

BIOMECHANIQUE DU RACHIS

Pr Gilbert VERSIER
Service de chirurgie orthopédique
HIA Begin 94160 St-Mandé

L'iconographie est notamment issue des ouvrages de Mr Netter et Kapandji.

BIOMECHANIQUE DU RACHIS

1- RAPPELS ANATOMIQUES

2- MOUVEMENTS de la colonne

thoraco lombaire

3- MUSCLES MOTEURS

4- CONTRAINTES MECANIQUES

BIOMECHANIQUE DU RACHIS

2 impératifs contradictoires:

- mobilité grâce à:

*** l'empilement de pièces vertébrales,**

*** mouvements segmentaires additionnés**

permettant la réalisation des gestes de la vie

- rigidité grâce:

*** composants multiples**

osseux, articulaire, disco ligamentaires, musculaires

*** courbures sagittales**

RAPPELS ANATOMIQUES

1- les courbures

1 partie fixe: sacrum et coccyx

1 partie mobile:

- 7 cervicales
- 12 Thoraciques
- 5 lombaires

3 courbures

- cervicale en lordose
- dorsale en cyphose
- lombaire en lordose



RAPPELS ANATOMIQUES

1- les courbures

Intérêt: augmentation de la résistance à la compression selon la loi de EULER

le colonne est dix fois plus résistante à la compression qu'une colonne rectiligne



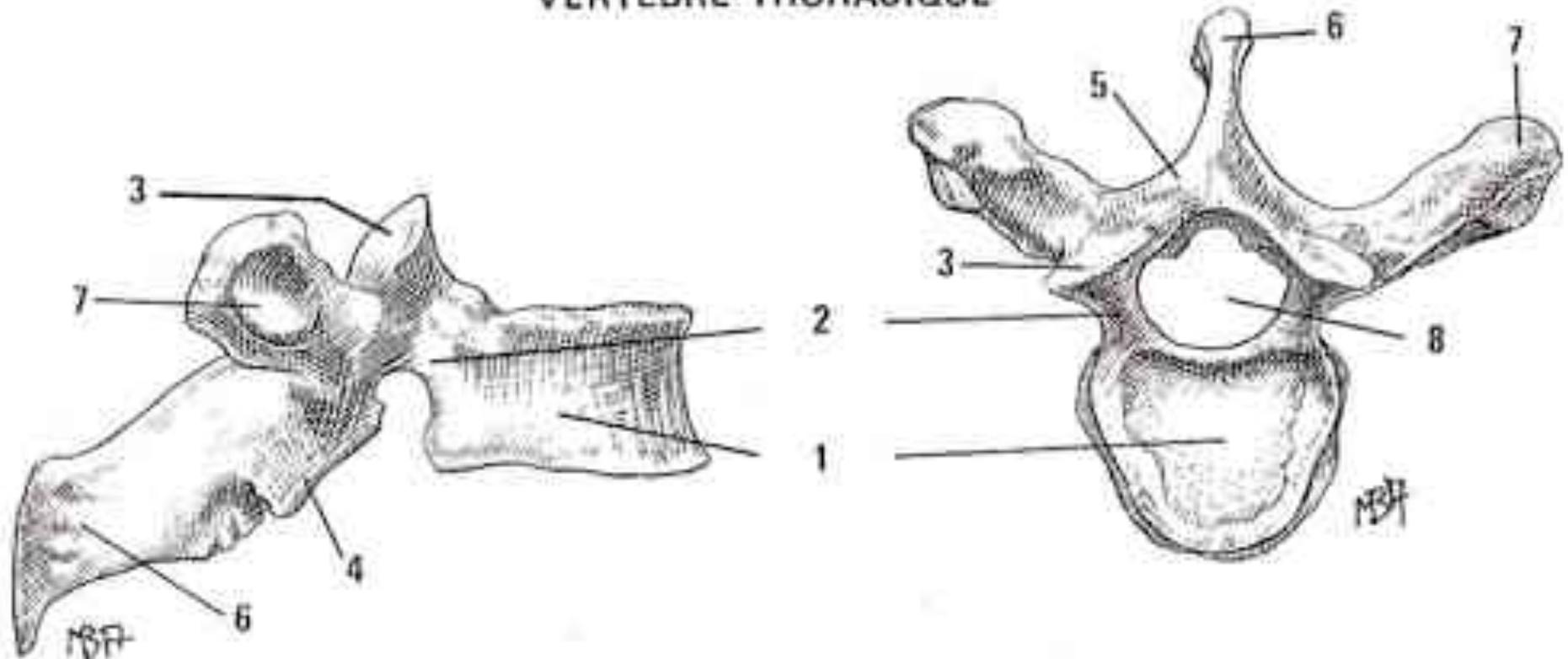
RAPPELS ANATOMIQUES

2- les vertèbres thoraciques et lombaires

a- les corps vertébraux

- forme cylindrique, convexe, sauf en arrière
- effilé vers l'avant à l'étage thoracique
- réniforme et volumineux à l'étage lombaire
- corticale fine sauf en arrière: le mur
- très nombreux orifices vasculaires
- surfaces sup. et inf (plateaux) sont concaves
et recouvertes de cartilage

