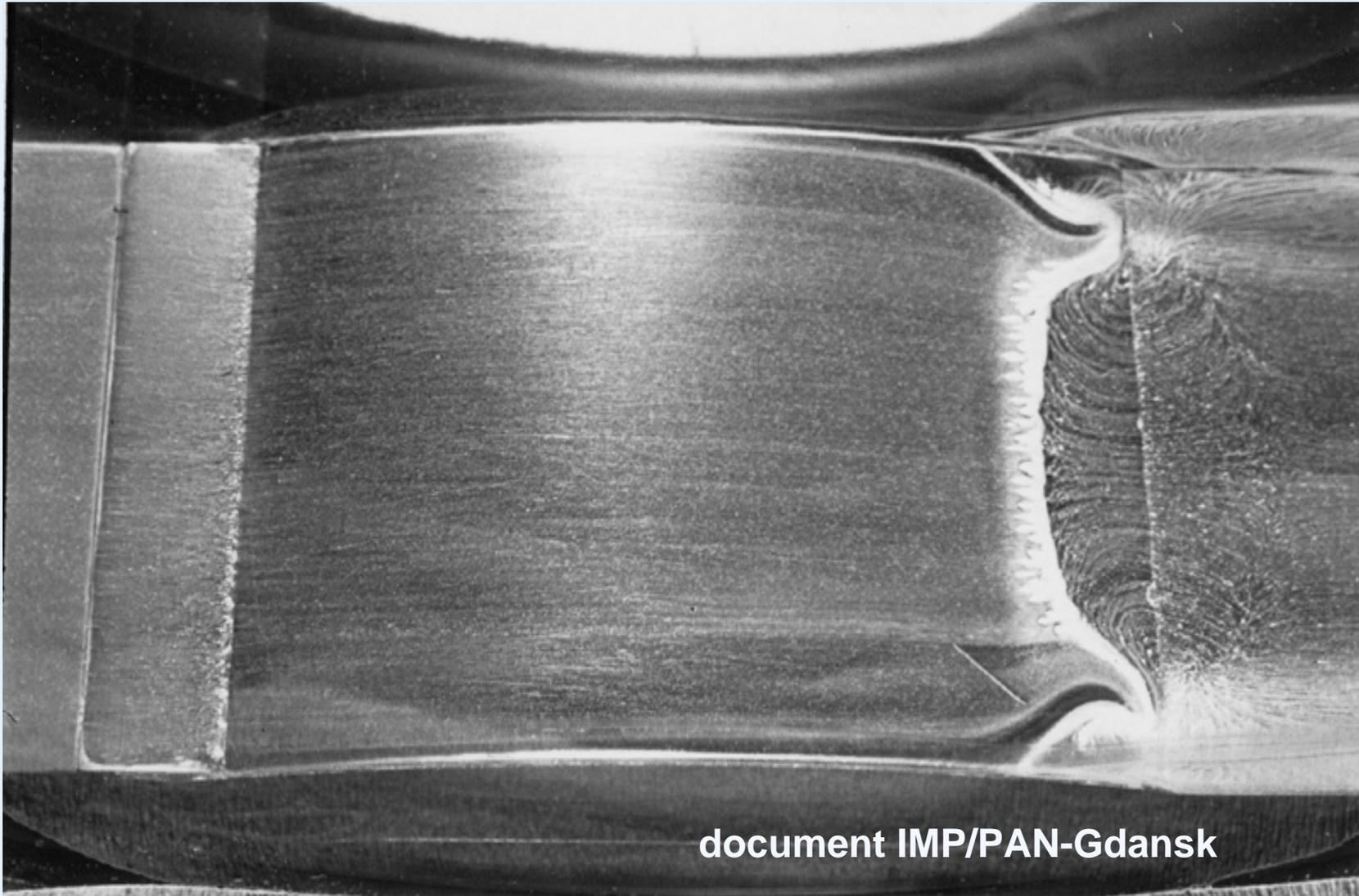
Spectre pariétal mettant en évidence des effets latéraux

**Topologies d'écoulements établis sur
des géométries bidimensionnelles planes**



Canal transsonique dans la soufflerie S8Ch de l'Onera-Meudon

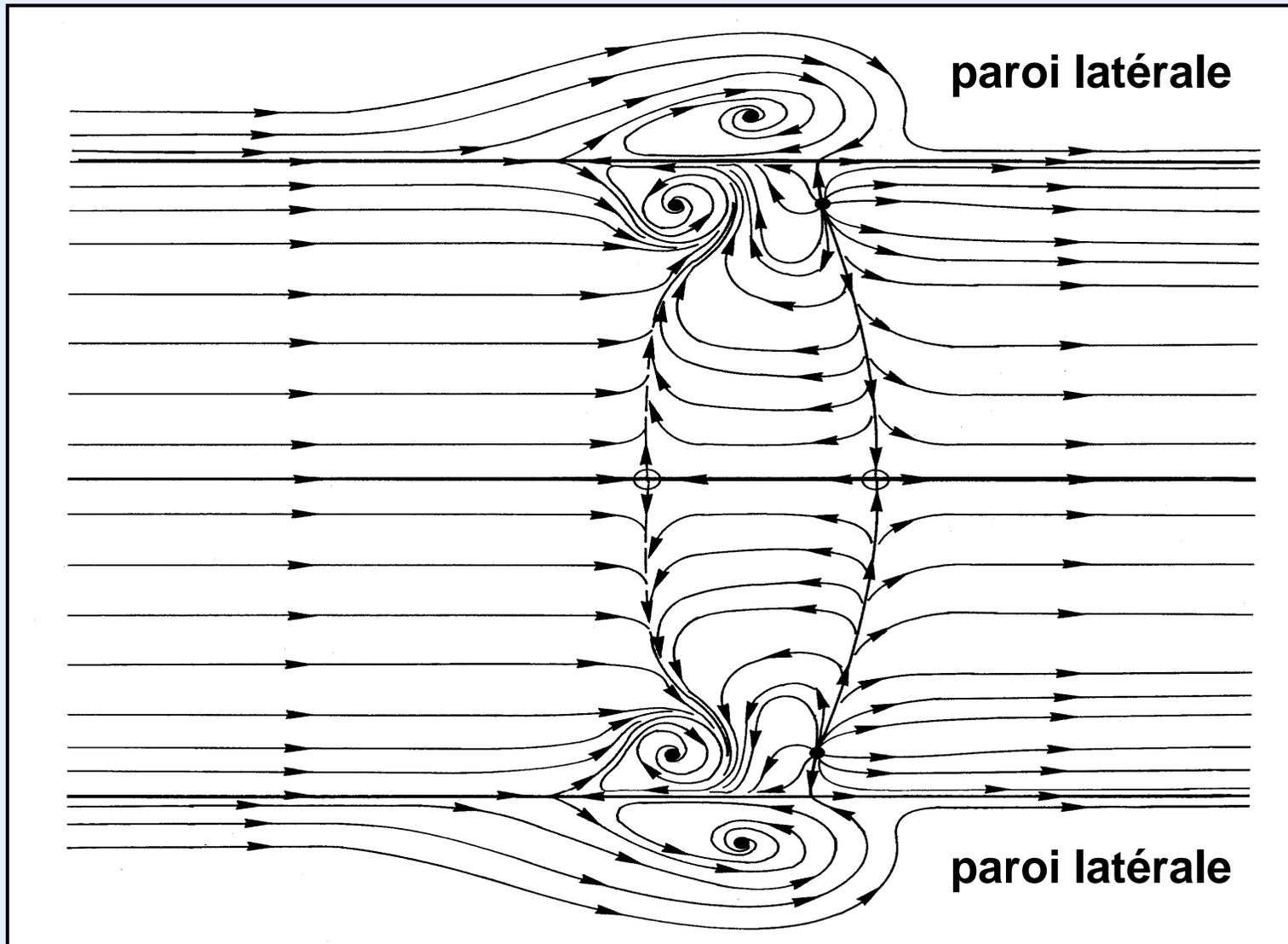
Décollement et recollement dans un canal transsonique



