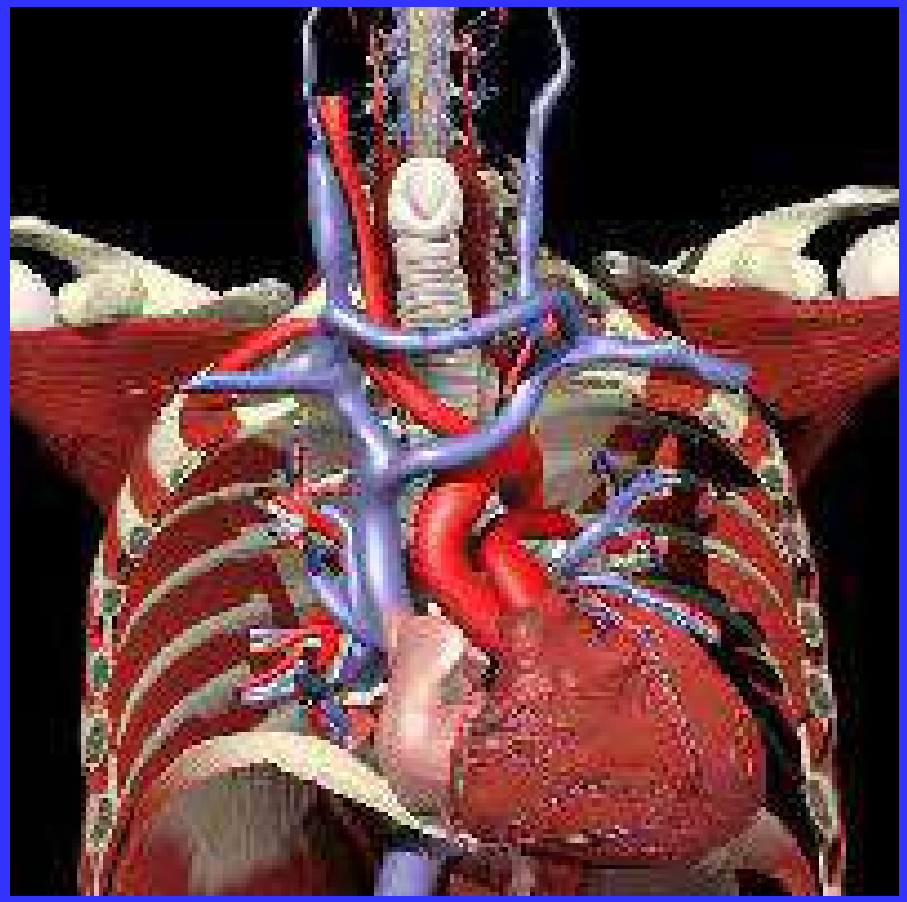
ANATOMOPHYSIOLOGIE DU DIAPHRAGME

Approche des principaux dysfonctionnements

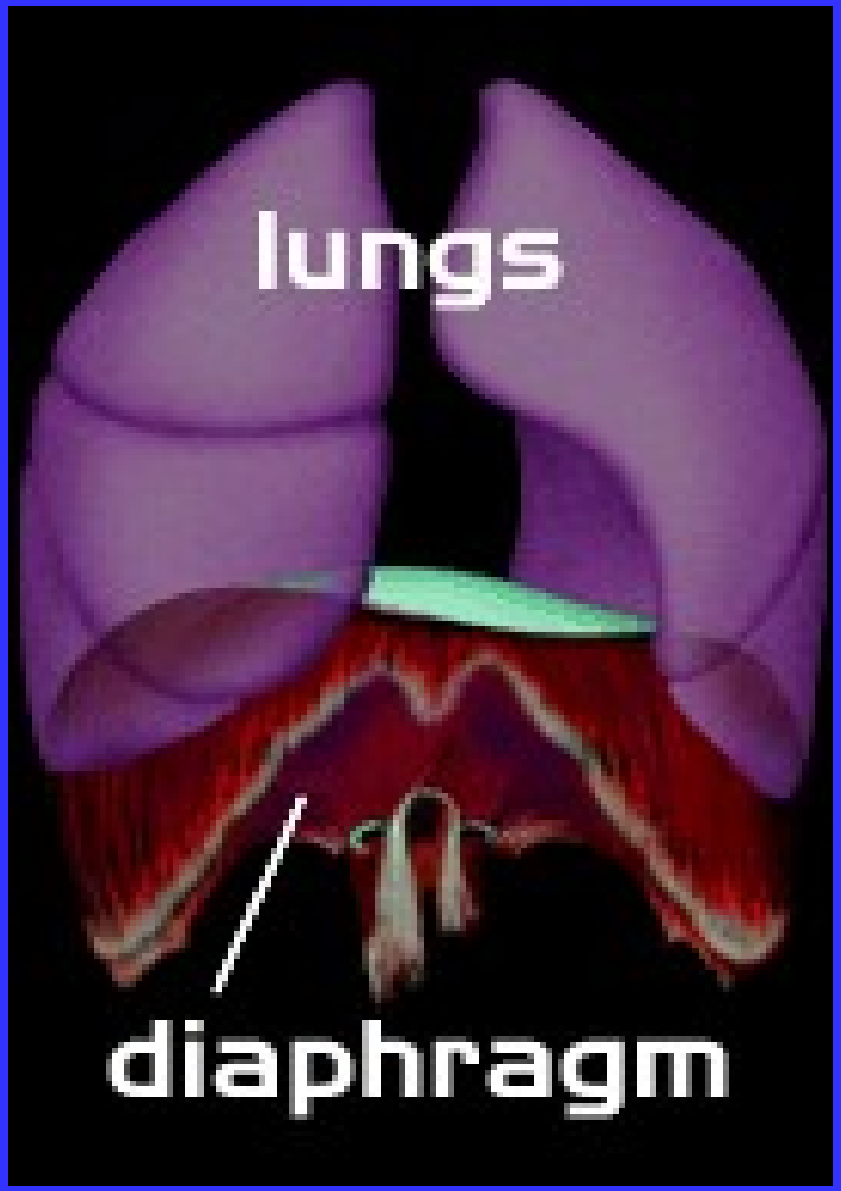
Dominique DELPLANQUE

Situation



- Muscle plat et rayonné
- Cloison musculo-aponévrotique séparant le thorax de l'abdomen
- S'implante au pourtour inférieur du thorax

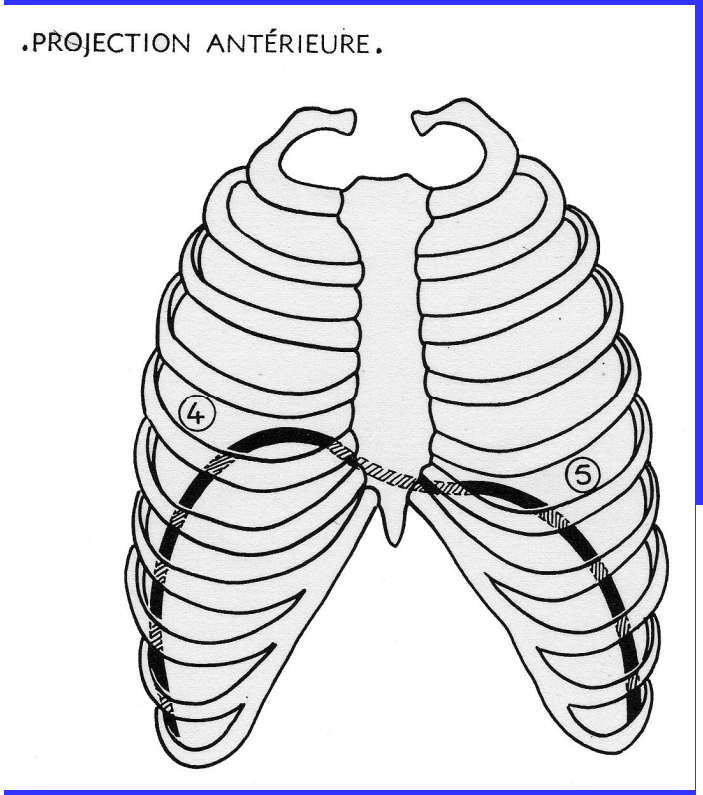
Rôle

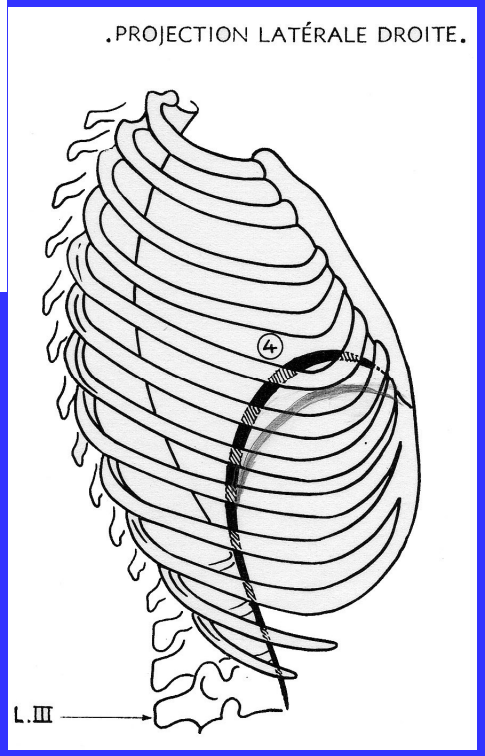


C'est le muscle inspirateur principal.

Il participe aussi au rire, au hoquet, à la miction et la défécation, au vomissement, à l'accouchement

Morphologie

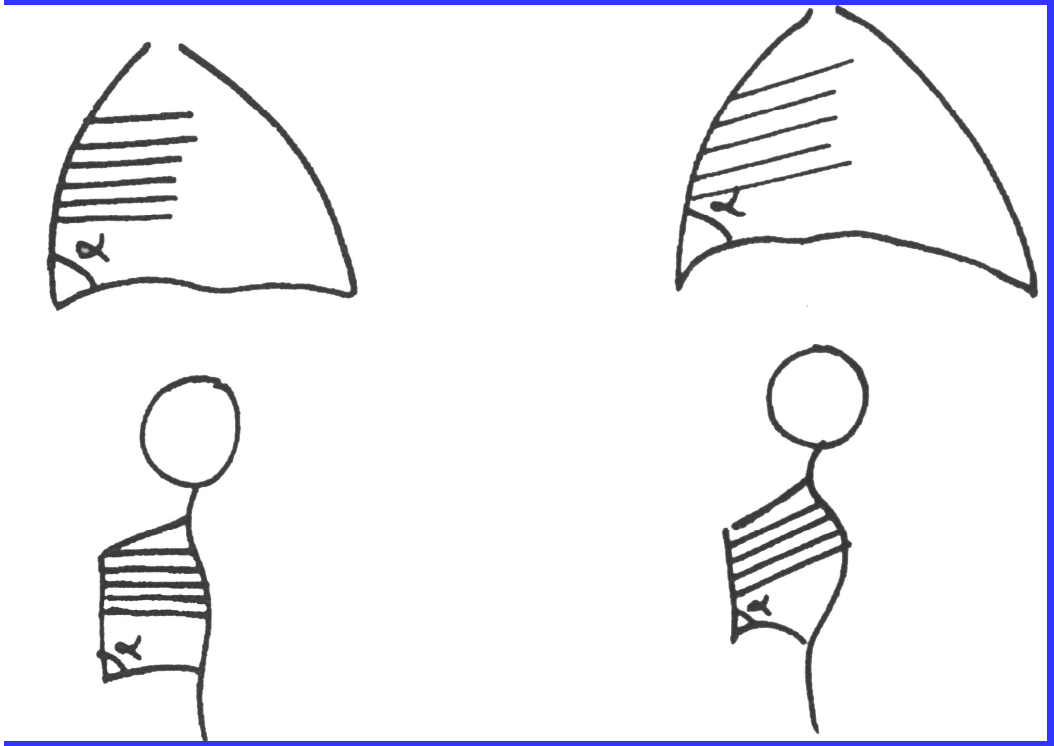




- Voûte concave en bas
- Deux parties:
  - L'une antérieure ou sterno-costale est horizontale: 2 coupoles sterno-chondro-sternales
  - L'autre postérieure, verticale: région des piliers lombaires.