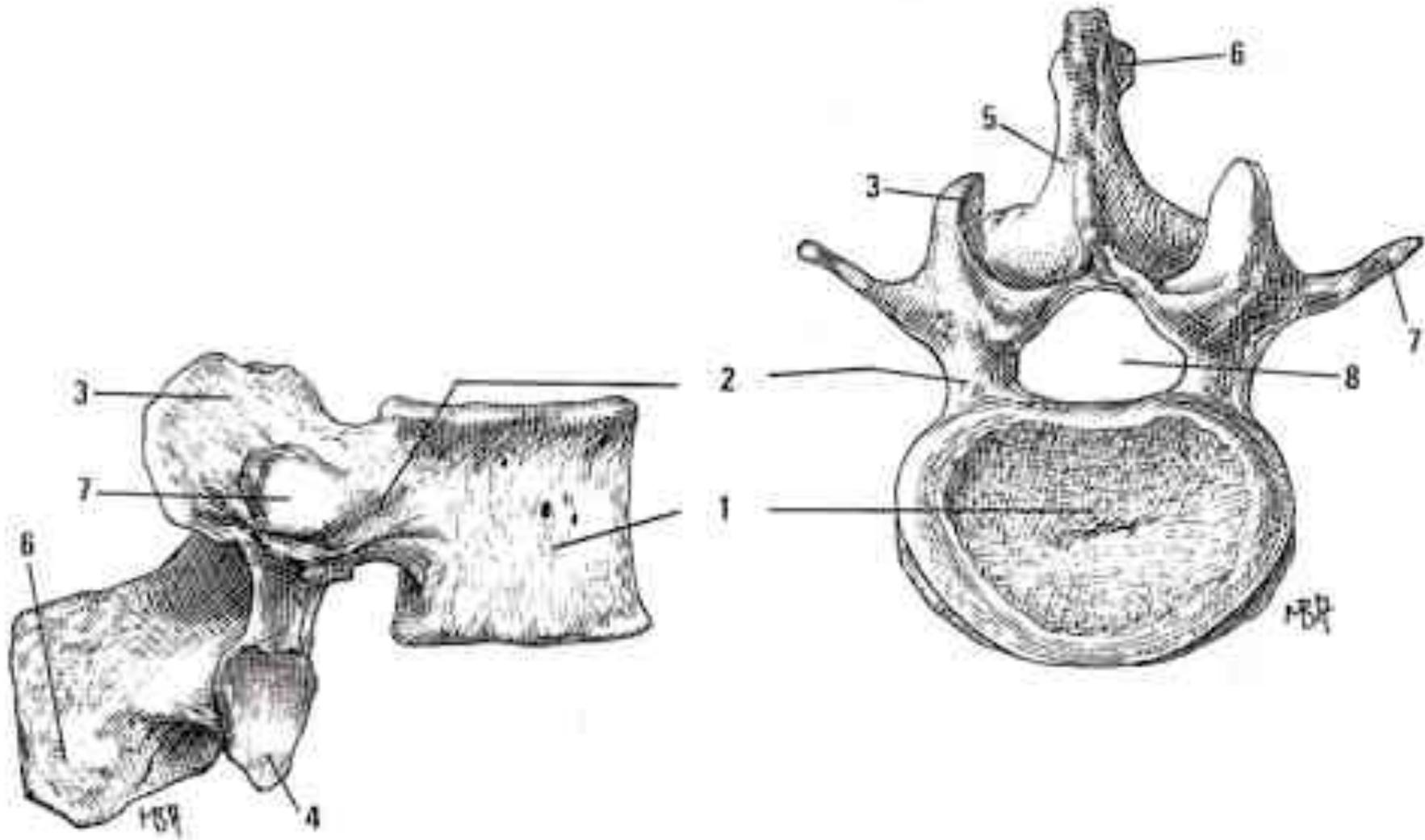
VERTEBRE THORACIQUE



Ce qui est caractéristique:

- corps vertébral effilé
- assez arrondi

VERTEBRE LOMBAIRE



VUE DE PROFIL

VUE SUPERIEURE

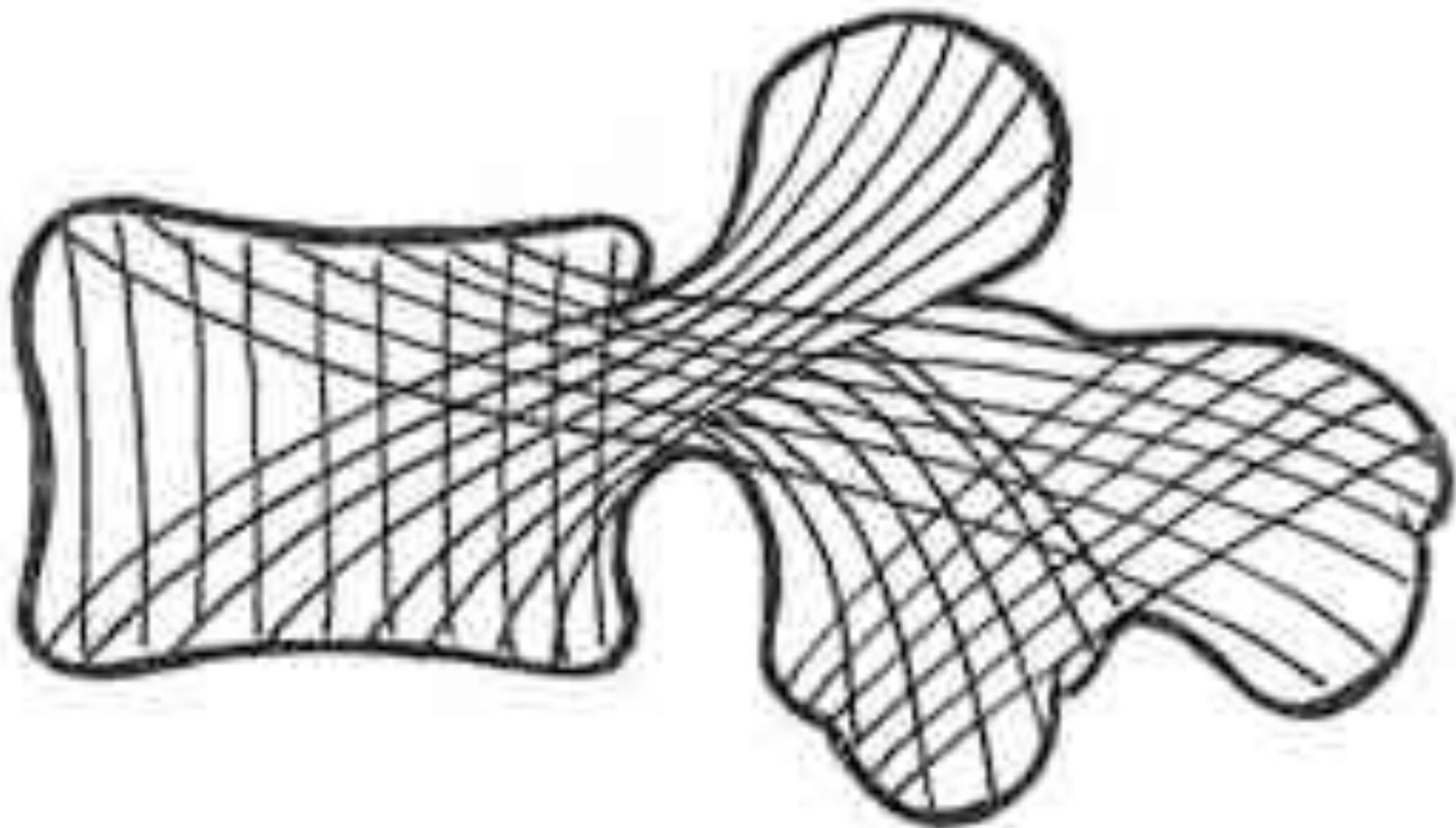
- corps vertébral massif
- aspect réniforme

RAPPELS ANATOMIQUES

2- les vertèbres thoraciques et lombaires

a- les corps vertébraux

- architecture spongieuse
- travées selon lignes de résistances
- zone de plus grande résistance en arrière (mur)
- zone de fragilité (tassement) en avant