document IMP/PAN-Gdansk

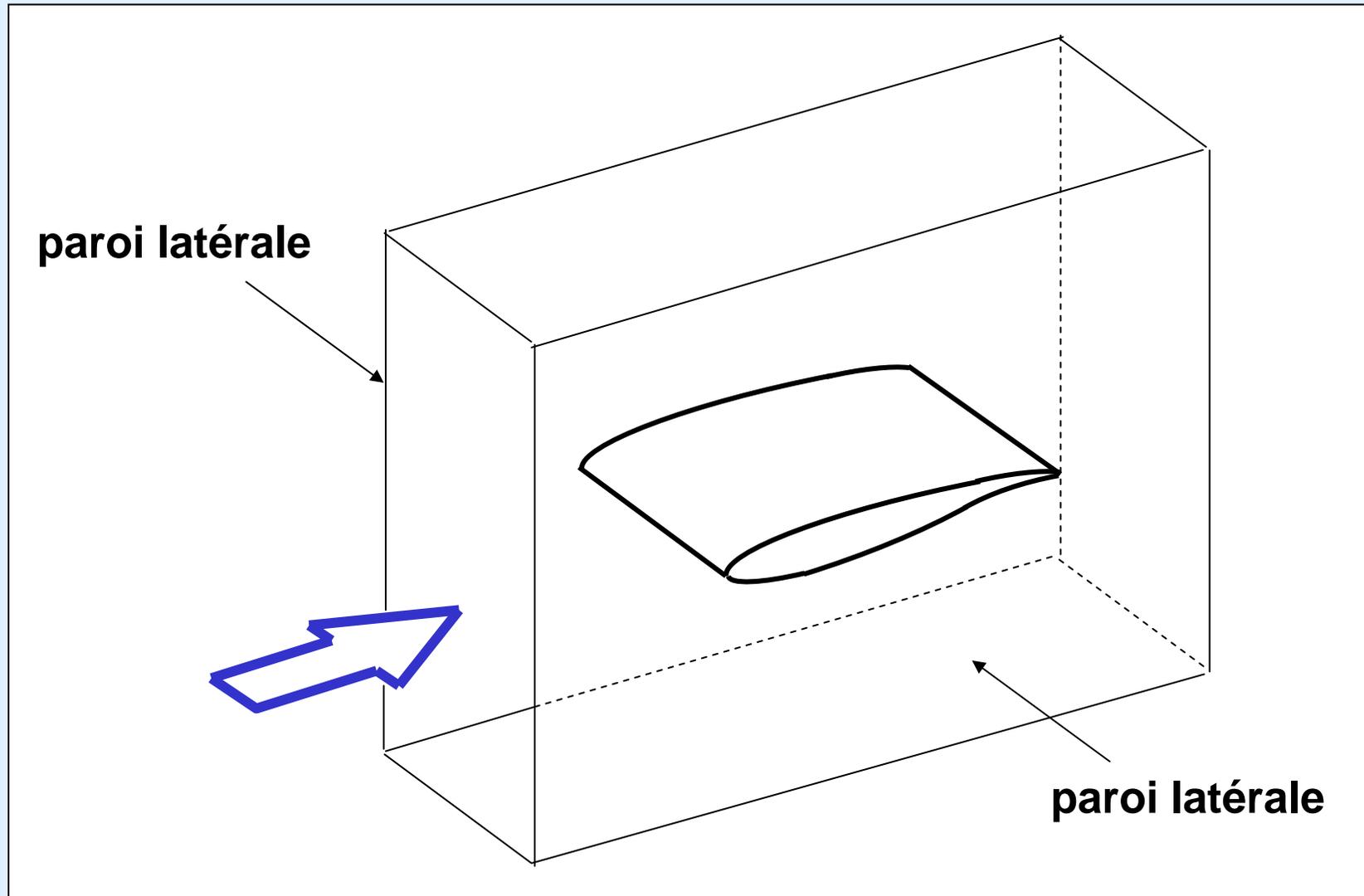
Visualisation pariétale de l'écoulement

Décollement et recollement dans un canal transsonique



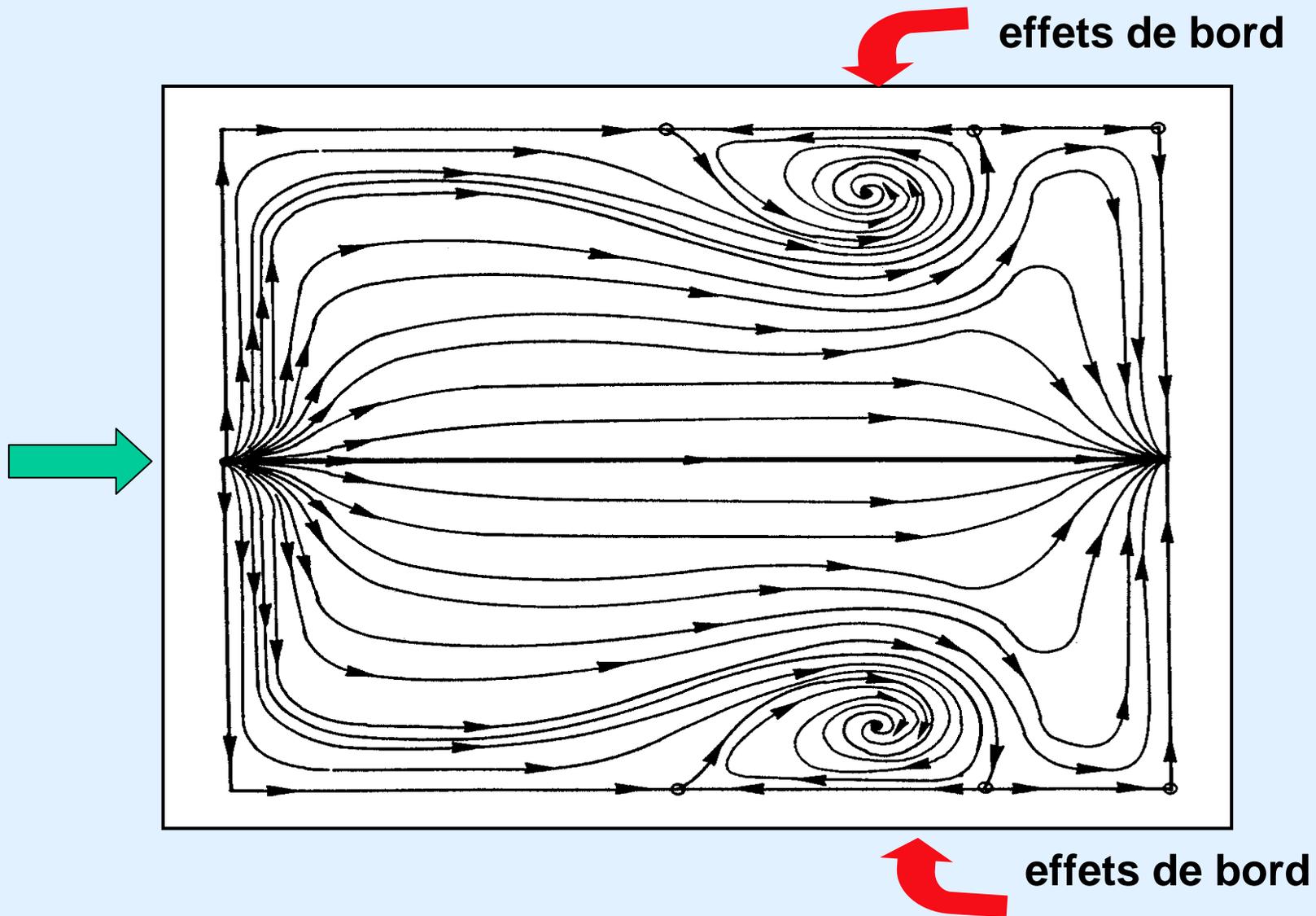
Topologie du spectre pariétal

Écoulement sur un profil bidimensionnel placé dans une veine transsonique



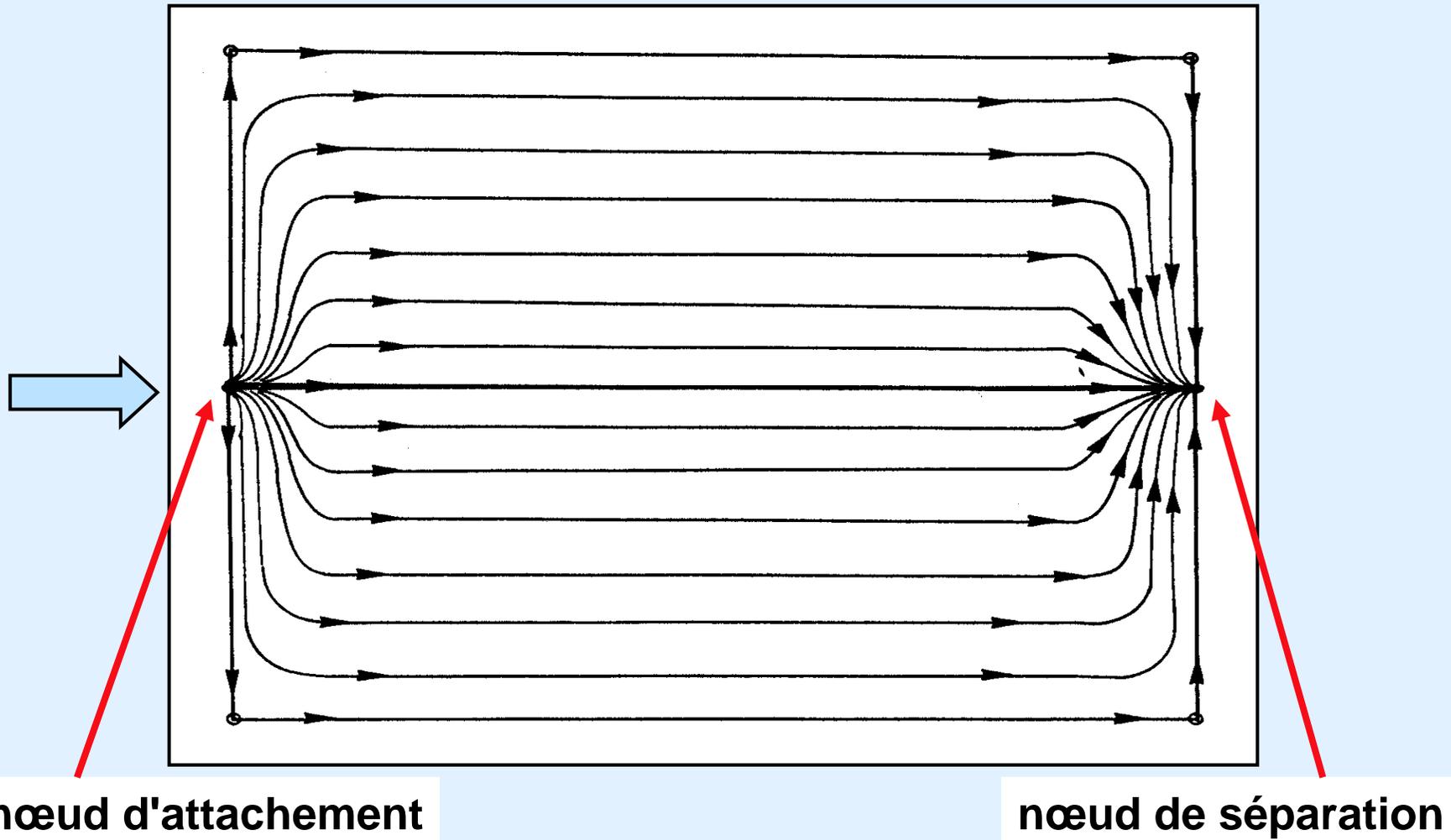
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Spectre pariétal à l'extrados

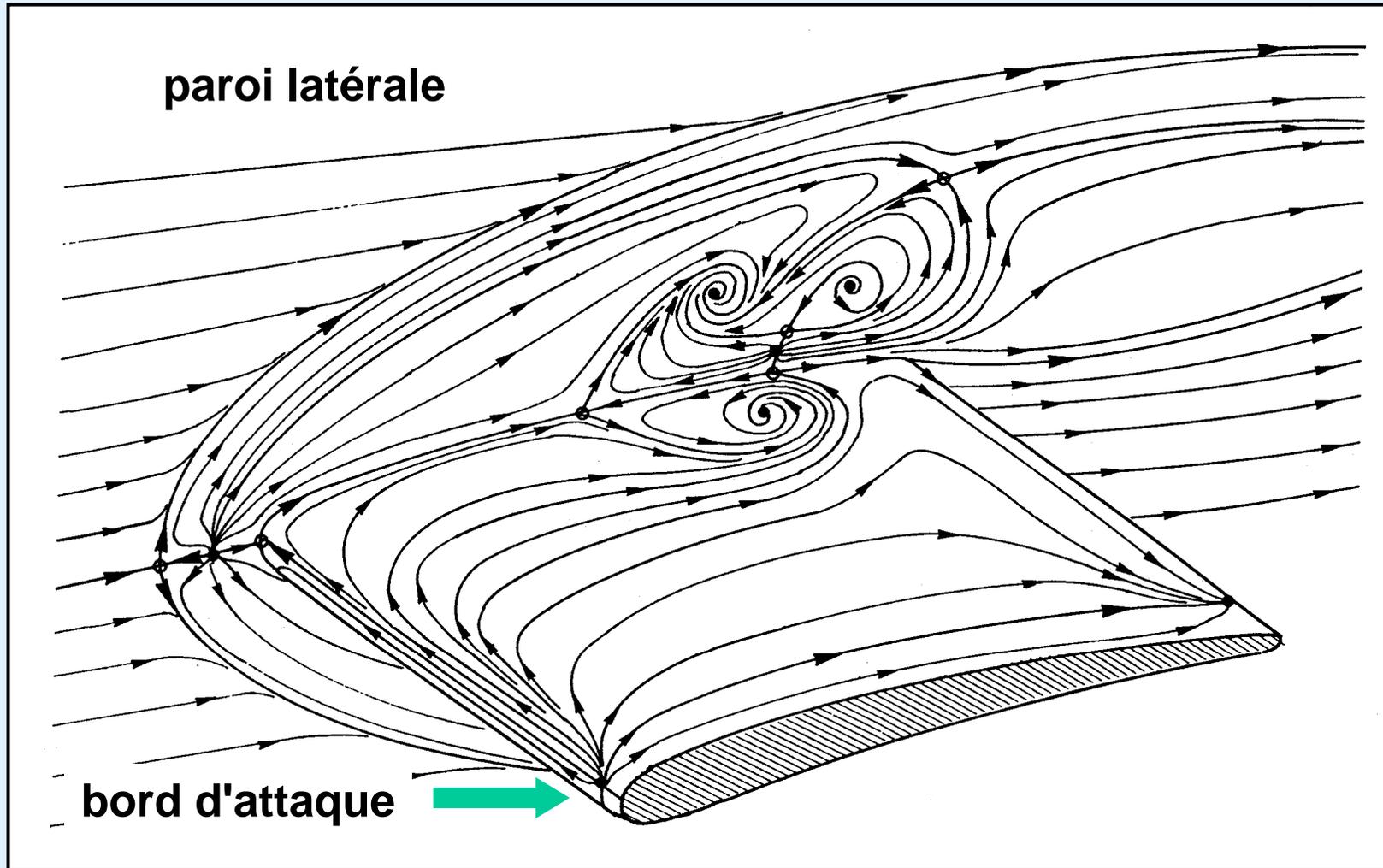


Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Spectre pariétal à l'intrados



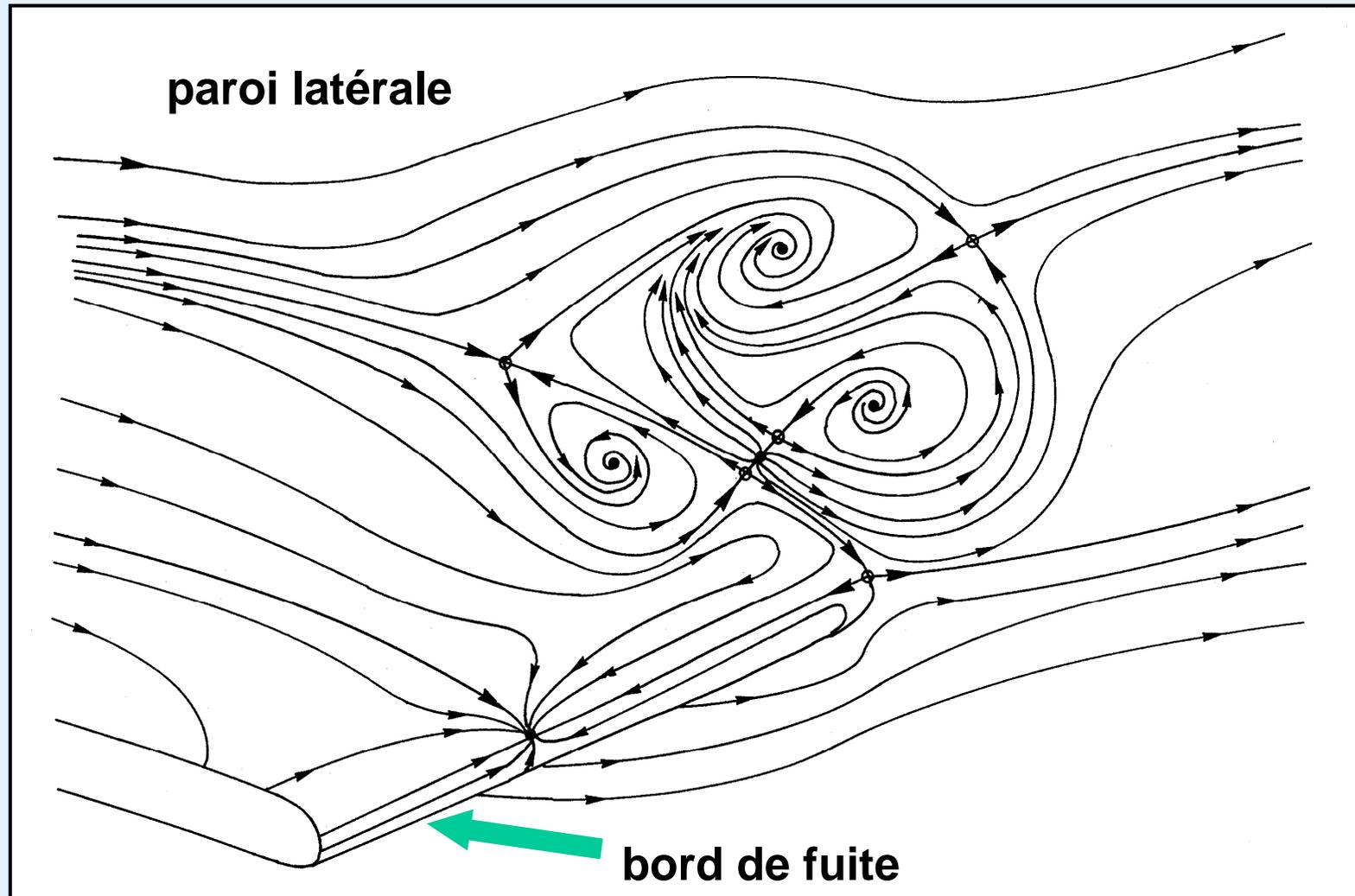
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique



Spectre pariétal à la jonction profil-paroi latérale

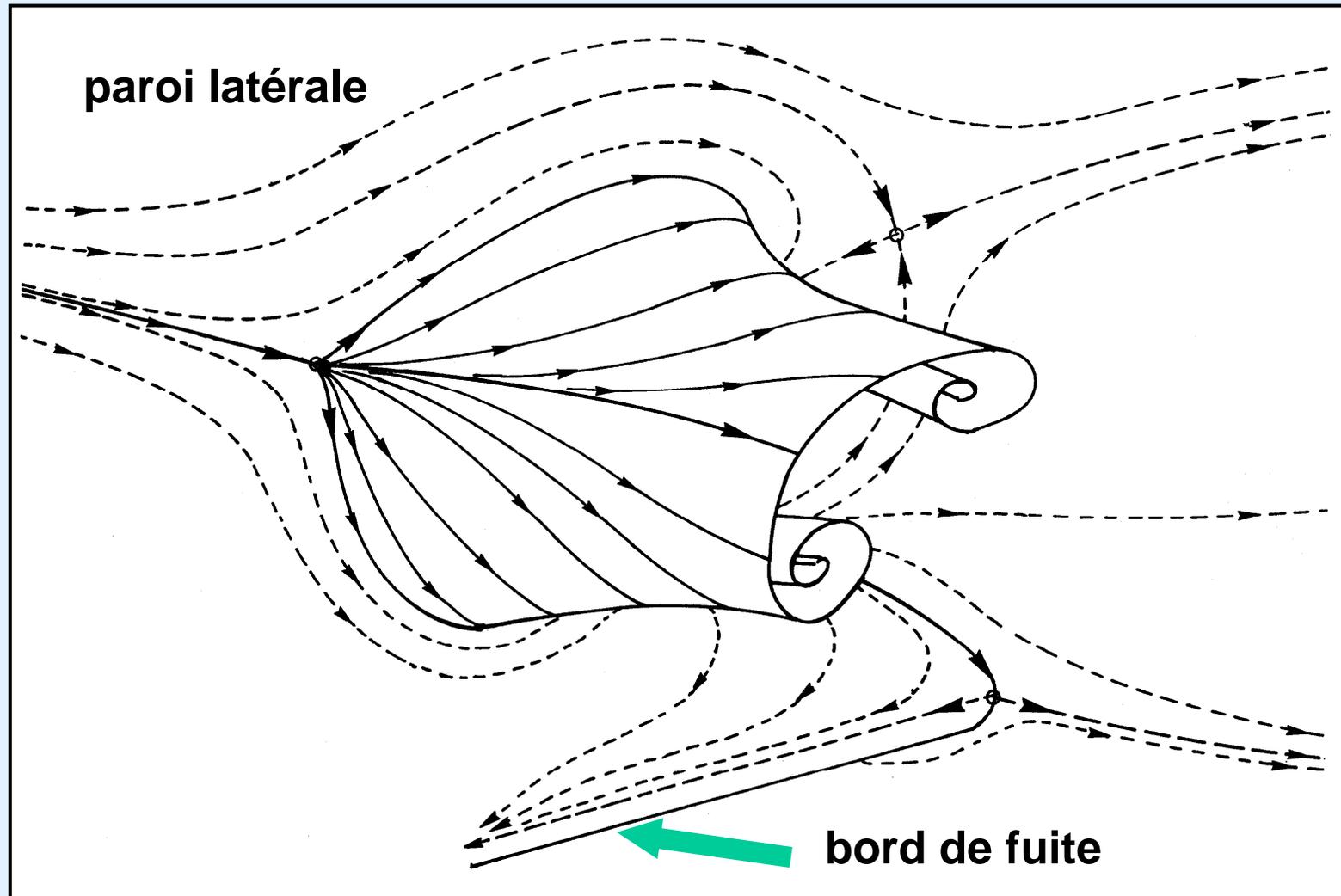
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Spectre pariétal à la jonction profil-paroi latérale



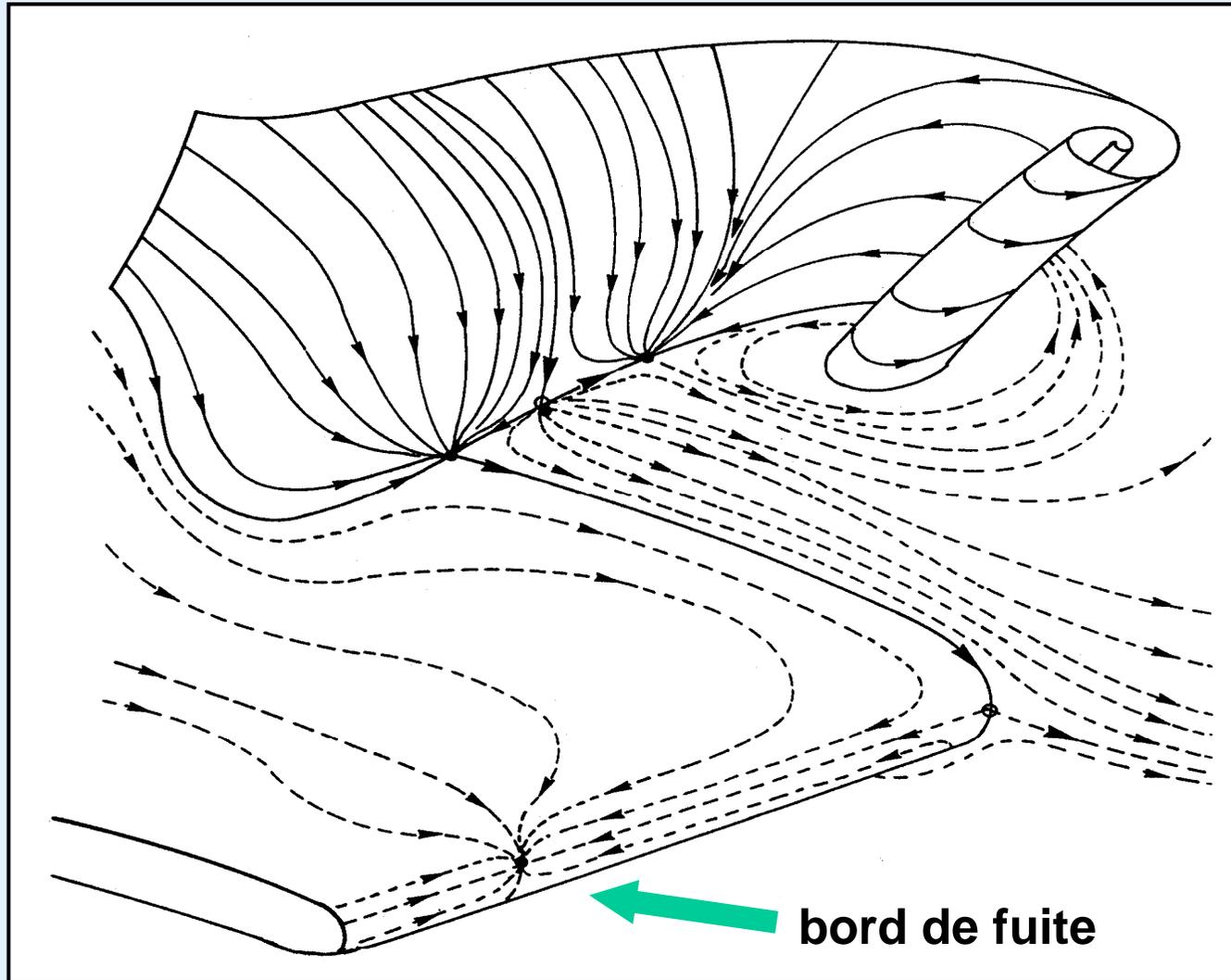
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Surface de séparation Σ_1



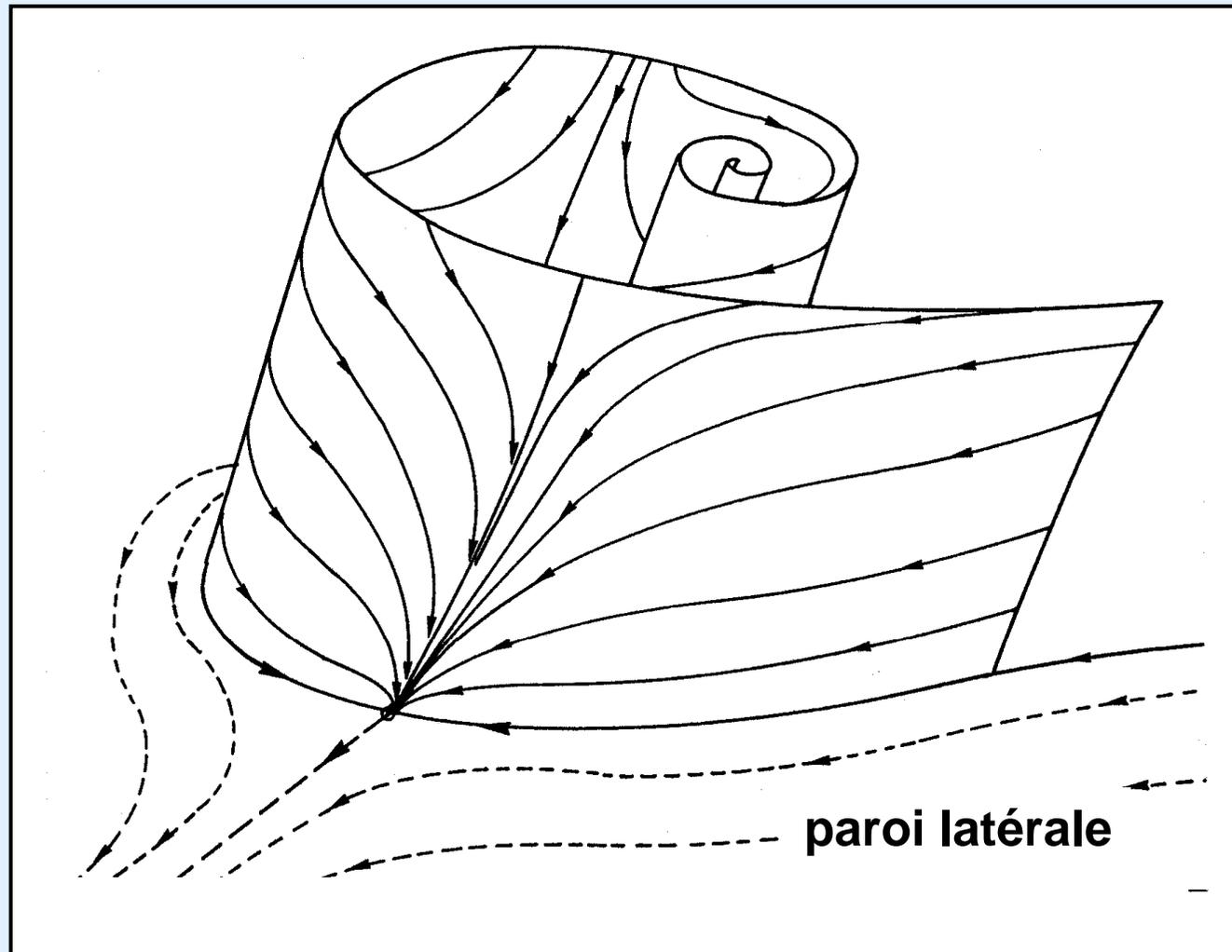
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Surface de séparation Σ_2



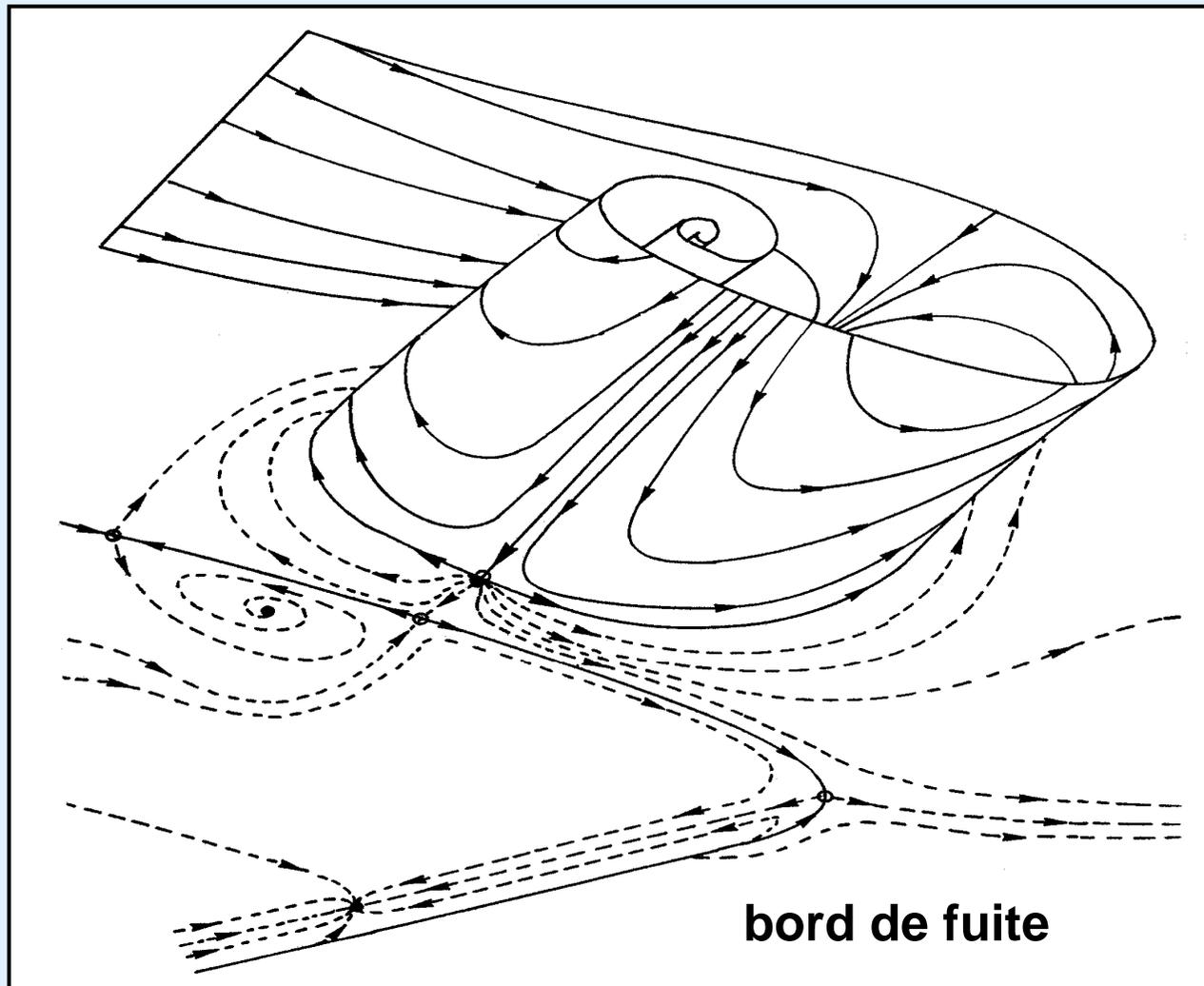
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Surface de séparation Σ_3