Coupôle droite en regard du 4ème espace intercostal
Coupôle gauhe: 5ème

Morphologie chez le nourrisson

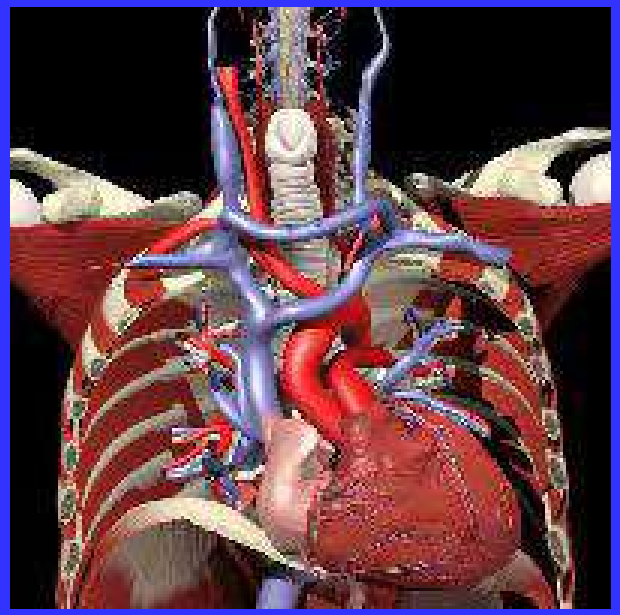


- Cotes horizontales
- Cage thoracique circulaire
- Diaphragme aplati
- Angle d'insertion costal ouvert: zone d'apposition faible

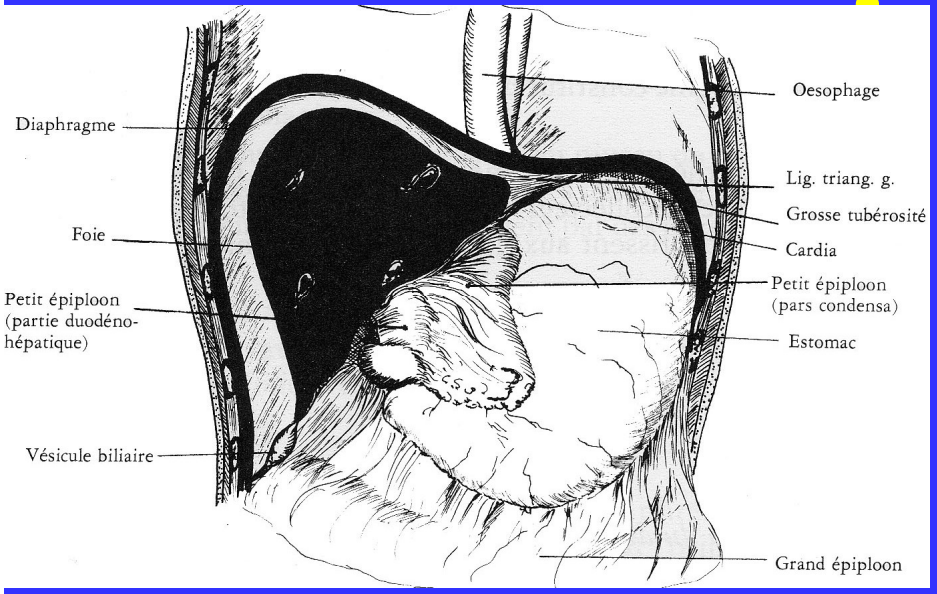
↓

Incidences cliniques

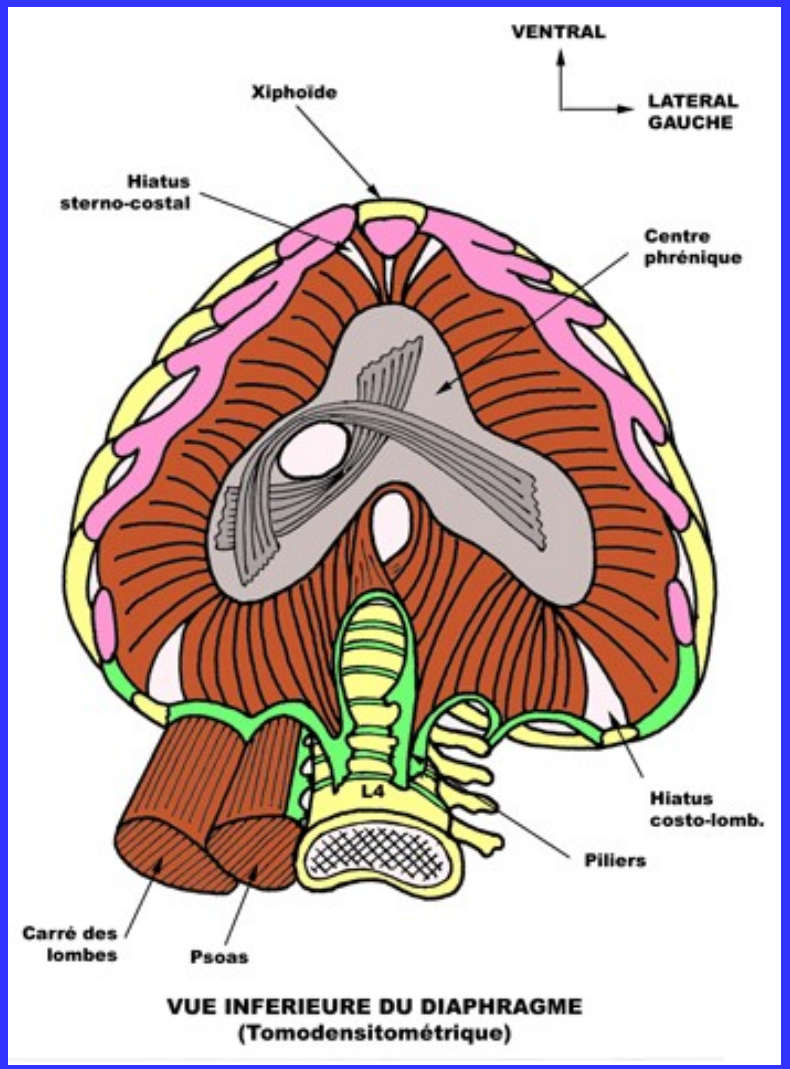
Rapports



- Face supérieure
  - Le cœur: ligaments phréno-péricardiques
  - Feuillets pariétaux de la plèvre (cul de sac costo-diaphragmatique)
- Face inférieure
  - Le péritoine
  - Le foie sous la coupole droite
  - L'estomac sous la coupole gauche



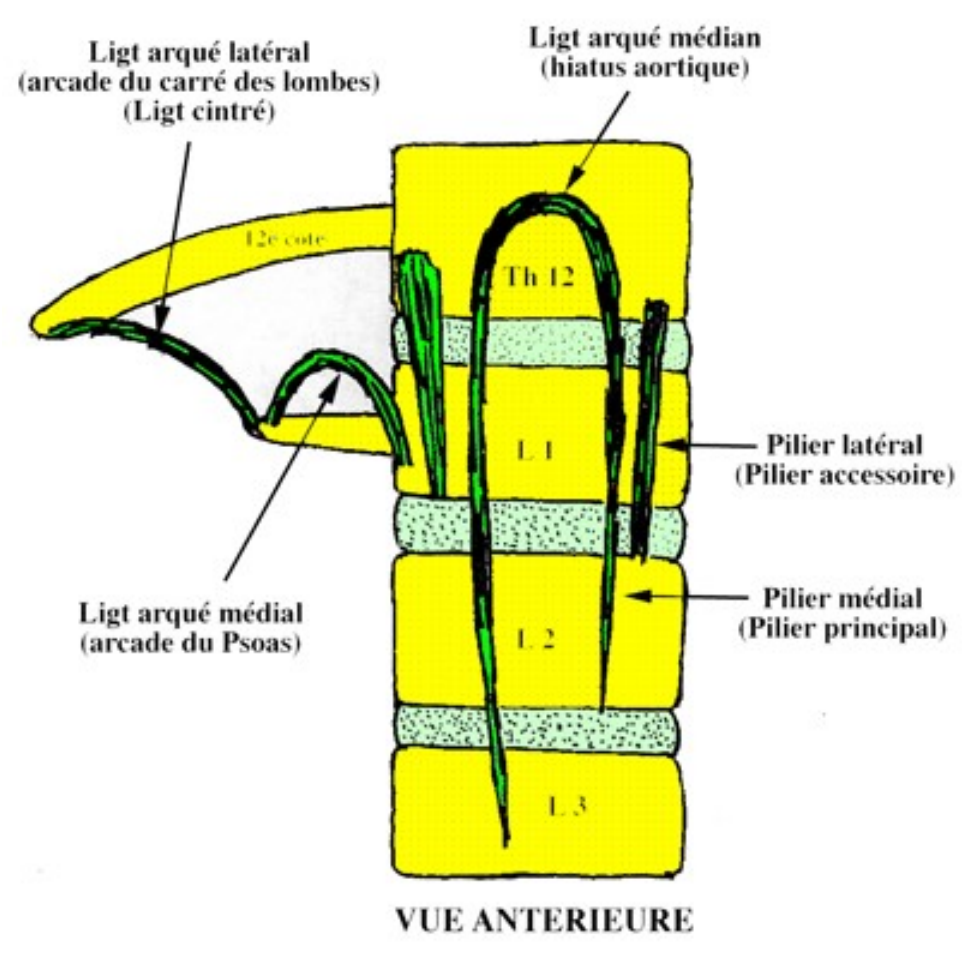
Constitution



- Série de petits muscles digastriques
- Tendons intermédiaires qui s'entrecroisent et constituent la portion centrale tendineuse: le centre phrénique
- A la périphérie: corps musculaire
- Nombreux orifices faisant communiquer thorax et abdomen