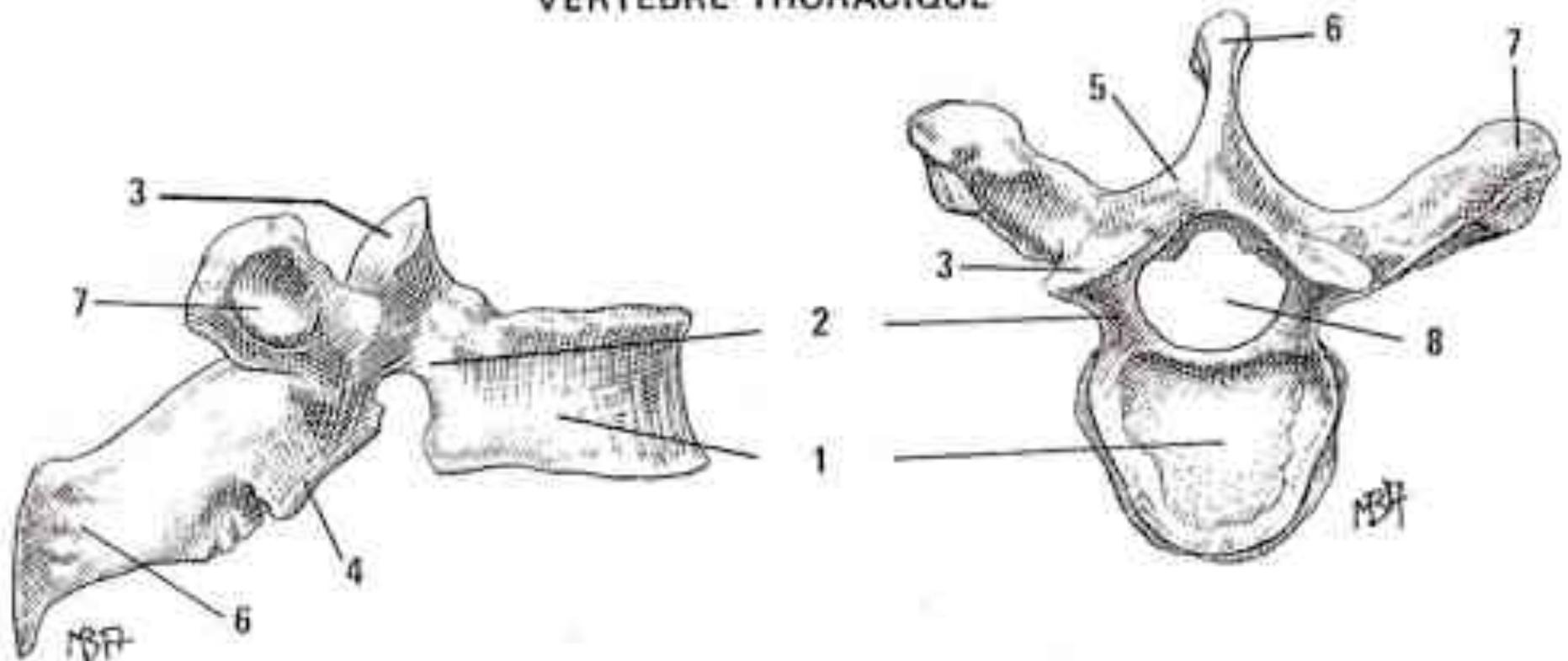
RAPPELS ANATOMIQUES

2- les vertèbres thoraciques et lombaires

b- l'arc postérieur

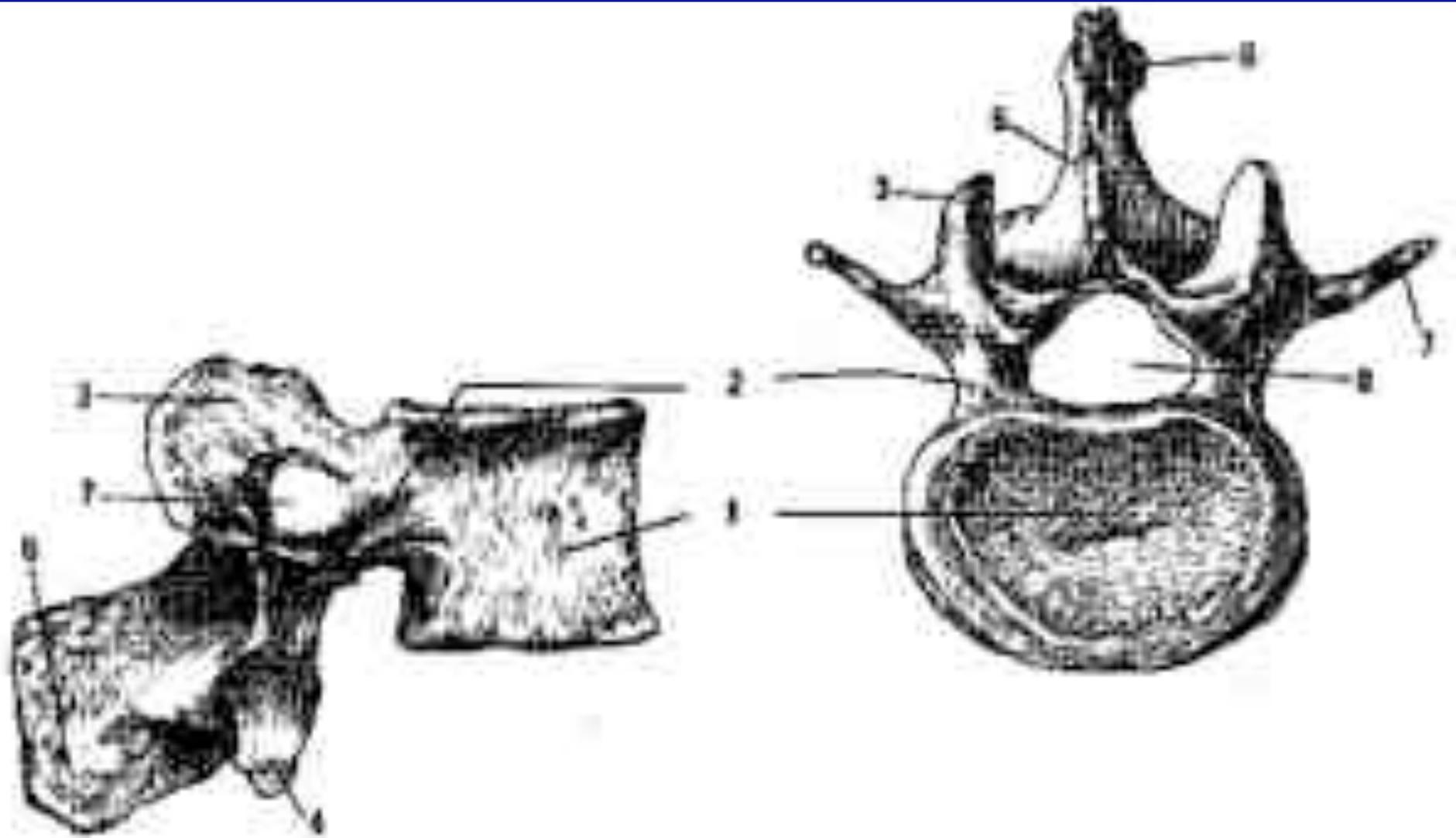
- appelé aussi arc neural demi anneau osseux
- relié au corps par pédicule
- pédicule fixé au 1/3 postérosupérieur du corps
- plus court et plus épais en lombaire
- les 2 pédicules sont reliés par les lames qui s'empilent comme des tuiles
- à la jonction postérieure des lames: épineuses
- à la jonction pédicule-lame:
articulaires et transverses