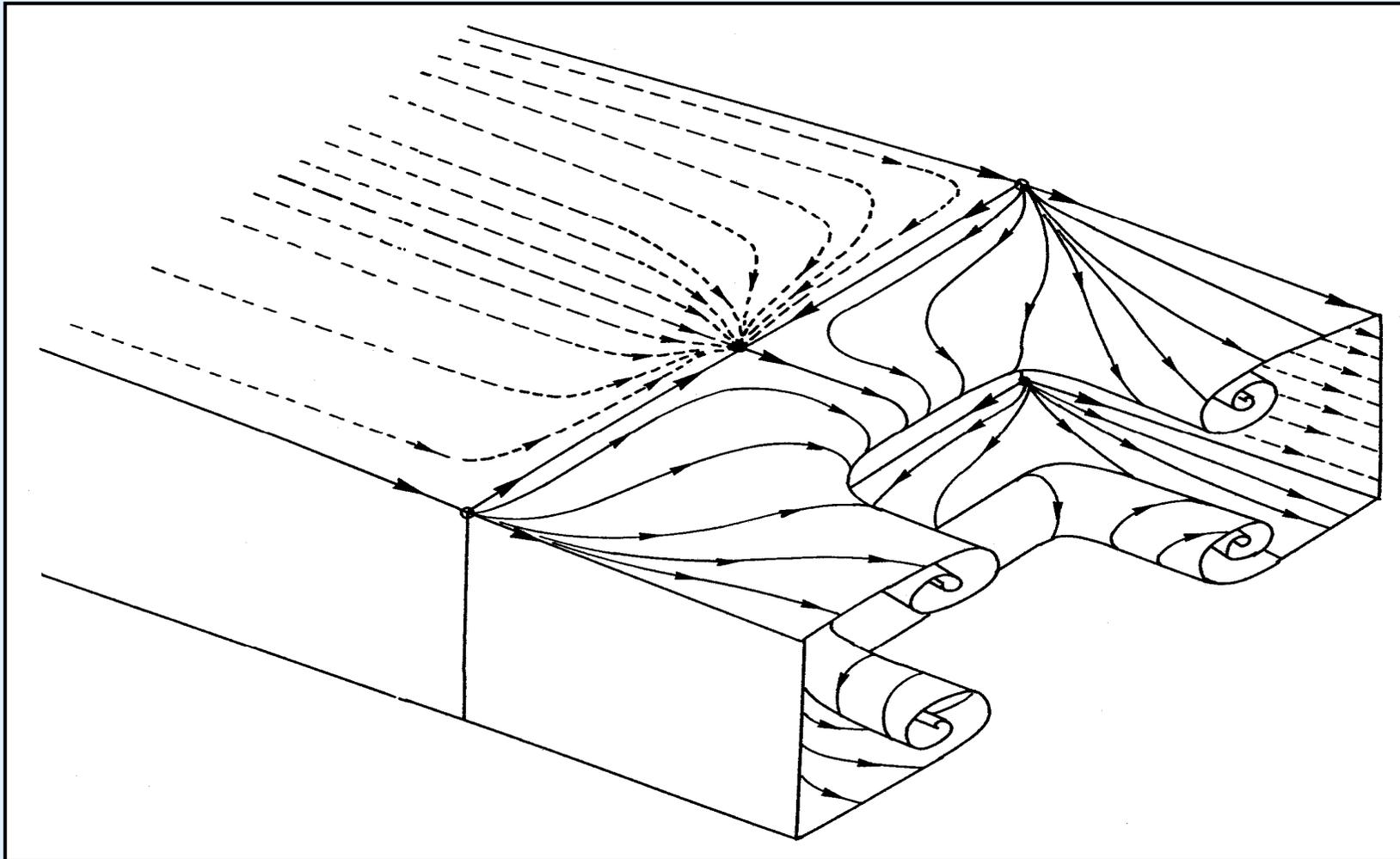
Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

Surface de séparation Σ_3 . Autre vue



Profil bidimensionnel dans une veine transsonique

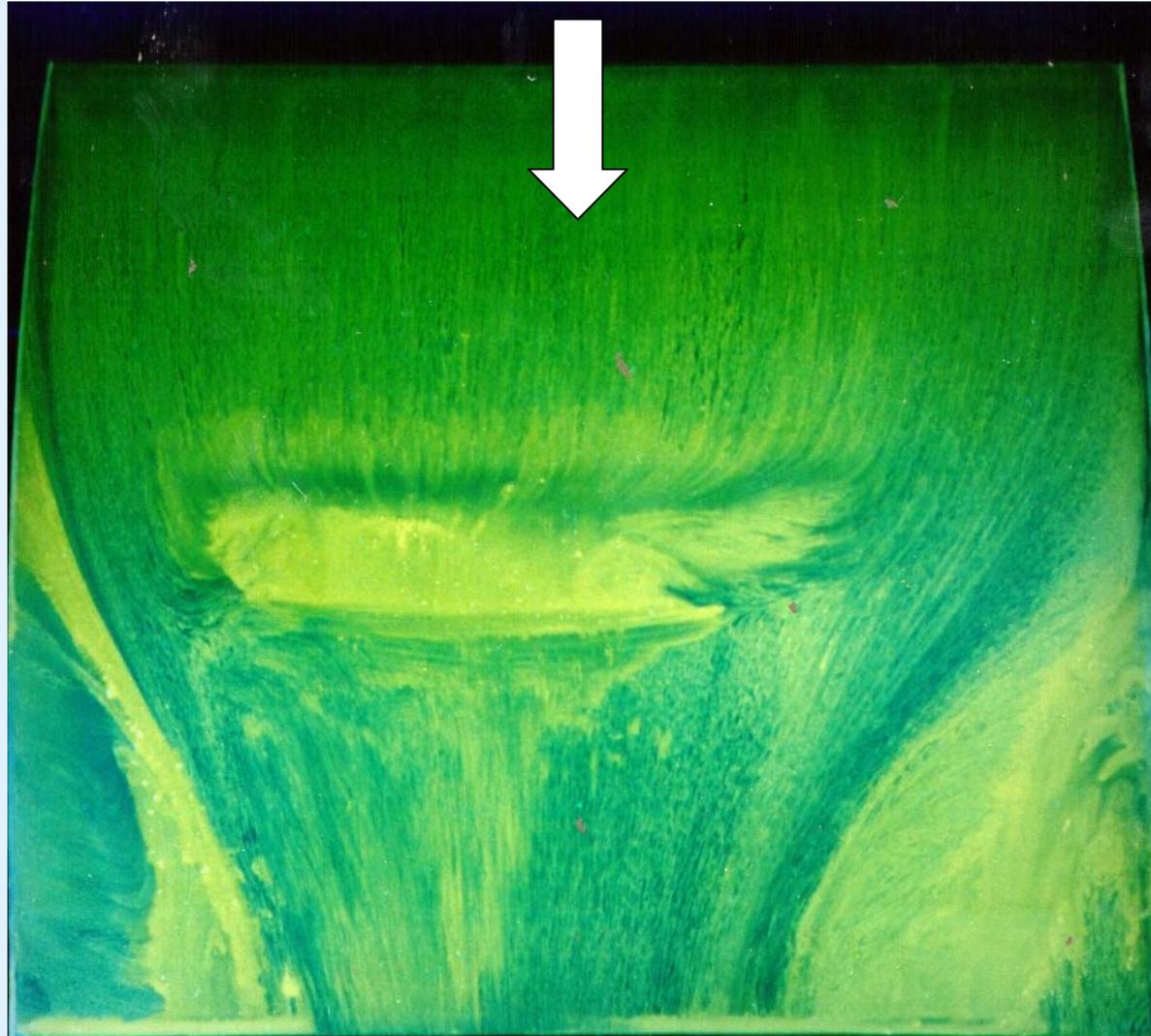
Surface de séparation partant d'un bord de fuite tronqué