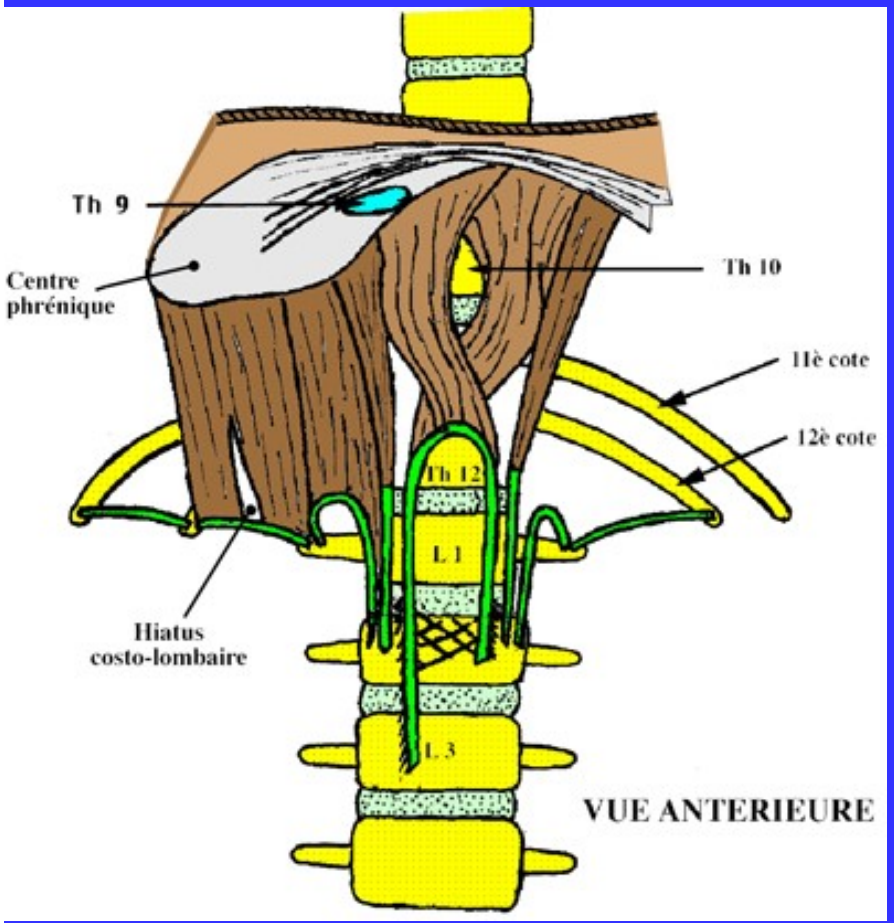
Les piliers tendineux

« les insertions lombaires »



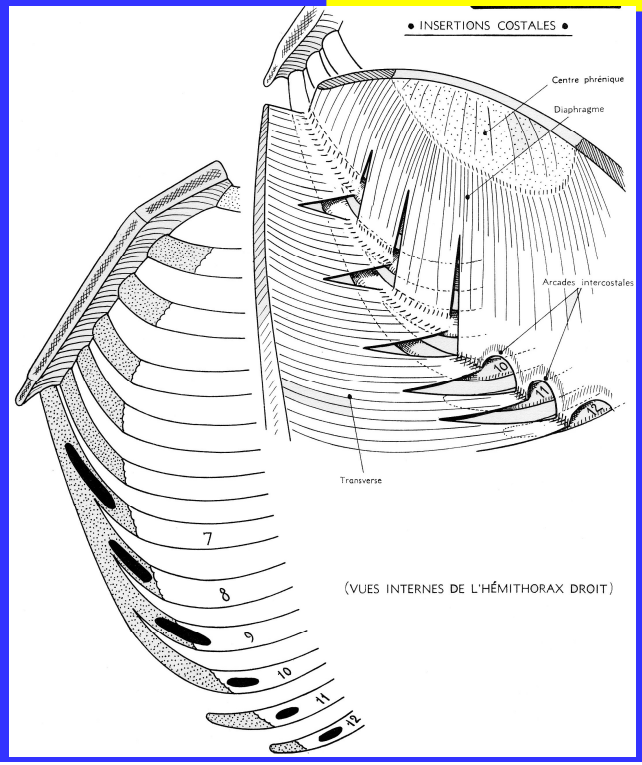
- Sur les corps vertébraux
  - Piliers principal et accessoire
    - Droite: face ant L2, L3 (L4)
    - Gauche: face ant L2 (L1)
- Sur une arcade fibreuse
  - L'arcade du psoas (arcade tendineuse)

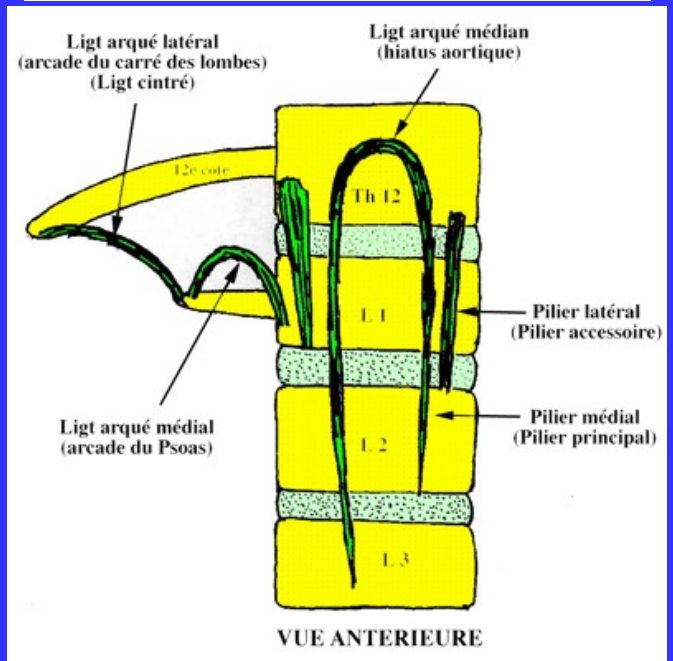
Prolongement des piliers tendineux par les piliers musculaires



- Portion lombaire du diaphragme, à point fixe vertébral (abaissement du bord postérieur du centre phrénique)
- Le hiatus oesophagien musculaire en T10 joue un rôle de sphincter oesophagien

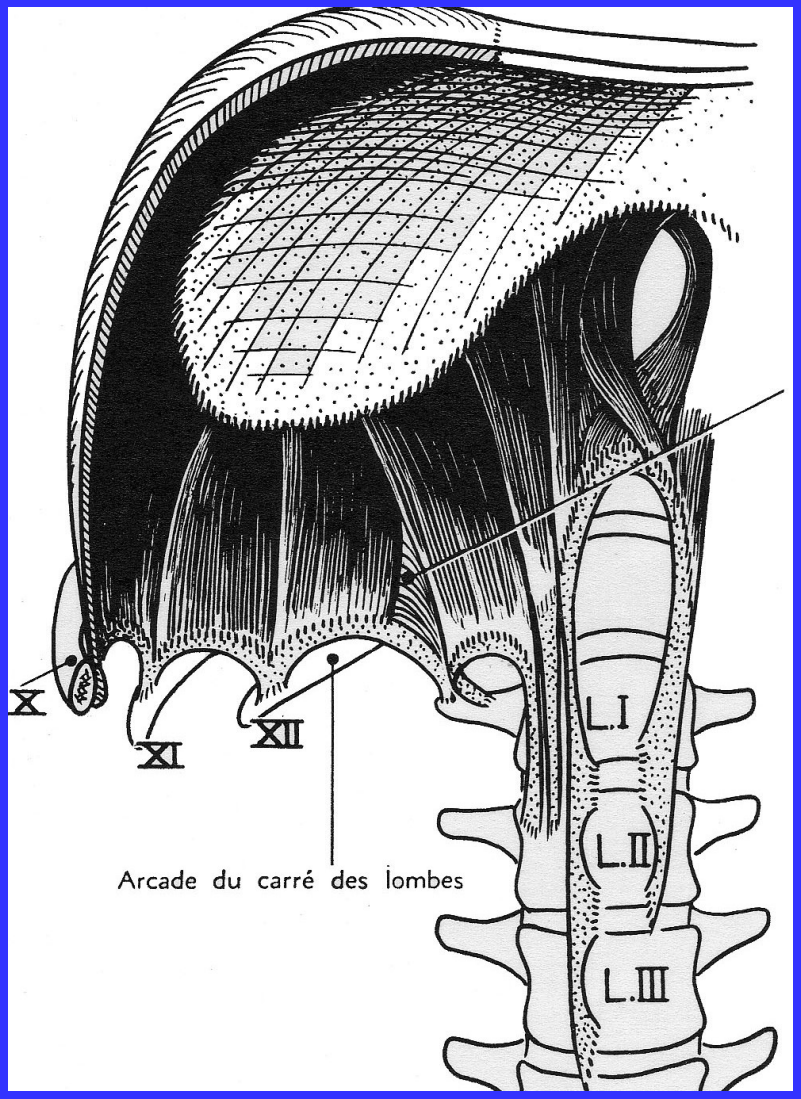
Insertions costales





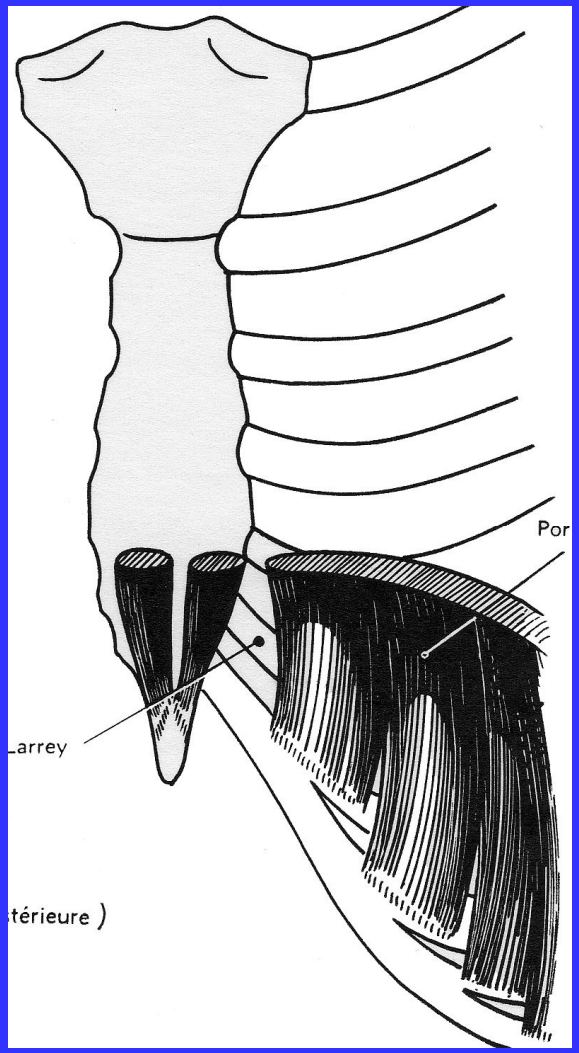
- Sur la face interne des 6 derniers arcs costaux
- Sur 3 arcades aponévrotiques intercostales
  - Arcades de Senac(10 et 11ème)
  - Arcade du carré des Lombes (L1 à 12ème cote)