VERTEBRE THORACIQUE



Ce qui est caractéristique:

- articulaires orientées dans plan frontal
- transverses volumineuses avec zone articulaire
- épineuses minces et longues, très verticales



- épineuses volumineuses, courtes, horizontales
- transverses rudimentaires: apophyses costiformes
- articulaires sagittales (L1 et L2) frontale (L5)

RAPPELS ANATOMIQUES

2- les vertèbres thoraciques et lombaires

c- ossification

- points d'ossification primaires (3 mois intra-utérin)

* 2 pour le corps vertébral (**hémi vertèbres**)

* 2 pour les pédicules (**non fusion possible**)

* 2 points neuraux postérieurs

* 2 points transversaires

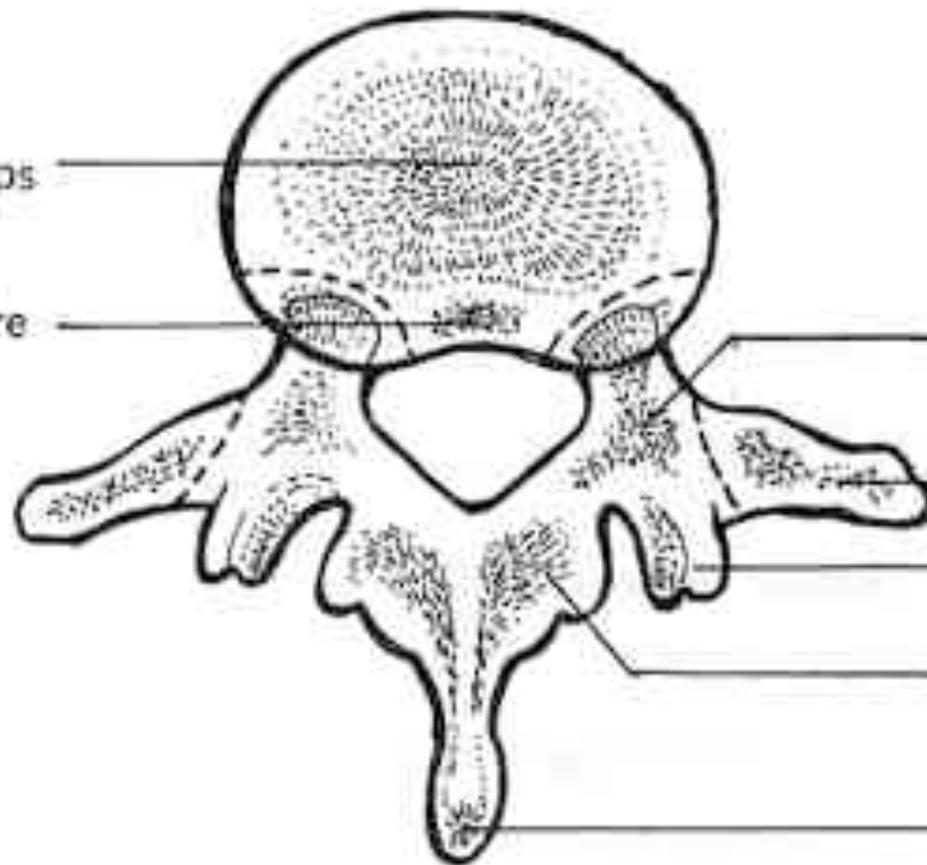
- points d'ossification secondaires (7 ans)