Écoulement dans une grille schématique de compresseur

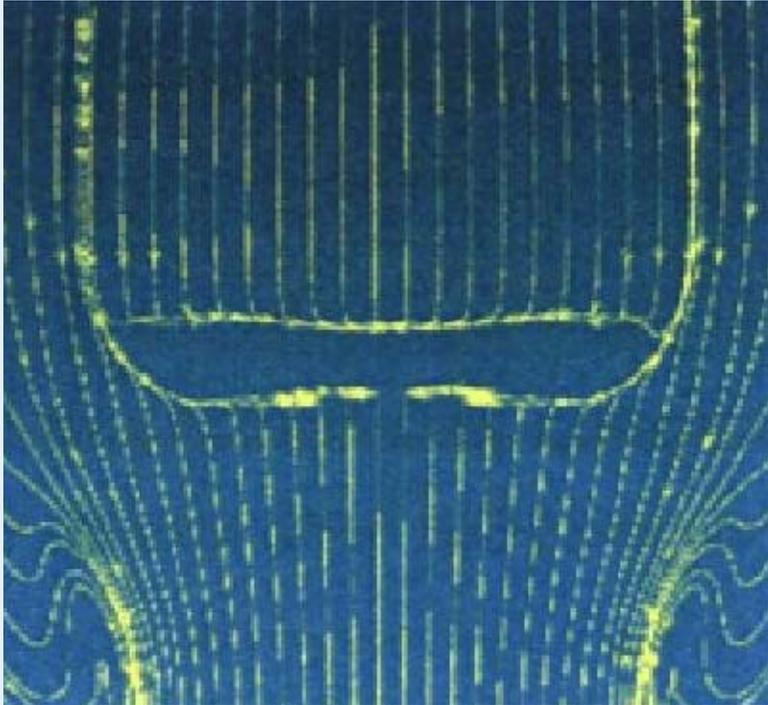


Écoulement dans une grille de compresseur

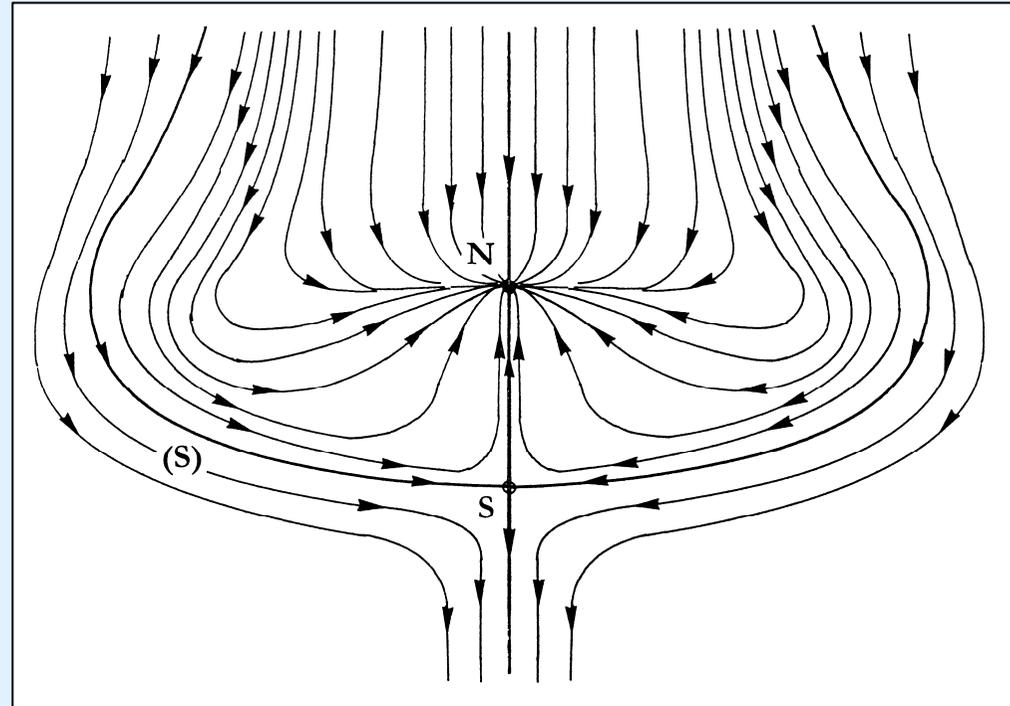


Écoulement pariétal sur une des aubes

Écoulement dans une grille de compresseur



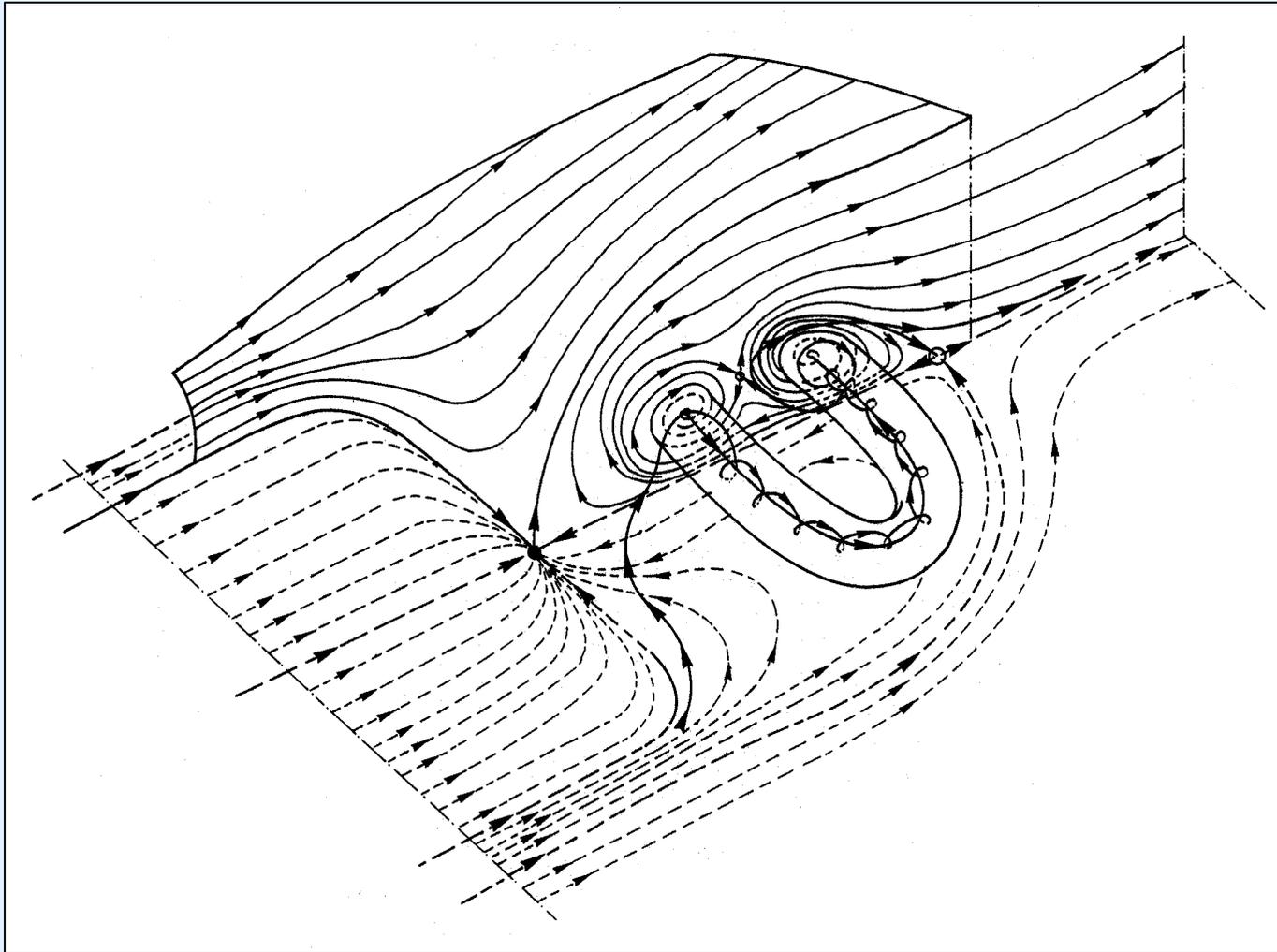
calcul Navier-Stokes



interprétation topologique

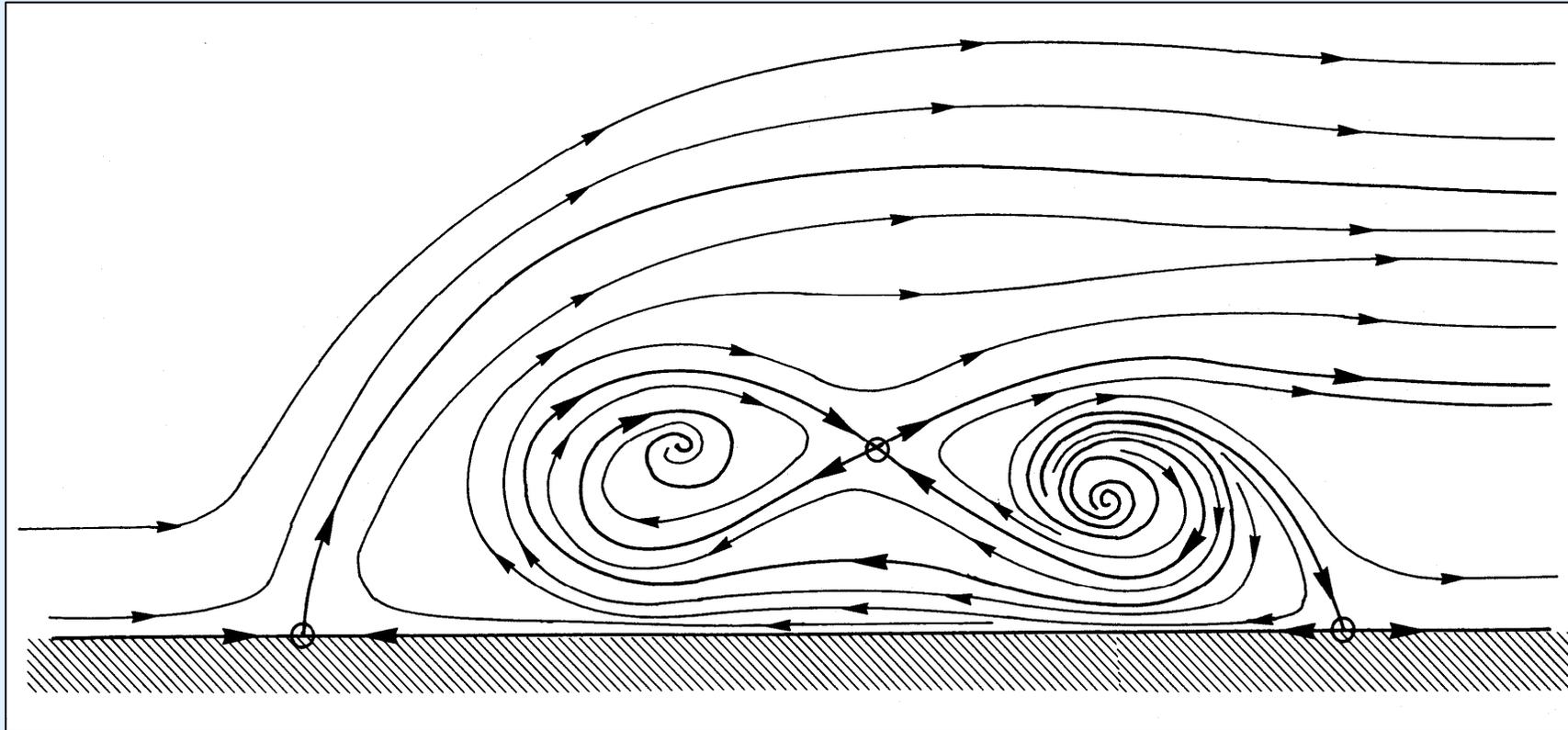
Spectre pariétal sur une des aubes

Écoulement dans une grille de compresseur



Reconstruction du tourbillon torique

Écoulement dans une grille de compresseur



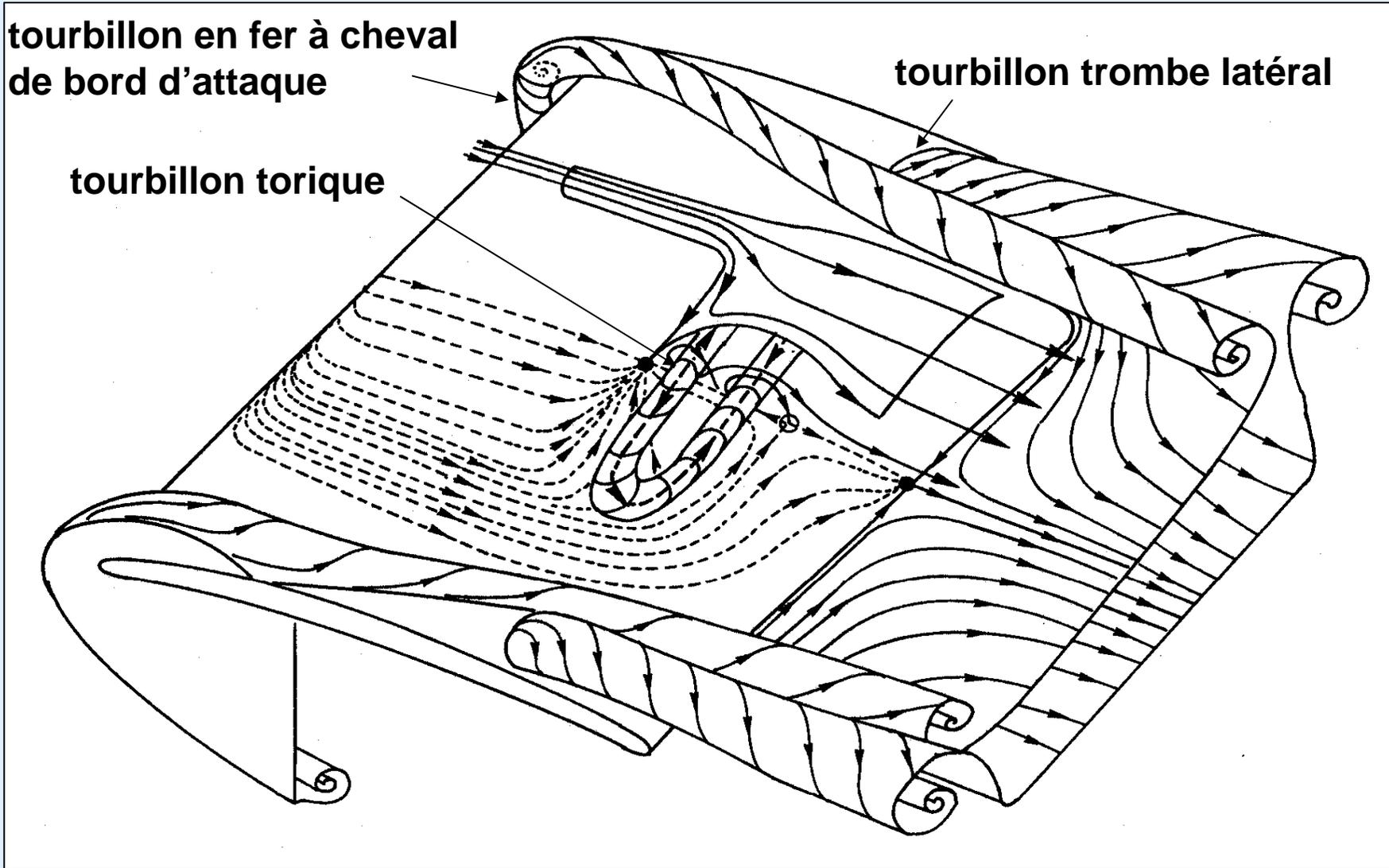
Coupe du tourbillon par le plan médian

Écoulement dans une grille de compresseur

tourbillon en fer à cheval
de bord d'attaque

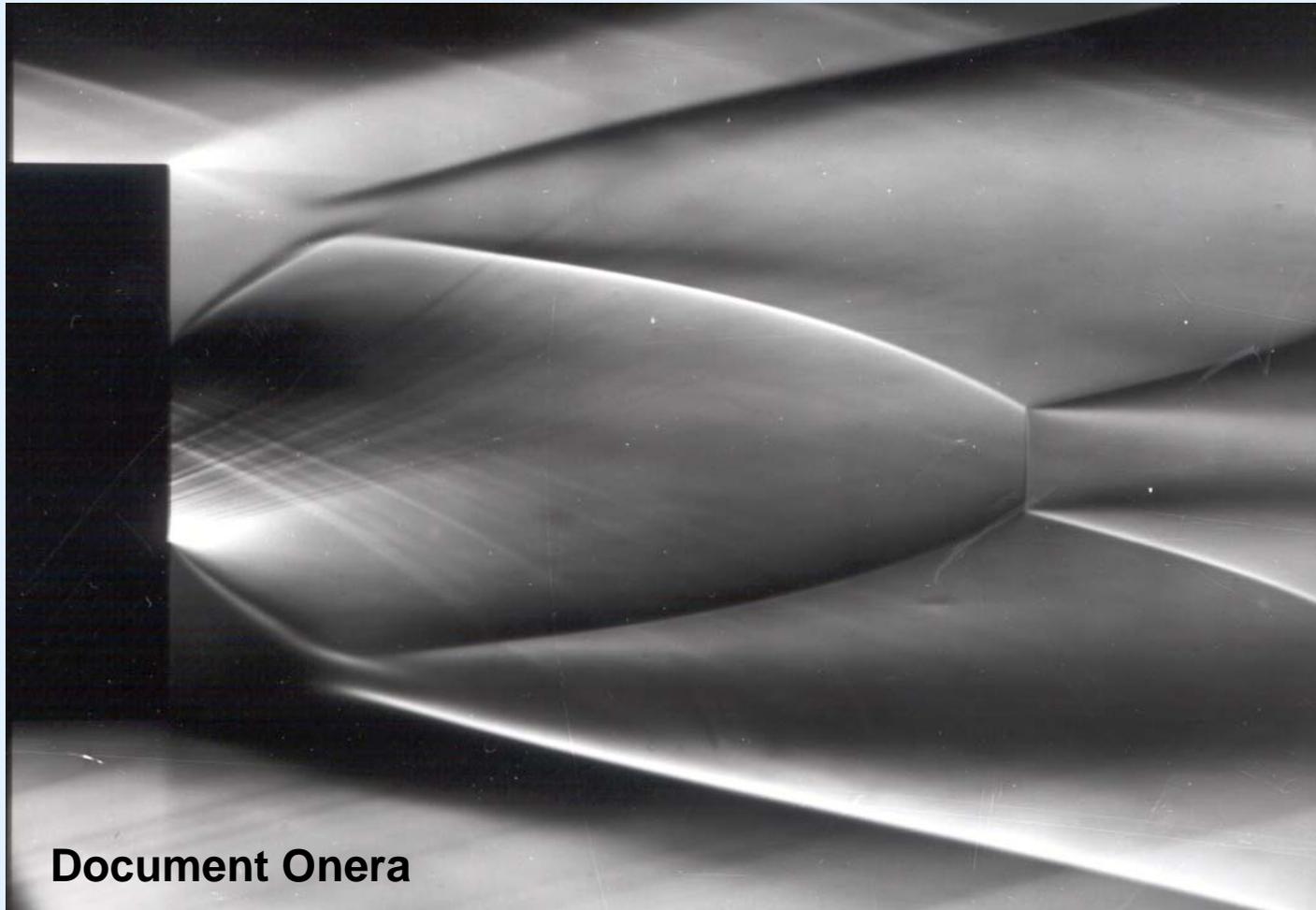
tourbillon trombe latéral

tourbillon torique



Ensemble de l'écoulement autour de l'aube

Écoulements de révolution