Insertions costales



- Les fibres forment une nappe musculaire qui se recourbe en dedans
- Elles se terminent sur les folioles latérales et antérieure du centre phrénique

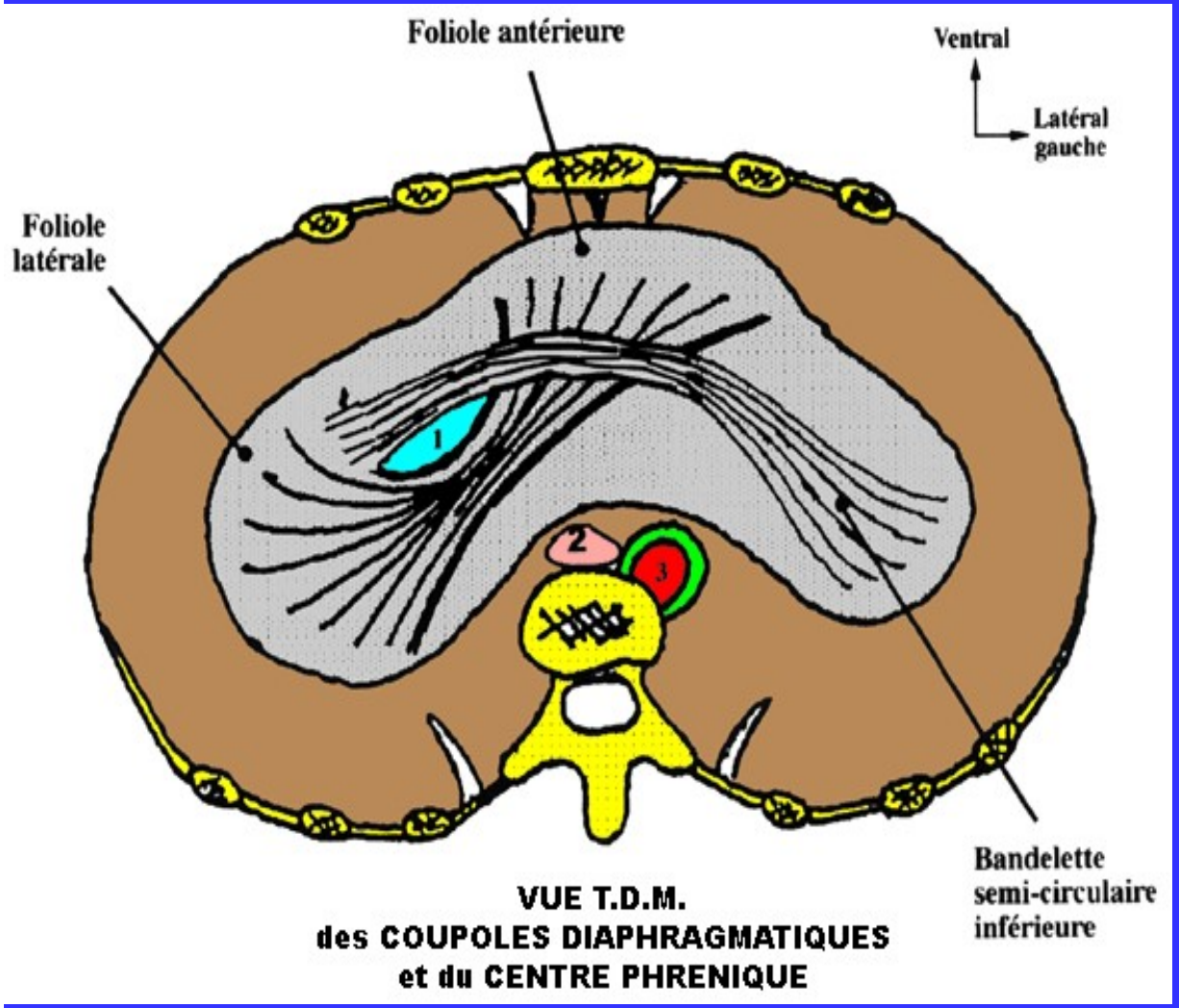
Insertions sternales



- Insertion à la face postérieure de l'appendice xiphoïde
- Les fibres se portent en haut et en arrière
- Aboutissent à la partie moyenne de la foliole antérieure du centre phrénique

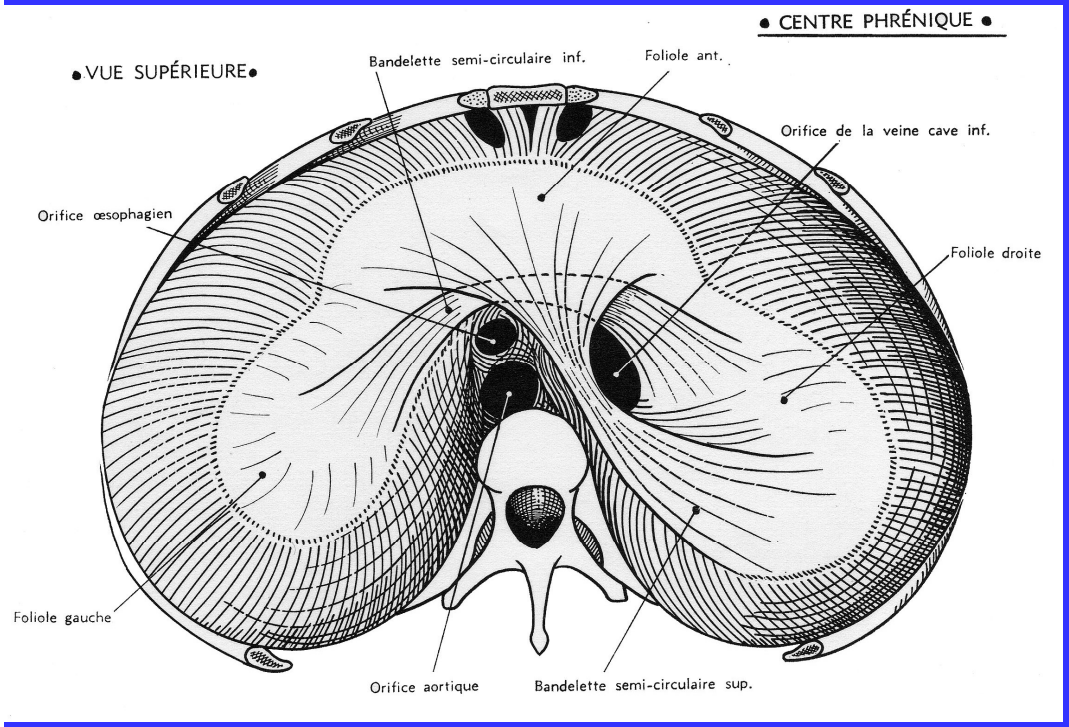
Le centre phrénique

« le centre tendineux »



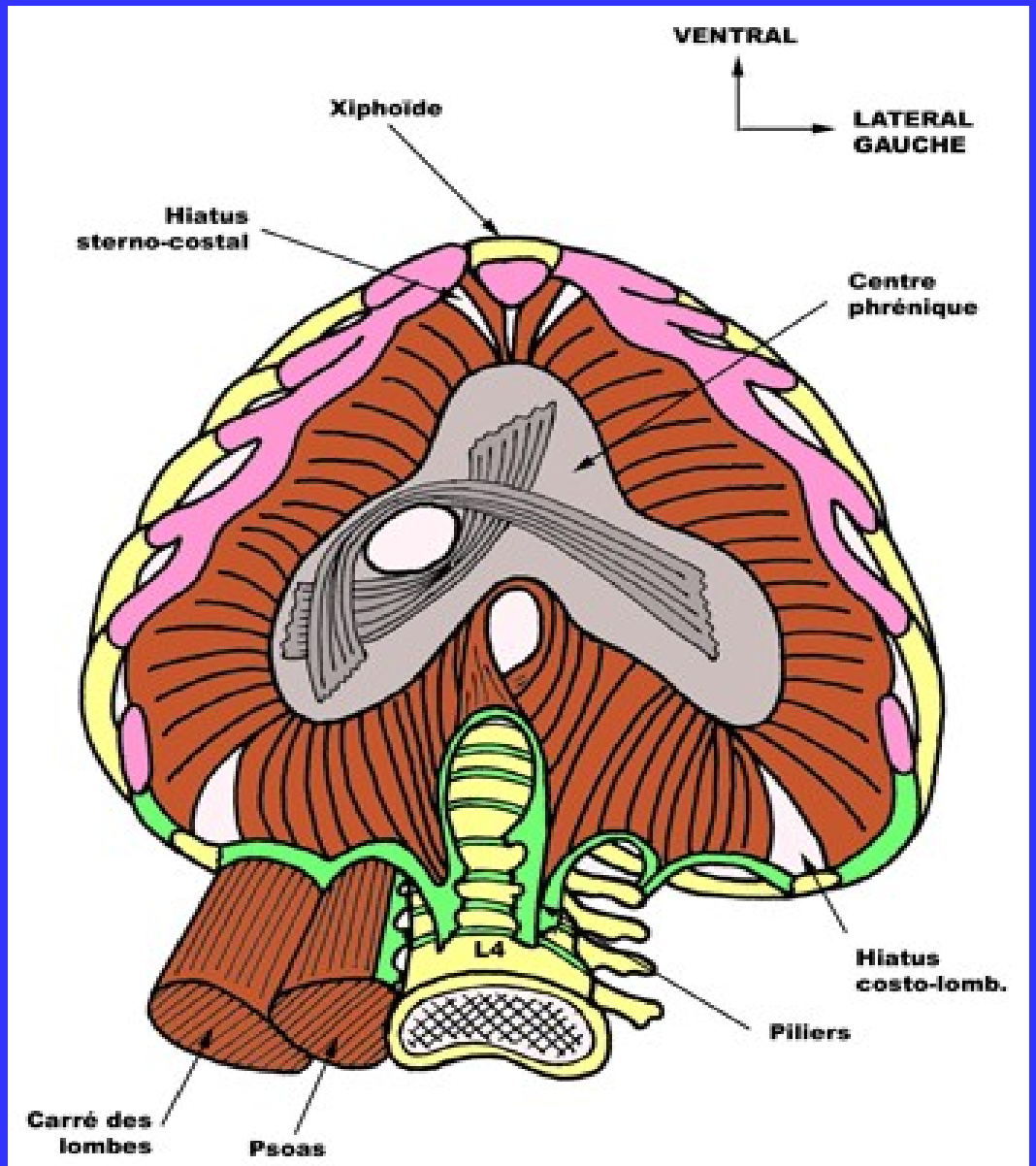
- Nappe tendineuse en forme de trèfle
- Une foliole antérieure
- Deux folioles latérales
- Folioles réunies par des bandelettes semi circulaires

Les orifices du diaphragme



- Orifice aortique
- Orifice oesophagien
- Orifice veine cave inférieure
- Autres (artère, veine nerf):
  - -Entre les piliers
  - -Entre les digitations costales
  - -Orifices des phréniques

Une vue inférieure globale



VUE INFERIEURE DU DIAPHRAGME
(Tomodensitométrique)

Innervation - Vascularisation

- Les nerfs phréniques,droit et gauche, seuls nerfs moteurs sont essentiellement issus de C4 (et aussi C3 et C5).
- Le sympathique (rôle vasomoteur) a une action sur le tonus musculaire
- La vascularisation est assurée par les artères phréniques inférieures et supérieures

Typologie des fibres musculaires

- Le diaphragme de l'adulte contient environ 60% de fibres de type 1* (fibres à contraction lente, à métabolisme aérobie, peu fatigables).