* en particulier les listels marginaux

en anneaux périphériques (**maladie de Scheuermann**) qui fusionnent avec le CV vers 11 à 13 ans

Centre primitif
principal du corps

Centre accessoire



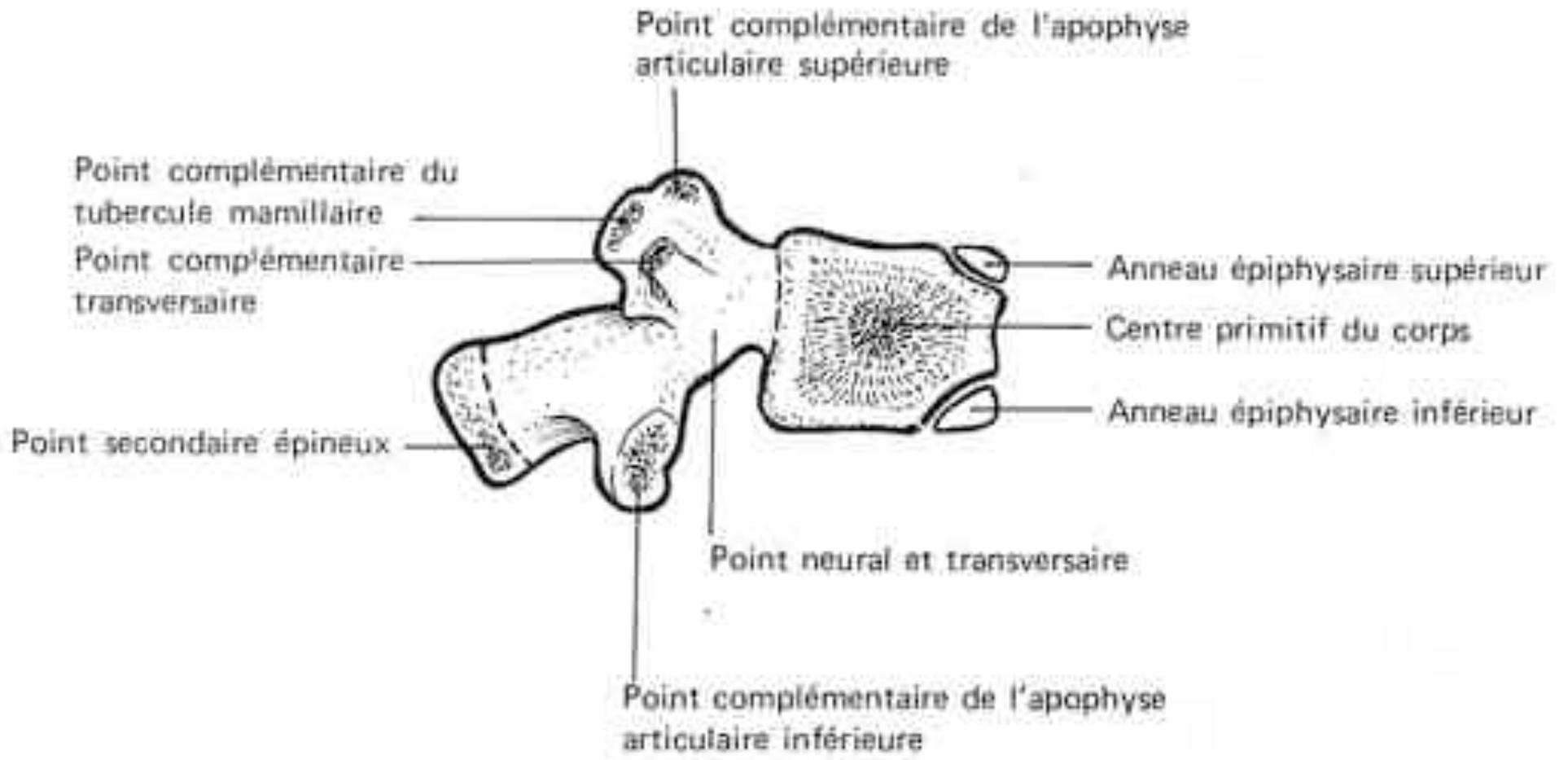
Point neural antérieur

Point costal

Point transversaire

Point neural postérieur