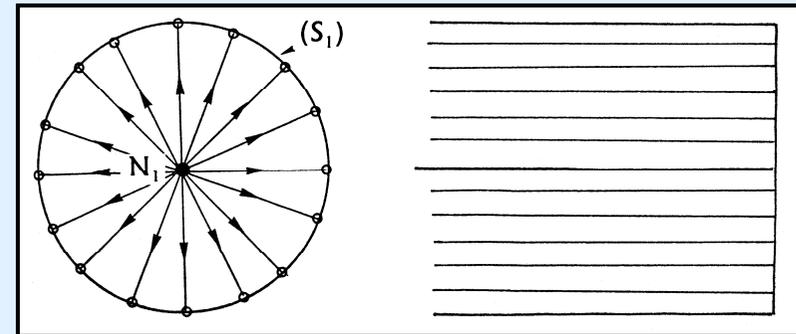
Document Onera

Arrière-corps propulsé dans la soufflerie R1Ch de l'Onera-Meudon

Arrière-corps de révolution non propulsé à incidence nulle

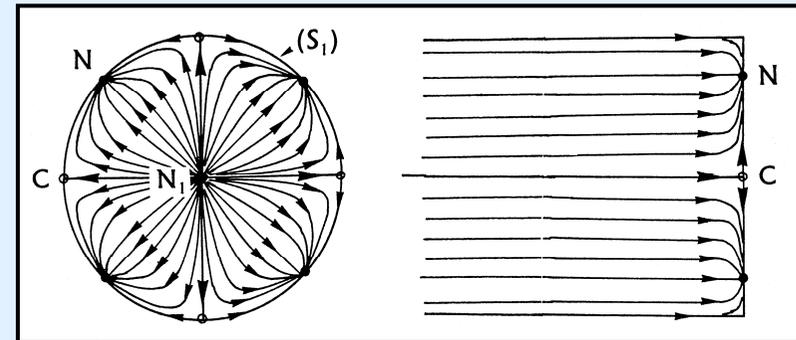
cas idéal (improbable) de révolution

l'arête du culot porte une suite infinie de cols

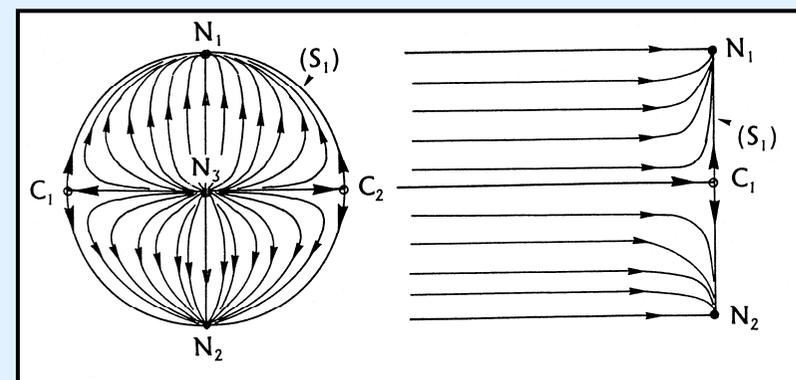


organisation en cellules

l'arête du culot porte un nombre fini de cols et de nœuds en alternance

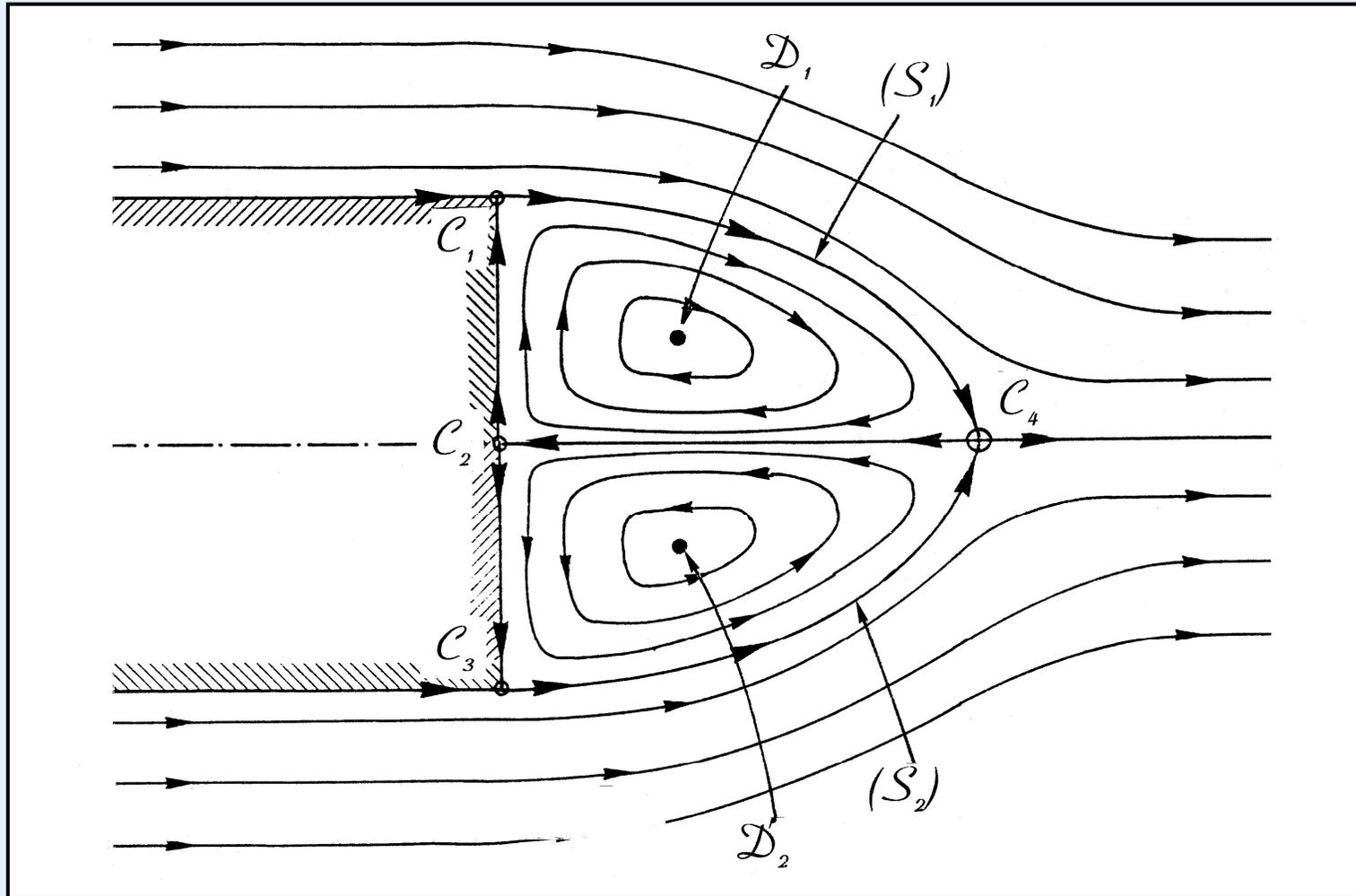


organisation à deux tourbillons



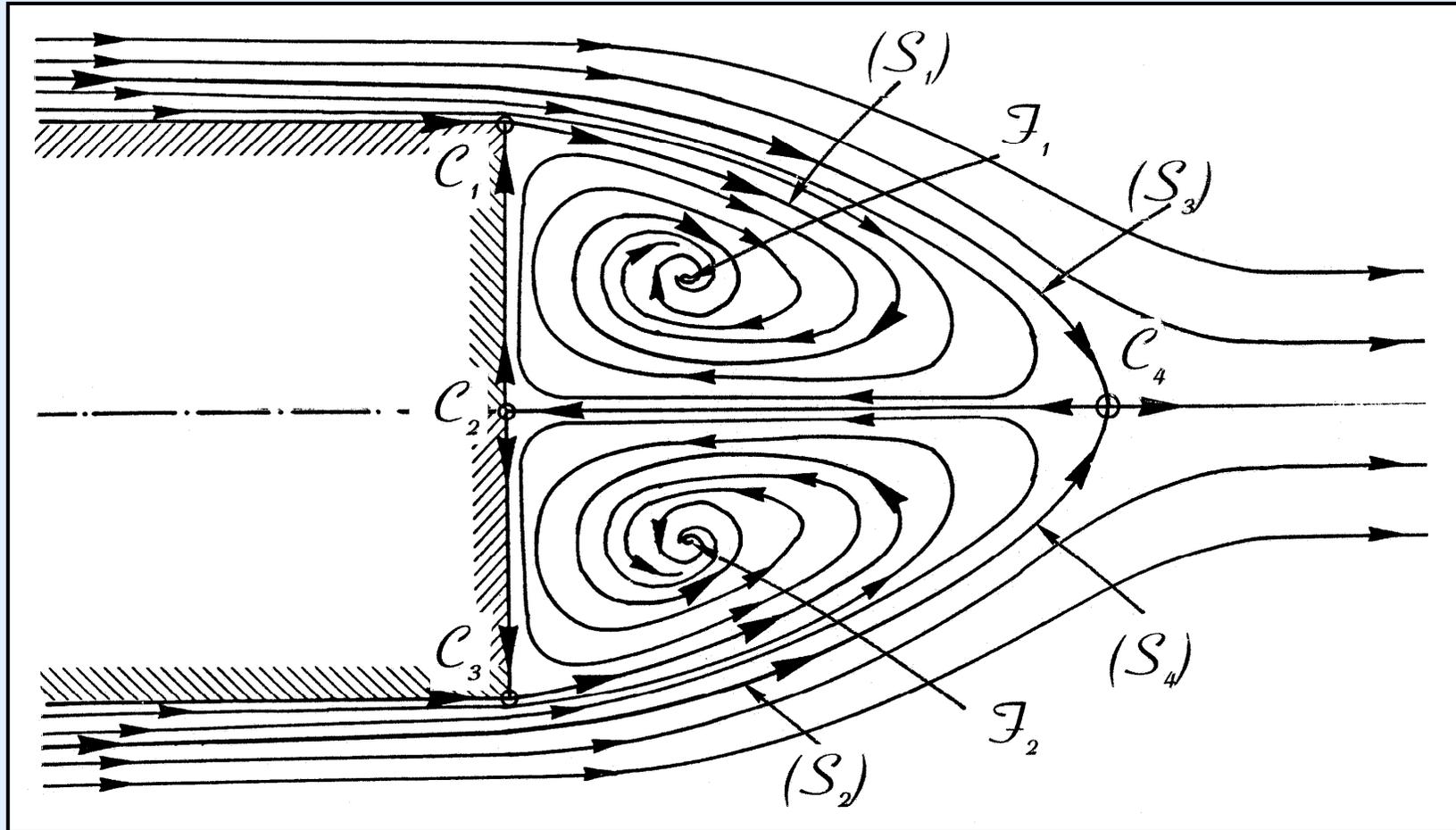
Spectre des lignes de frottement pariétales

Arrière-corps de révolution non propulsé à incidence nulle



Champ méridien. Écoulement de révolution idéal

Arrière-corps de révolution non propulsé à incidence nulle



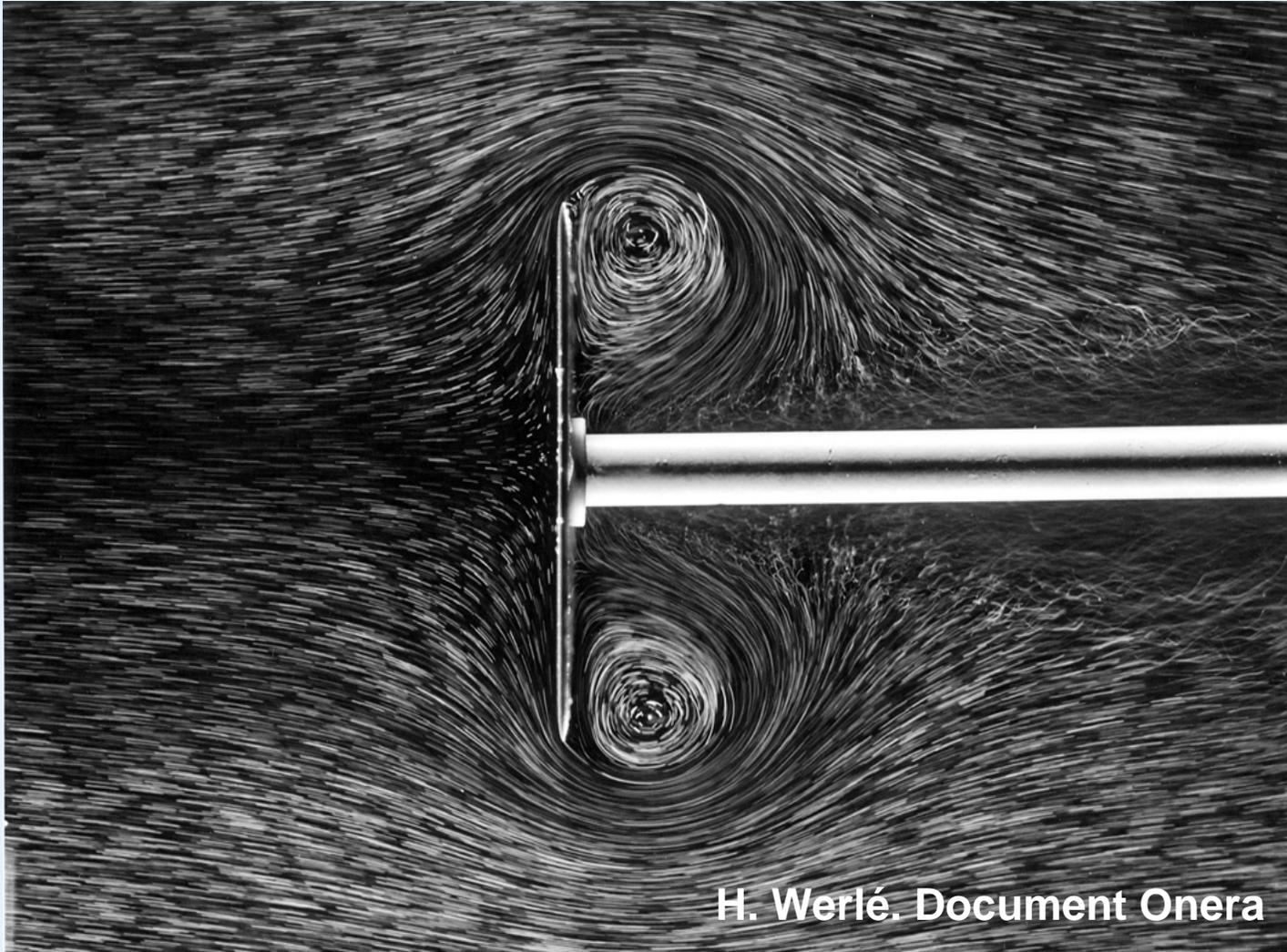
Champ méridien. Écoulement de révolution réel