- Autres fibres: de type IIa et IIb (fibres à contraction rapide et de forte intensité, à métabolisme glycolytique, fatigables)

**Sanchez, 1985*

Typologie des fibres musculaires chez le nourrisson

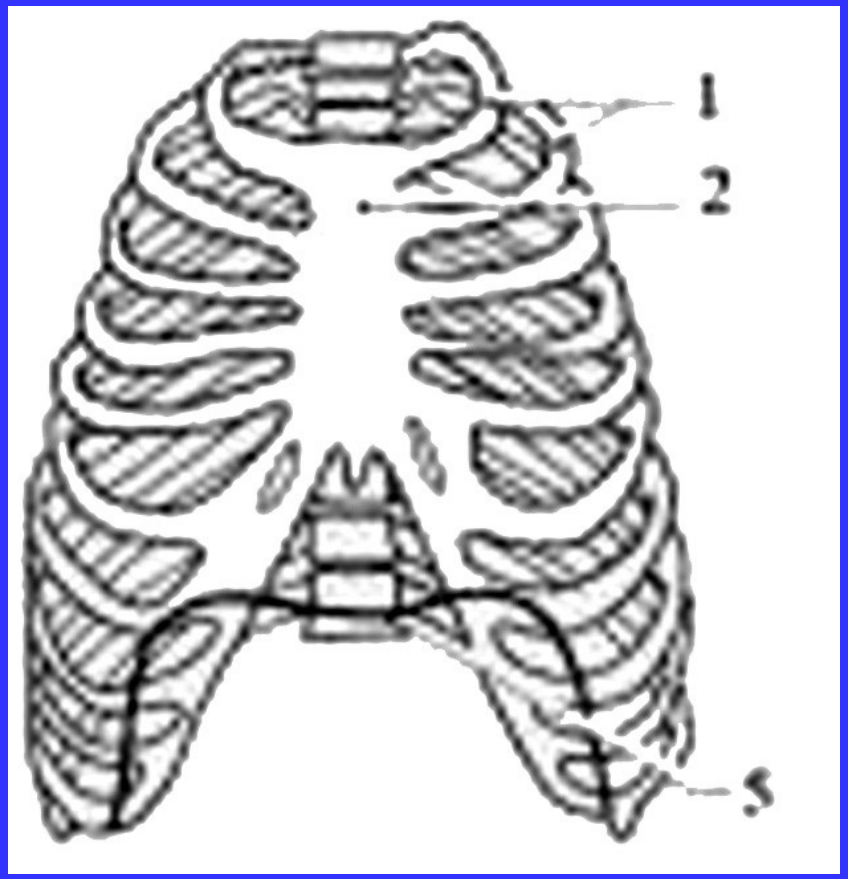
- Faible proportion de fibres de type 1*
  - 10% chez prématurés
  - 25% à la naissance
  - 55% à l'âge de 2 ans

- Forte proportion de fibres de type 2

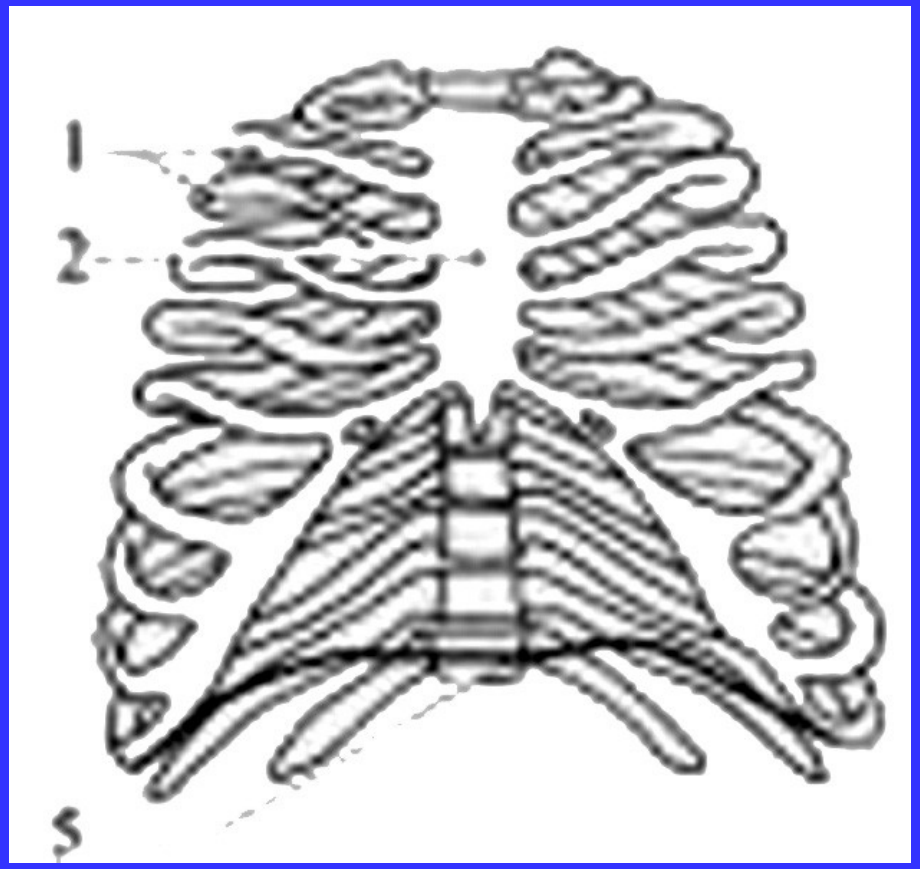
De part sa faible capacité oxydative le diaphragme du nouveau-né est relativement fatigable

**Keens, 1978*

Physiologie

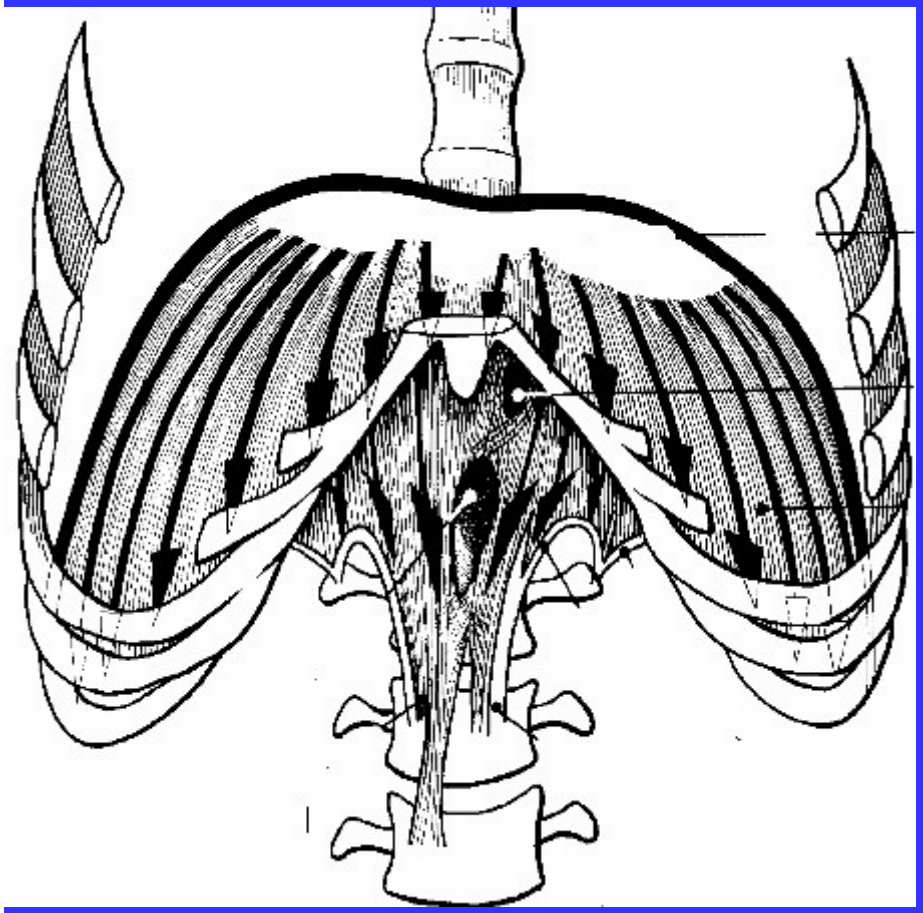


Expiration



Inspiration

Mécanisme de la contraction diaphragmatique

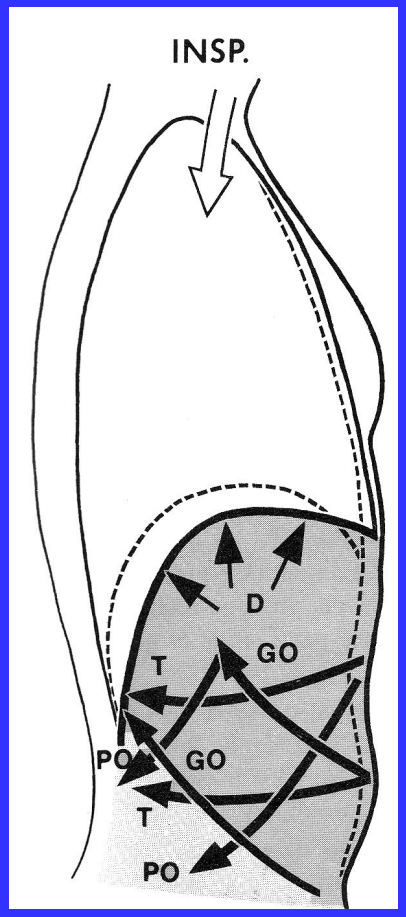


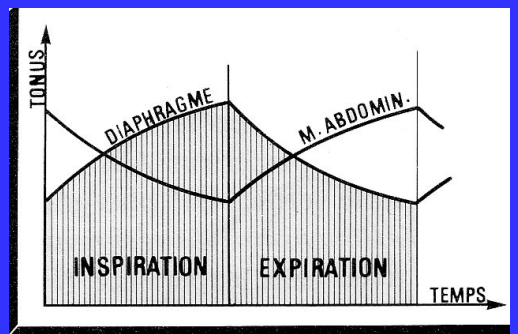
Abaissement du centre phrénique avec augmentation du diamètre vertical