Point secondaire épineux



RAPPELS ANATOMIQUES

2- les vertèbres thoraciques et lombaires

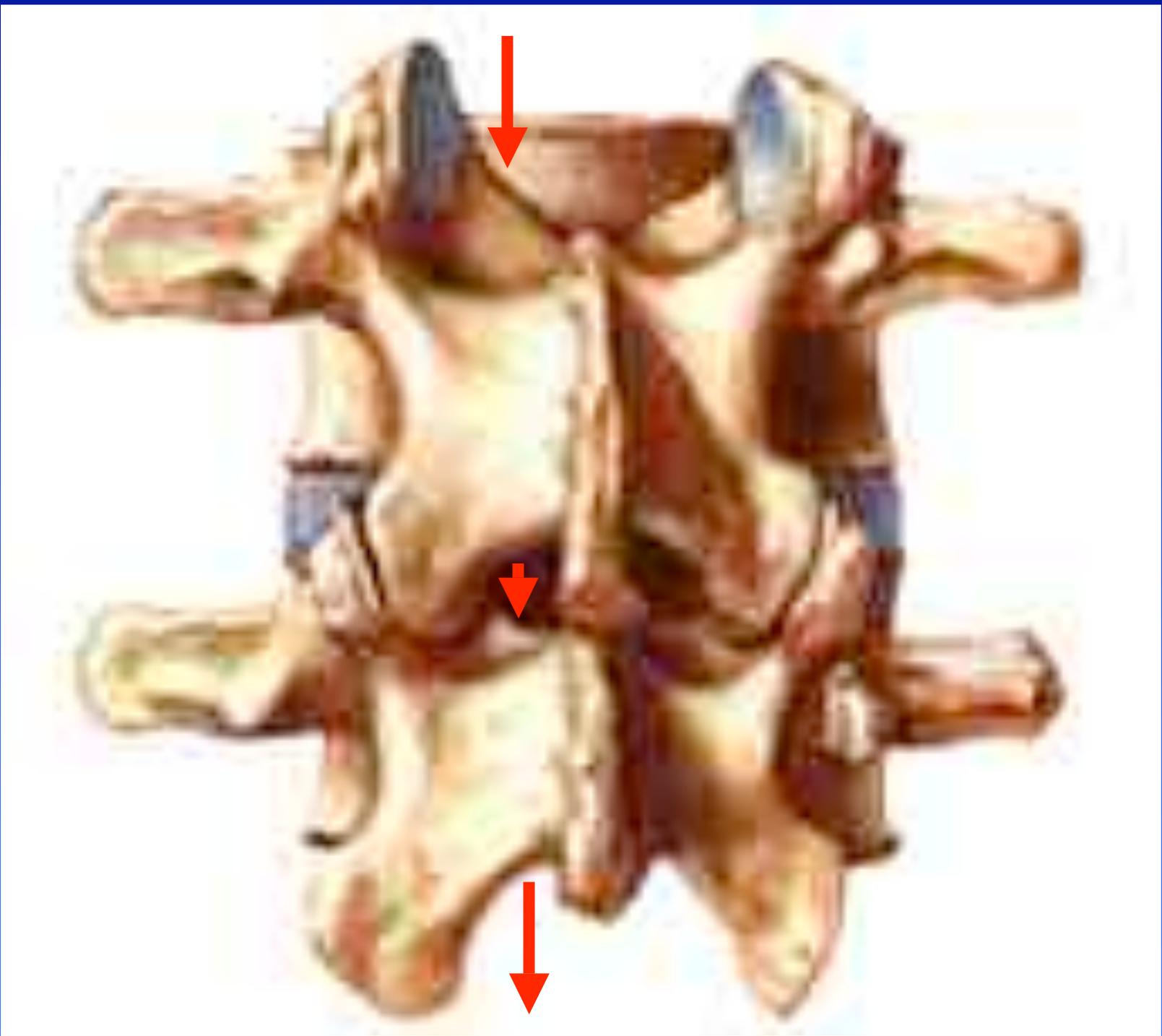
d- empilement en colonne (théorie de LOUIS)

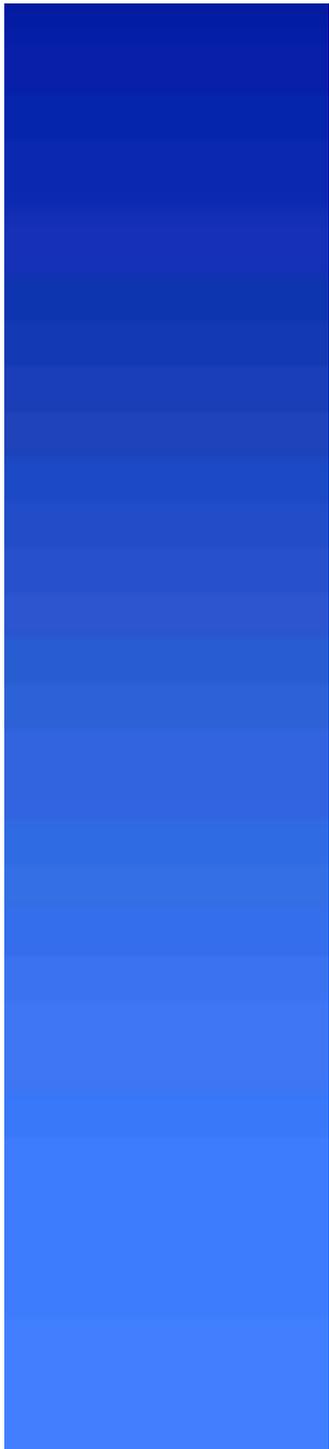
- 1 colonne principale antérieure (corps)
- 2 colonnes postérieures (articulaires)