Arrière-corps de révolution sans jet à incidence nulle



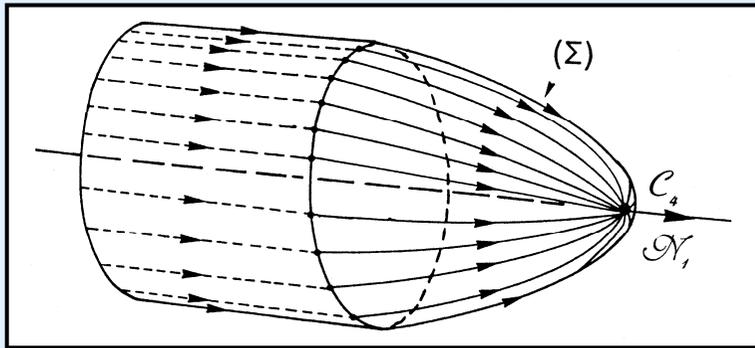
H. Werlé. Document Onera

Écoulement derrière un disque

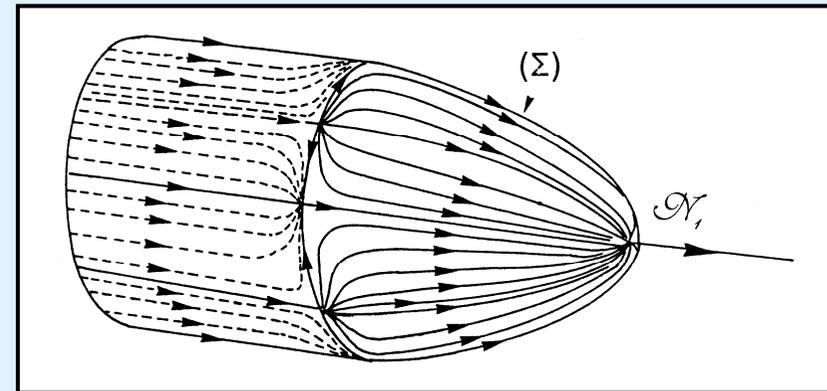


H. Werlé. Document Onera

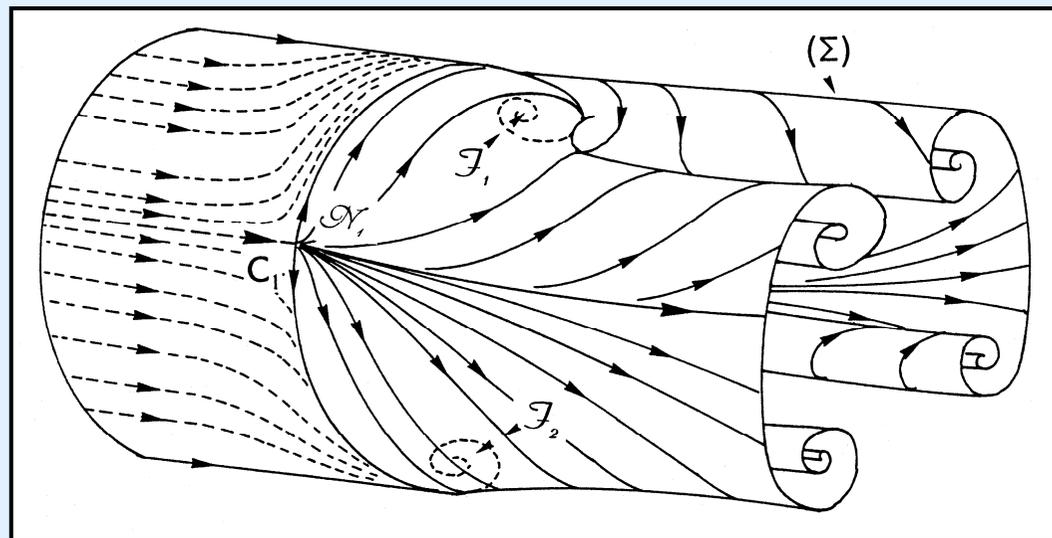
Arrière-corps de révolution non propulsé à incidence nulle



cas idéal (improbable) de révolution



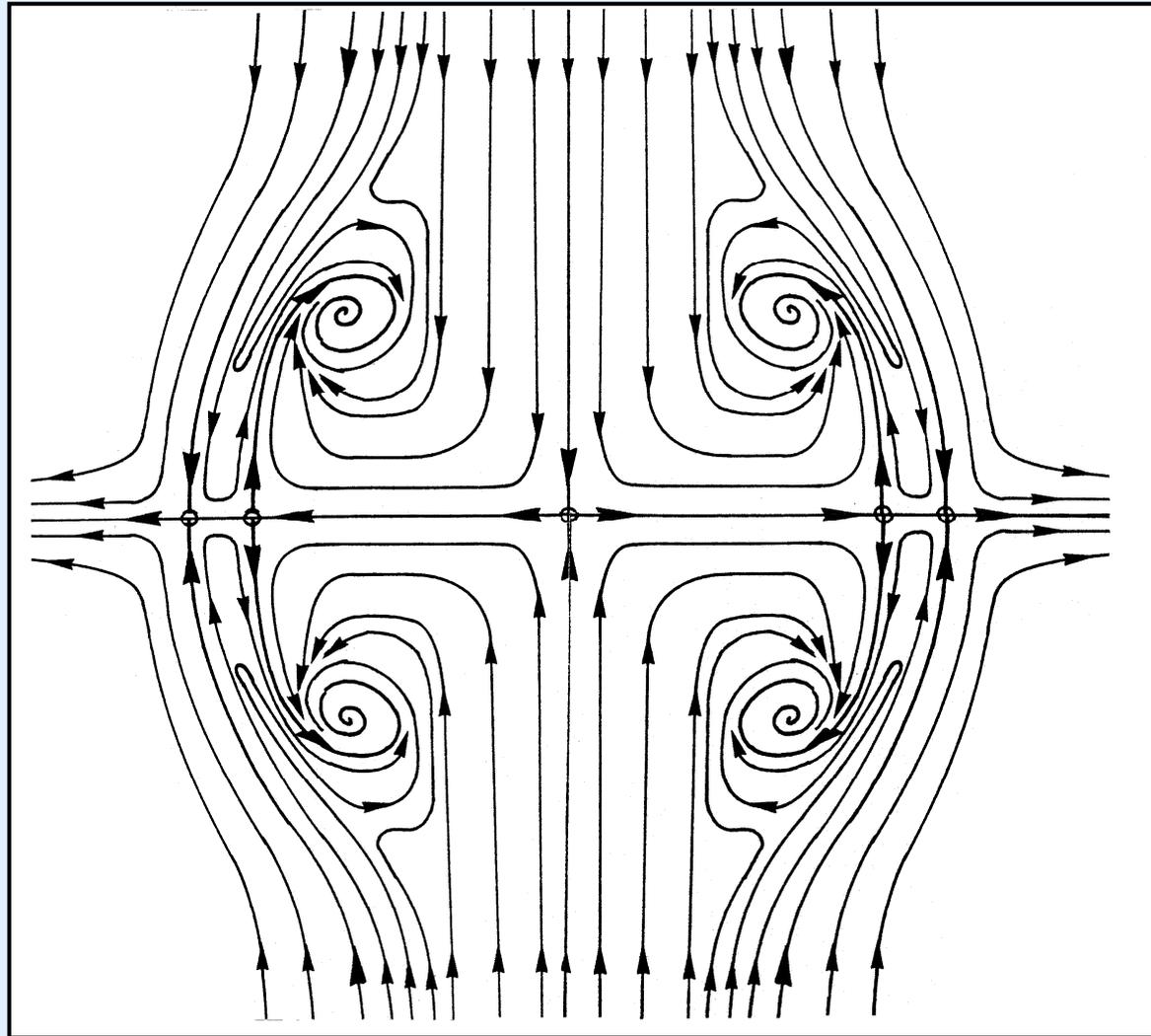
organisation en cellules



organisation à deux tourbillons

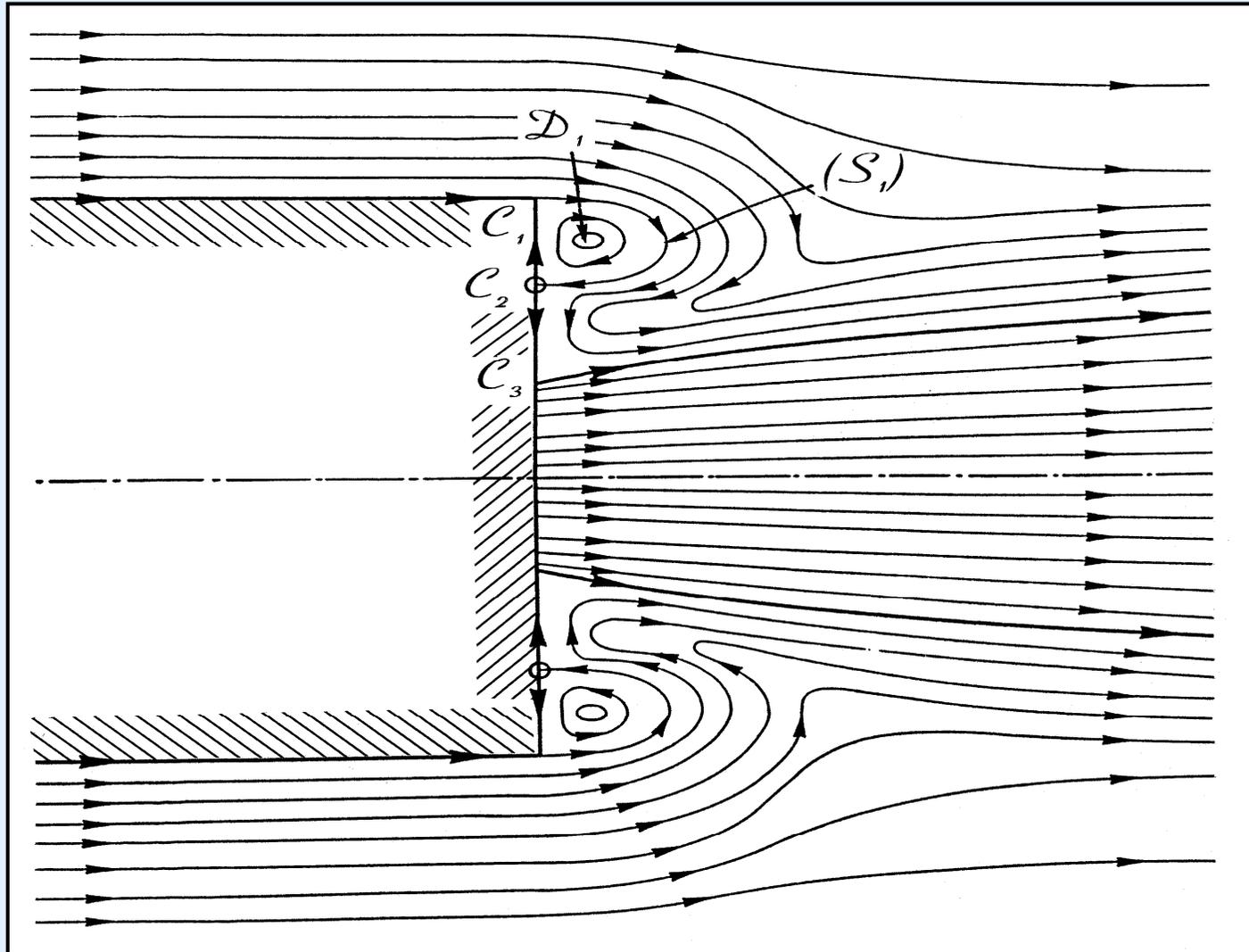
Lignes de frottement pariétales et surface de séparation au culot