- Mise en tension des éléments du médiastin
- Appui abdominal

Élévation des cotes inférieures et élévation du sternum avec augmentation des diamètres transversal et antéropostérieur

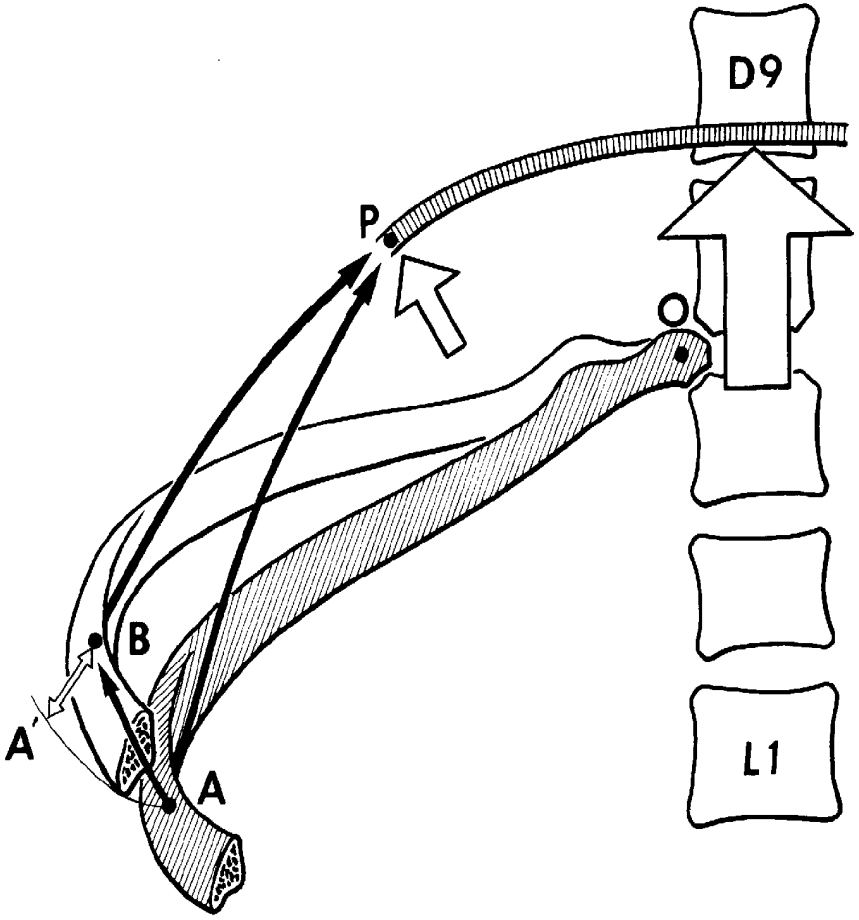
Antagonisme synergie entre diaphragme et abdominaux





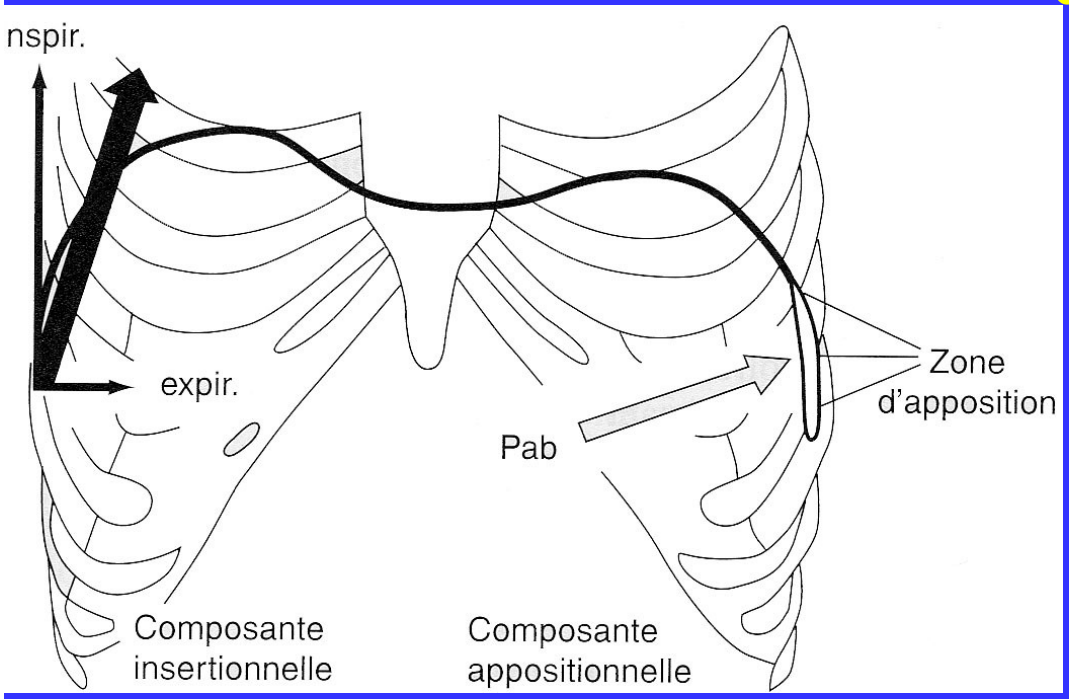
- A l'inspiration, la sangle abdominale maintien les viscères permettant au centre phrénique de prendre appui.
- A l'expiration, la contraction des abdominaux fait remonter le centre phrénique.
- Contraction permanente du diaphragme et des abdominaux avec augmentation inverse du tonus lors du cycle respiratoire

Comment le diaphragme élève les cotes ?



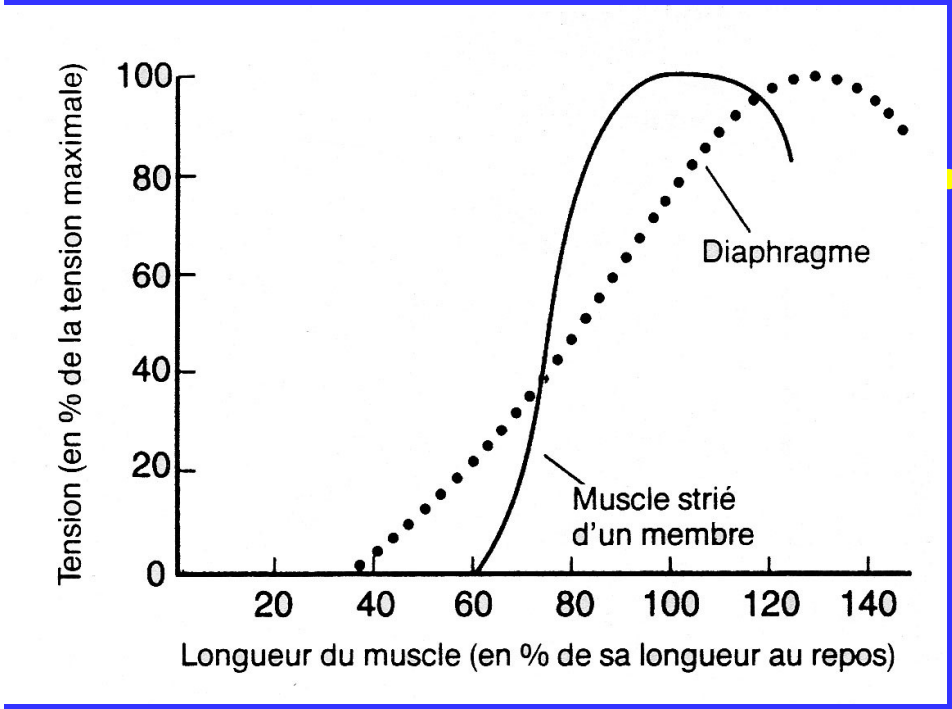
- A partir du moment où le centre phrénique devient point fixe (P), la cote tournant autour du centre O, la contraction du diaphragme entraîne un mouvement (AB) de l'extrémité de la cote.

Couplage entre le diaphragme et le grill costal



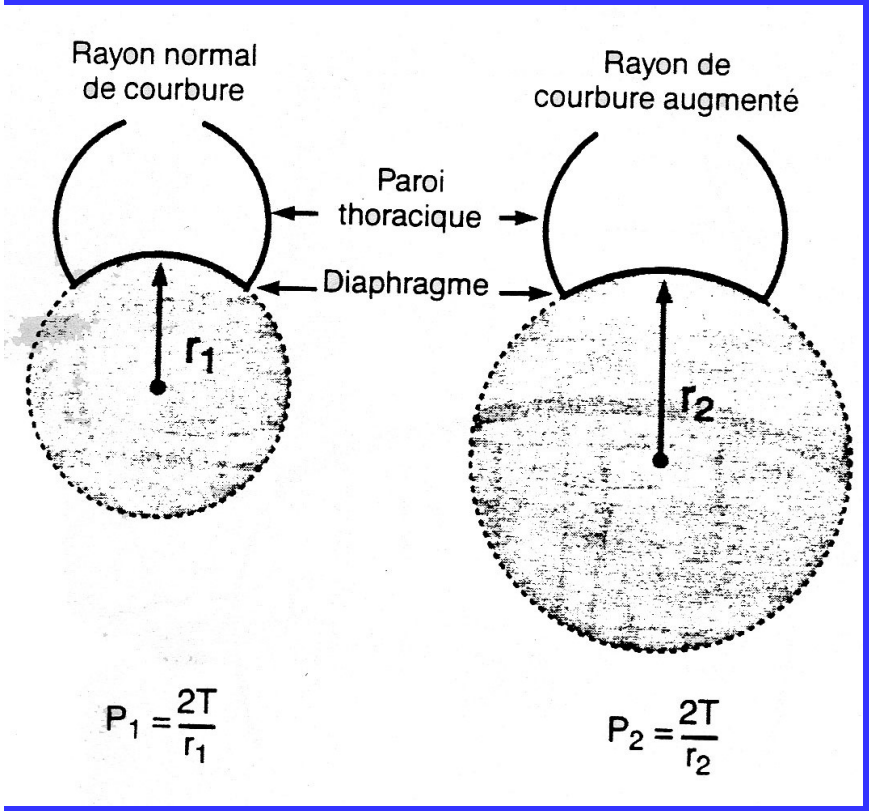
- Mobilisation du gril costal selon deux composantes:
  - Une composante insertionnelle
  - Une composante appositionnelle

Relation tension longueur



- La force générée par un muscle est fonction de sa longueur
- Au contraire des muscles striés (longueur du muscle au repos), le diaphragme génère une force maximale à une longueur environ égale à 130% de sa longueur de repos

La loi de Laplace



- Rapports entre pression, tension et rayon de courbure:

$$P = 2T/r$$

P: pression générée par le muscle
T: tension musculaire
R: rayon musculaire

- Au fur et à mesure que le diaphragme s'aplatit, le rayon de courbure augmente et la pression générée diminue.

La pression transdiaphragmatique

- Pdi = Pab –Ppl

Pab: pression abdominale

Ppl: pression pleurale

- Pressions mesurées dans l'œsophage et l'estomac (sus et sous diaphragmatique).
- A mesure que le Dg se contracte et descend la Pab augmente et la Ppl diminue.
- Une Pdi positive = contraction active du Dg

- Rapport Pdi / Pdimax (si > 40%, risque de fatigue)

Le diaphragme du nourrisson

- Diaphragme aplatit ➡ Faible pression de réserve inspiratoire

- Thorax circulaire, côtes horizontalisées avec faible zone d'apposition (aplatissement Dg)
  ➡ faible élévation costale

- Compliance thoracique très élevée, pression de recul élastique faible ➡ CRF dynamique avec activité post-inspiratoire du diaphragme

Le diaphragme du nourrisson

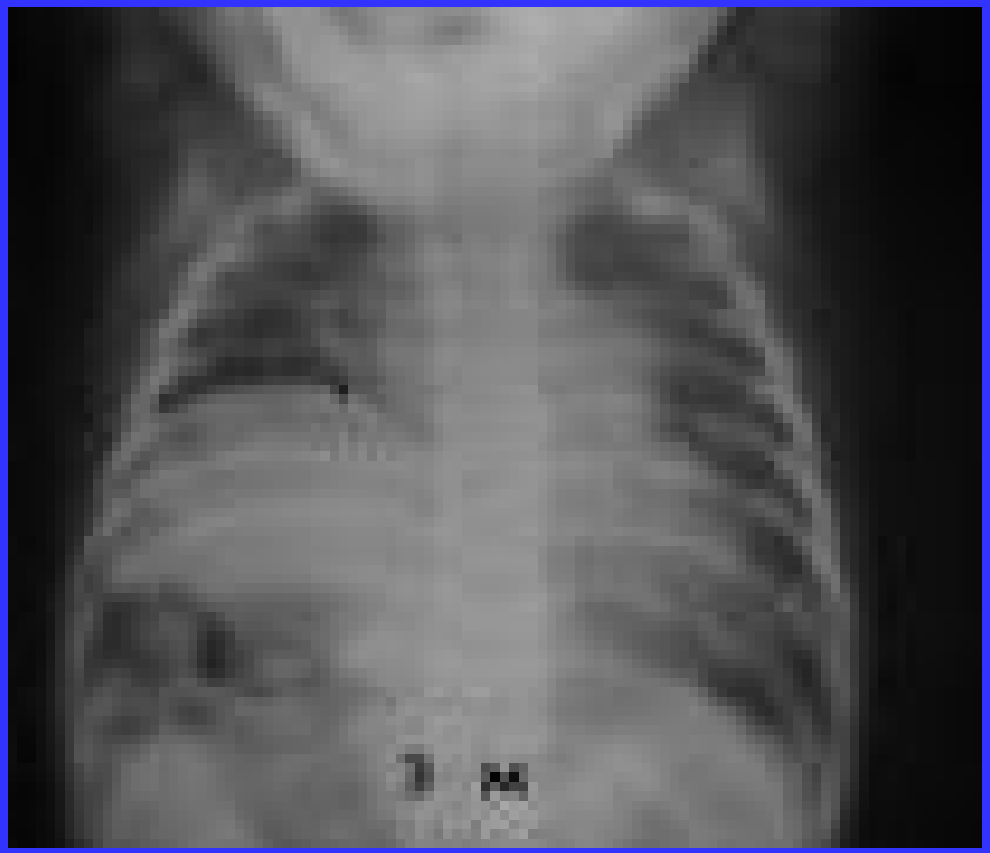
- Faible proportion de fibres musculaires de type 1 ➡ diaphragme fatigable

- Demande métabolique plus élevée que chez l'adulte (stabilisation de la cage thoracique par les intercostaux, mobilisation de petits Vt à Fr plus élevée) ➡ pression de repos plus élevée, Travail augmenté.

Principaux dysfonctionnements diaphragmatiques

- La paralysie phrénique
- Les parésies post-chirurgicales
- L'insuffisance fonctionnelle dans l'emphysème
- La fatigue diaphragmatique

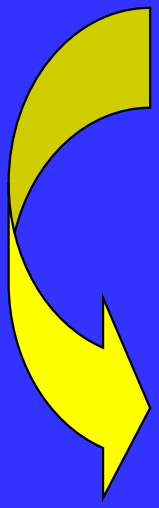
La paralysie phrénique



- Ascension de la coupole diaphragmatique
- Ventilation paradoxale
- Sniff test
- Testing impossible

Le diaphragme en post-opératoire de chirurgie abdominale

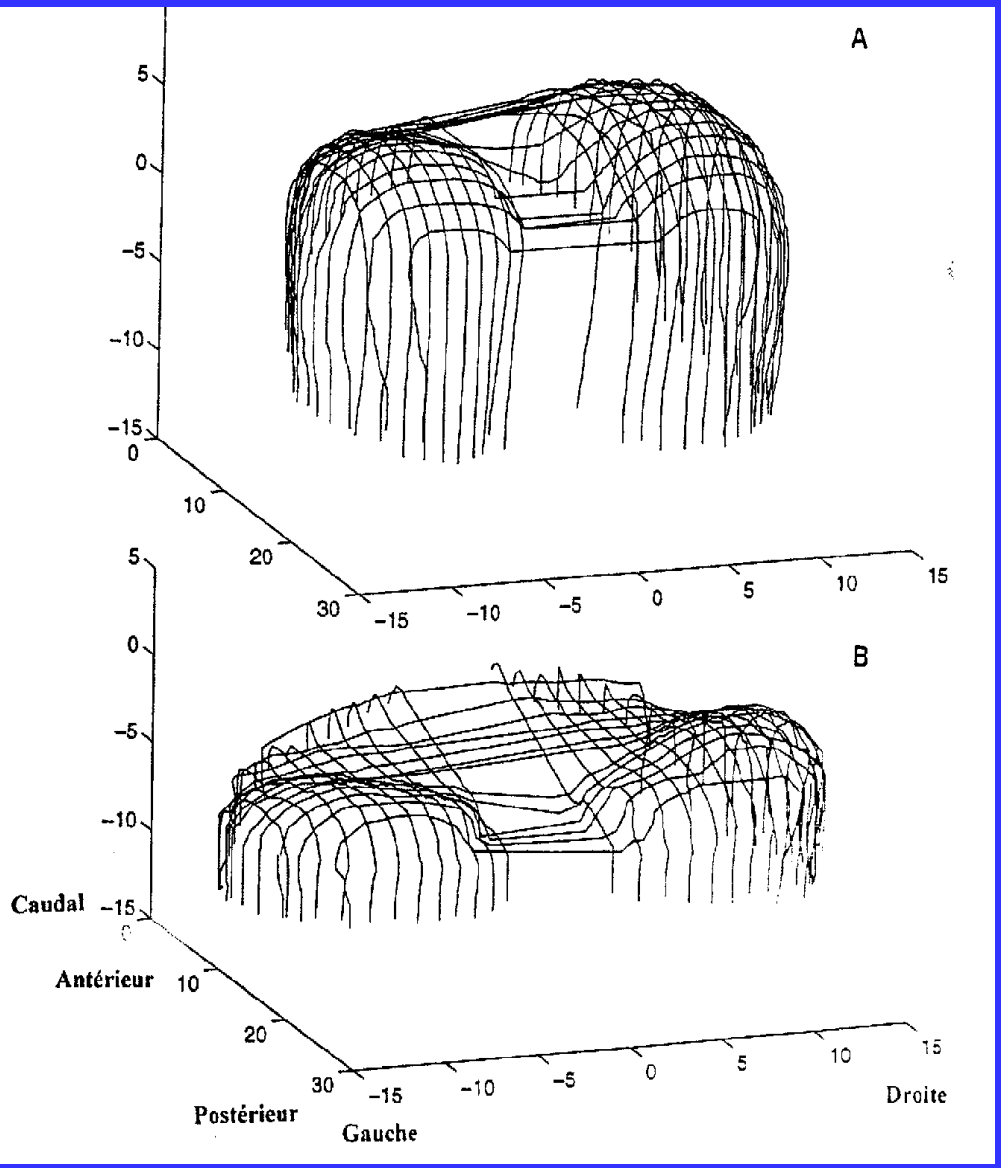
- Sidération diaphragmatique liée à:
  - Afférences inhibitrices d'origine viscérale (7 à 15 jours post-opératoires)
  - Douleur
  - Abdomen distendu et dur (diminution de la compliance abdominale