Arrière-corps de révolution non propulsé à incidence nulle



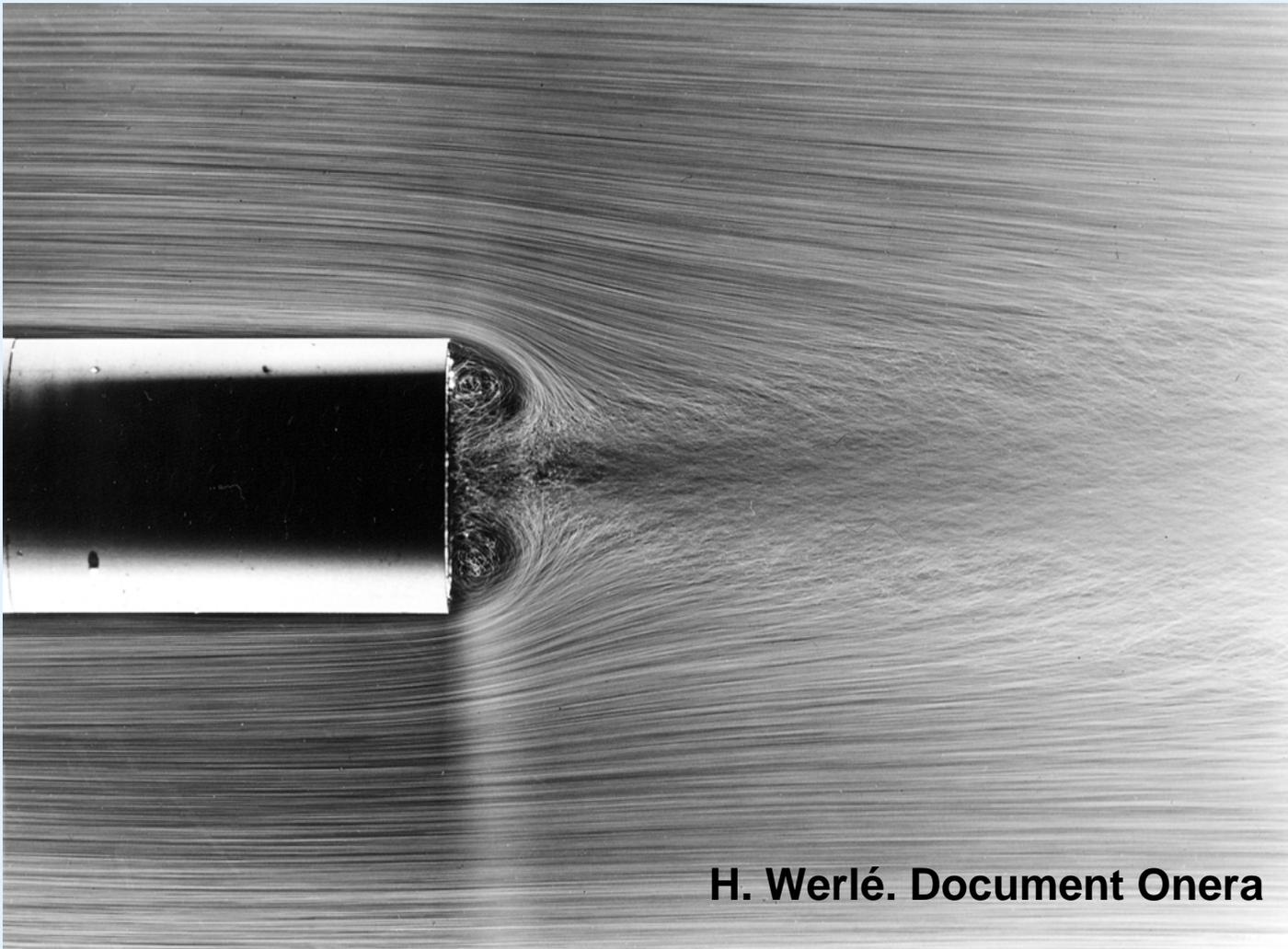
Écoulement de culot à deux tourbillons

Arrière-corps de révolution propulsé à incidence nulle



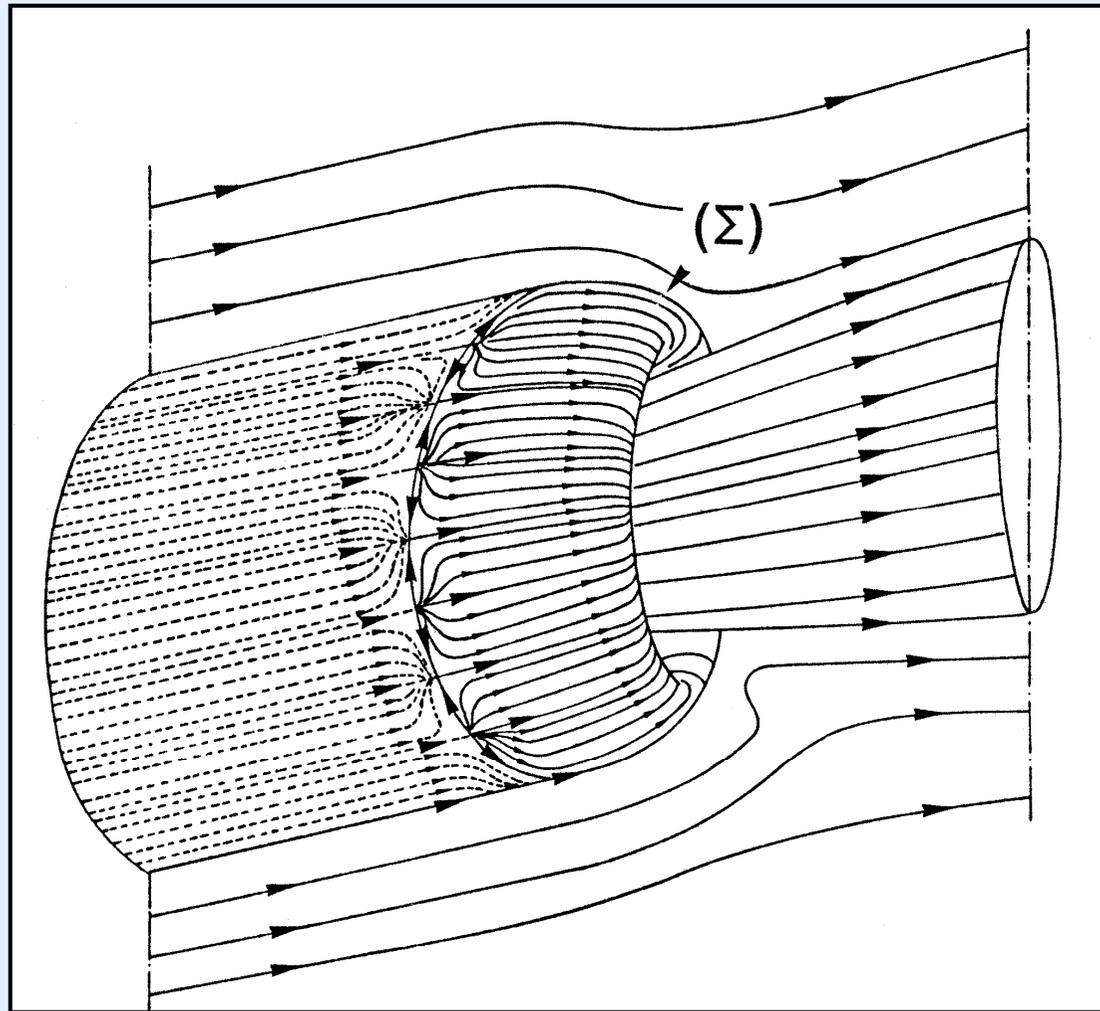
Champ méridien. Écoulement de révolution idéal

Arrière-corps de révolution avec jet à incidence nulle



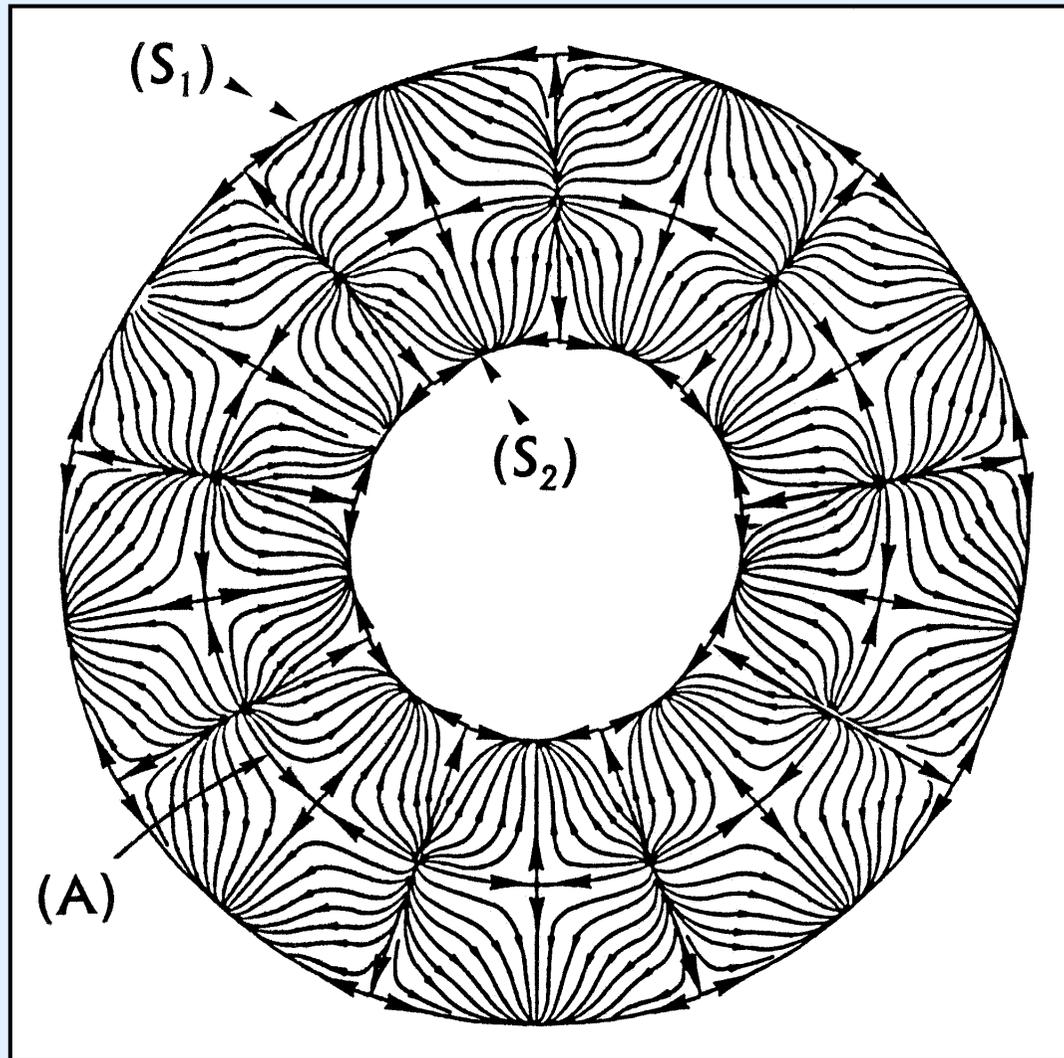
H. Werlé. Document Onera

Arrière-corps de révolution propulsé à incidence nulle



Organisation en cellules. Surfaces de séparation

Arrière-corps de révolution propulsé à incidence nulle



Organisation en cellules. Spectre sur le culot

Écoulement instationnaire

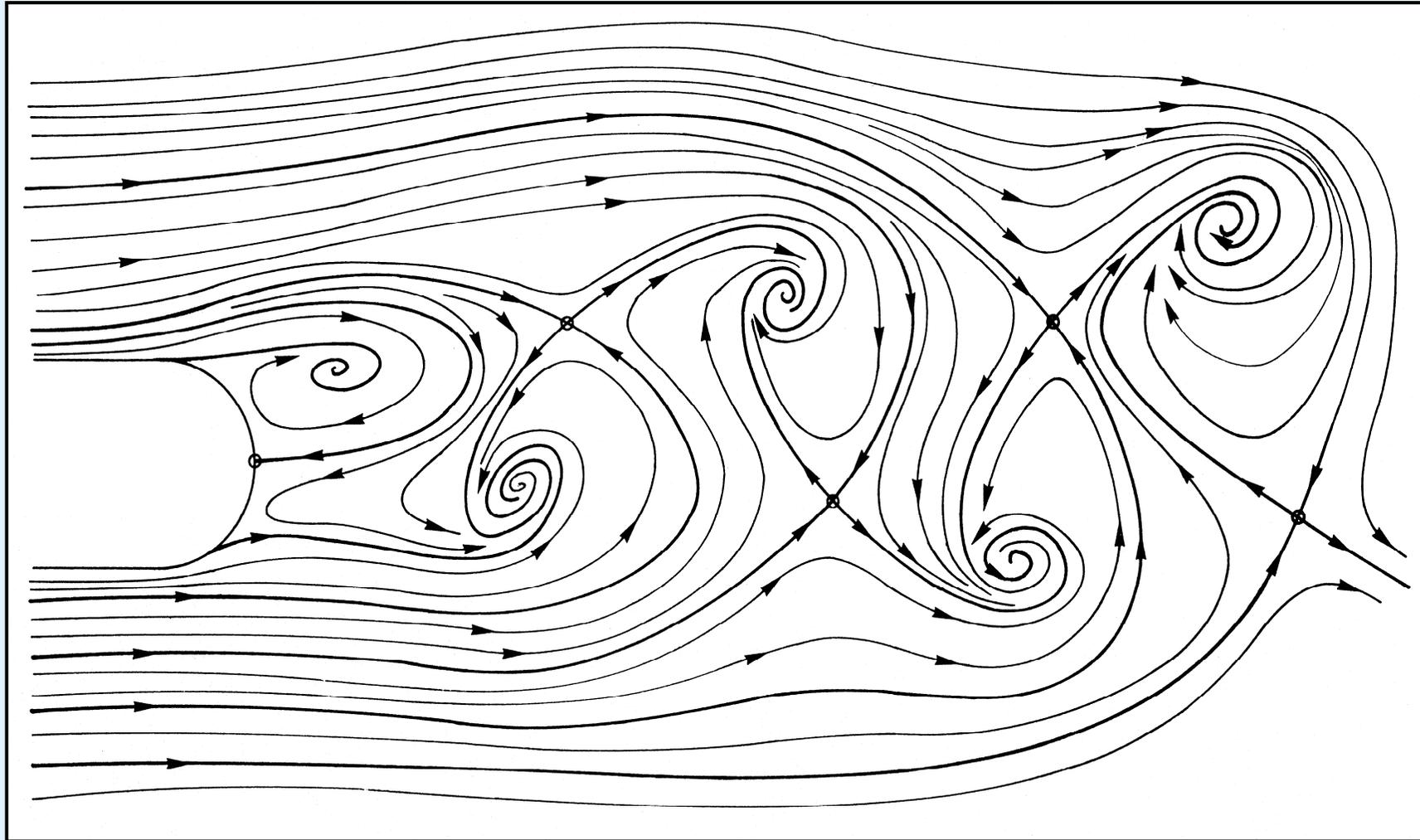
- La théorie des points singuliers et les concepts topologiques qui en découlent **s'appliquent tout champ de vecteurs.**
- Si, l'écoulement dépend du temps, on appliquera les considérations précédentes **au champ pris à un instant donné.**
- La prise en compte du temps permet une description encore plus fidèle de la réalité, **le stationnaire étant tout aussi inexistant que le bidimensionnel.**
- L'analyse qui en découle évite le **recours souvent acrobatique** à la notion d'écoulement moyen.

Allée de tourbillons en aval d'un obstacle



Allée de tourbillons en aval d'un obstacle

Topologie du champ instantané



Remarques pour conclure (1)

- L'application des concepts du bidimensionnel aux écoulements tridimensionnels peut être **hautement trompeuse**. Il est nécessaire d'introduire une terminologie **précise et plus générale**.
- **La théorie des points singuliers** procure un outil - ou grammaire - permettant une description rationnelle des champs tridimensionnels.
- Les spectres des lignes de frottement pariétales sont **l'empreinte de l'écoulement extérieur**. Leur examen et analyse attentive sont indispensables.

Remarques pour conclure (2)

- Les méthodes de mesure modernes - sondes de pression, LDV, PIV, DGV - couplées à des moyens informatiques puissants peuvent produire **d'énormes quantités de résultats.**
- La construction d'une image **topologique cohérente** de ces résultats est un **préalable incontournable** à toute tentative de compréhension de la physique des écoulements décollés tridimensionnels.
- Ces remarques s'appliquent aussi aux résultats produits en masse par les codes de calcul.