Syndrome restrictif

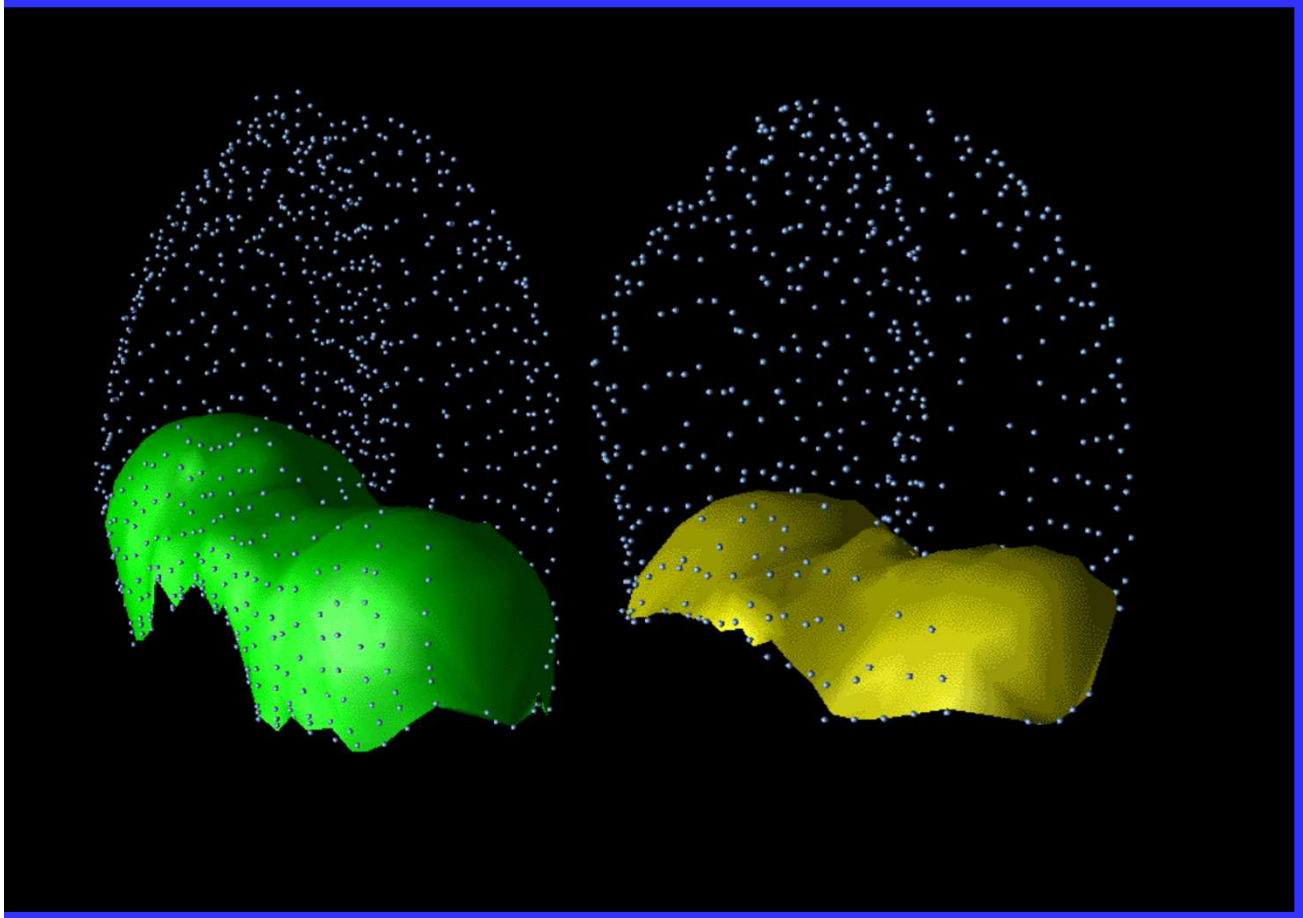
Mode ventilatoire: petit Vt et Fr élevée

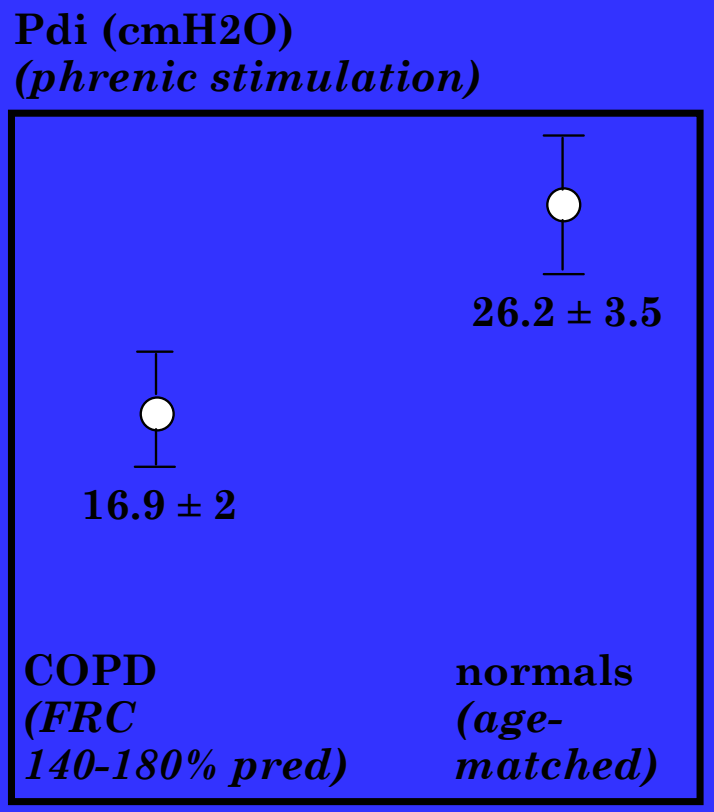
Diaphragme et distension pulmonaire



- Le diaphragme est en situation d'insuffisance fonctionnelle en terme de générateur de pression.
- Les coupoles diaphragmatiques sont abaissées et aplaties.
- Son action inspiratoire est réduite.
- - Il est relayé par les muscles inspirateurs accessoires.

Diaphragme et distension pulmonaire



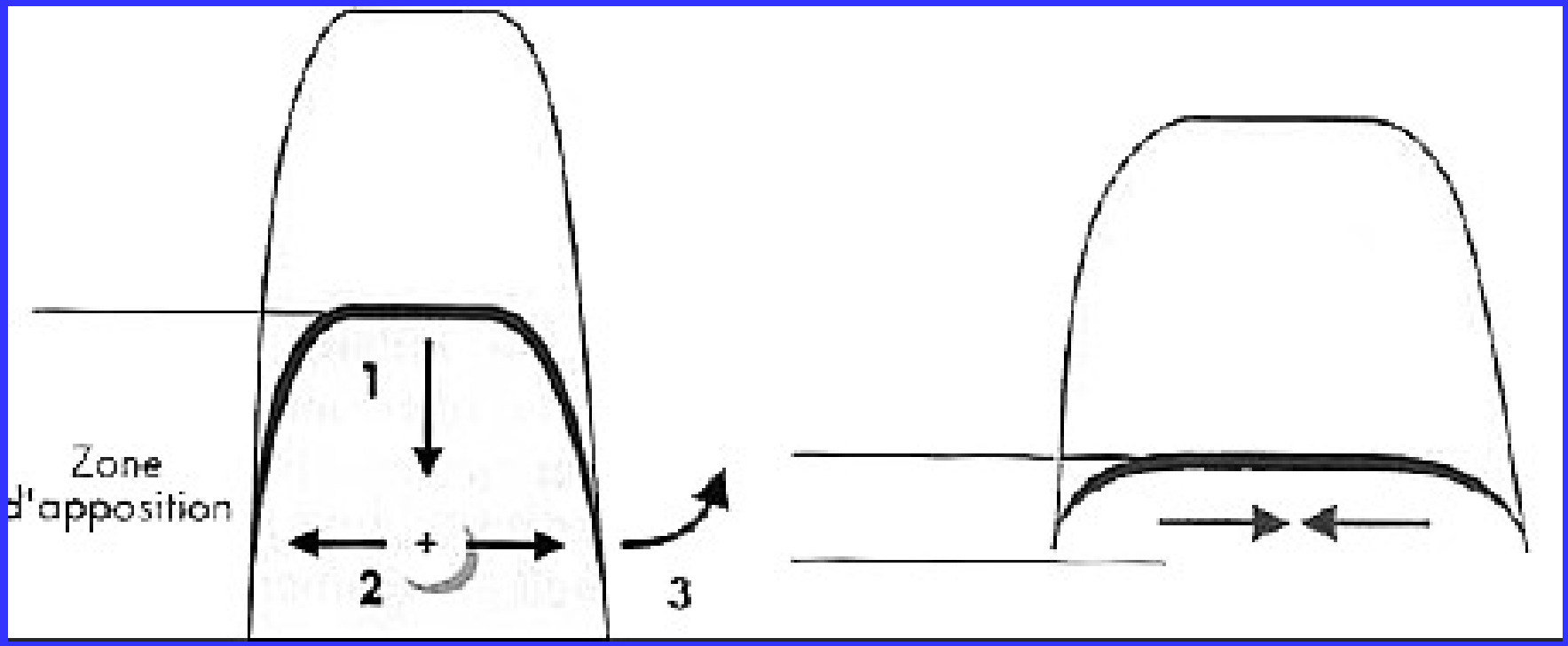


Diaphragme et distension pulmonaire

Hoover

Le signe de Hoover

Rétrécissement paradoxal du diamètre transversal de la partie inférieure du thorax à l'inspiration (cotes flottantes)



Diaphragme et distension pulmonaire

Adaptation

Diminution du nombre et de la longueur des sarcomères(meilleur rapport tension longueur)

↓

La force produite à cette nouvelle longueur est égale à celle produite à l'ancienne longueur (à la CRF): Pdi préservée chez bon nombre de BPCO

Mais

La ventilation se fait près des seuils de charges susceptibles de conduire à une fatigue malgré l'augmentation observée de fibres musculaires diaphragmatique de type 1

La fatigue diaphragmatique

- Définition de la fatigue: perte de capacité du muscle à produire une force et/ou une vitesse de contraction, phénomène réversible au repos. La mise en évidence d'une récupération de la force, après mise au repos, est nécessaire pour répondre à la définition de la fatigue (excluant la lésion musculaire).

(Supinski, 2004)

La fatigue diaphragmatique

3 types de fatigue:

- Fatigue centrale: Diminution de la force produite causée par la réduction de la commande motrice provenant du système nerveux central. Elle apparaît en présence d'une augmentation chronique de la charge du système respiratoire.

- Fatigue périphérique de haute ou de basse fréquence: correspond à une défaillance survenant à la jonction neuromusculaire ou en aval de cette structure (épuisement des réserves énergétiques musculaires).

La fatigue diaphragmatique

- Les 3 types de fatigue peuvent cohabiter lorsque les muscles respiratoires sont confrontés à une charge excessive.

- Régime ventilatoire observée: diminution du Vt et augmentation Fr. Ventilation rapide et superficielle.

- L'augmentation de la Fr est un signe précoce de fatigue.

La fatigue diaphragmatique

- Modes ventilatoires:
  - Alternance thoraco-abdominale (retarder la défaillance respiratoire)
  - Ventilation paradoxale abdominale (contraction diaphragmatique faible, absente ou inefficace)
- Traitement:
  - Mise au repos: ventilation assistée

Références bibliographiques

- Brizon J., Castaing J. Les feuillets d'anatomie. Fascicule XII, Muscles du cou et du tronc. Paris, Maloine, 1967
- anat-jq.com
- Kapandji I.A. Physiologie articulaire. Fascicule III, Tronc et rachis. Paris, Maloine, 1972
- Grippi M.A. Physiopathologie pulmonaire. Paris, Arnette, 1996
- Similowski T., Muir J.F., Derenne J.P. La bronchopneumopathie chronique obstructive. Paris, John Libbey Eurotext, 2004.
- Fonction diaphragmatique. Travail respiratoire. Monographies de la SRLF. Paris, Expansion Scientifique Française, 1987.

Références bibliographiques

- Antonello M., Delplanque D. Comprendre la kinésithérapie respiratoire. Paris, Masson, 2ème Ed., 2004
- Gaultier C., Allen J., England S. Evaluation de la fonction des muscles respiratoires chez l'enfant. Rev. Mal. Respir., 2004, 21: 4S135-4S148
- Supinski G.S., Fitting J.W., Bellemare F. Evaluation de la fatigue des muscles respiratoires. Rev. Mal. Respir., 2004, 21: 4S89-4S102