C'est le trépied ostéo articulaire de Louis

En outre délimitation du canal rachidien avec:

- la moelle jusqu'en L2
- queue de cheval au dessous
- trou de conjugaison (foramen) fait de:
2 pédicules, articulaires, CV et disque







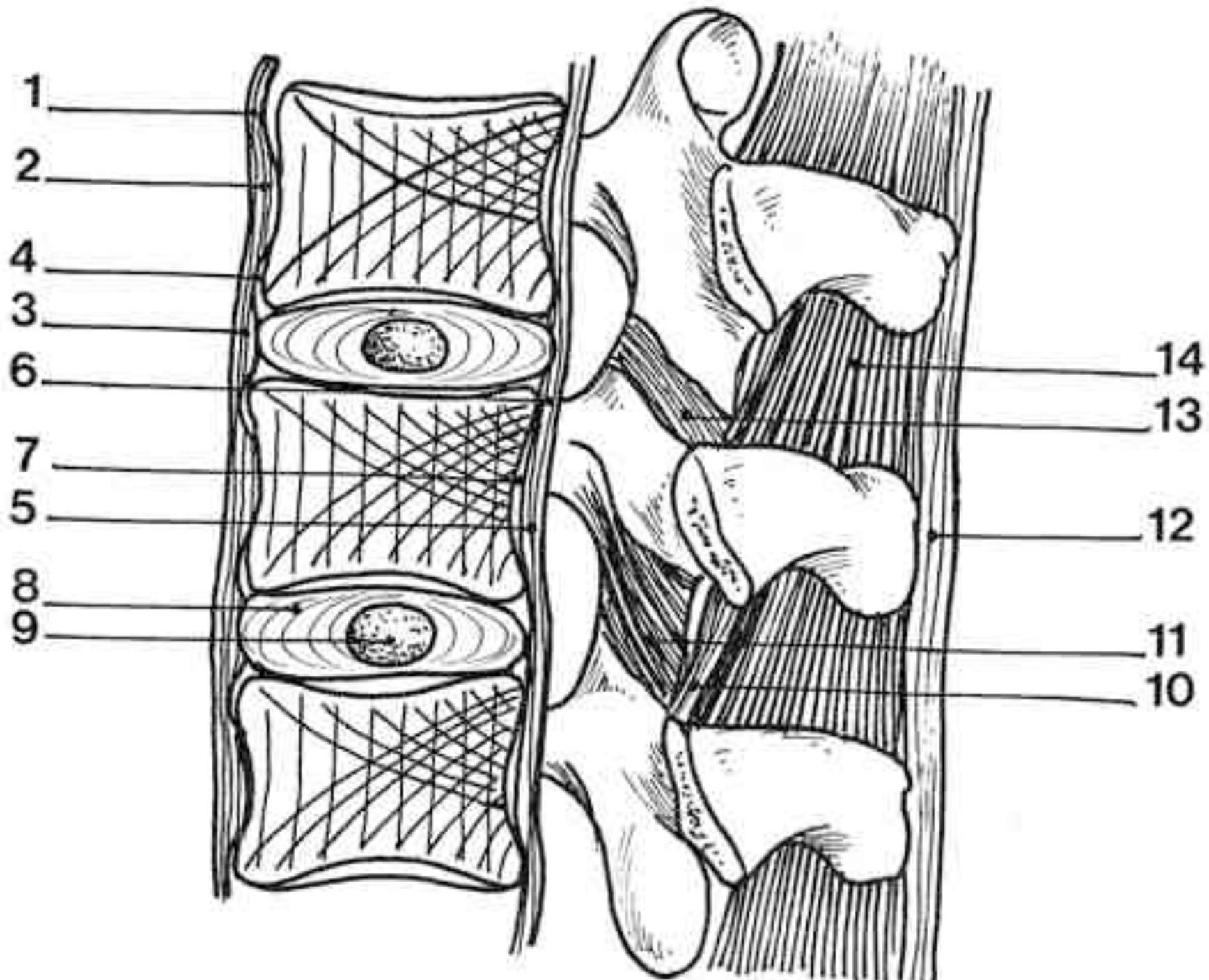


RAPPELS ANATOMIQUES

3- les articulations intervertébrales

L'articulation intervertébrale comprend:

- l'articulation intercorporéale**
- les articulations inter-apophysaires**
- le complexe ligamentaire postérieur**



RAPPELS ANATOMIQUES

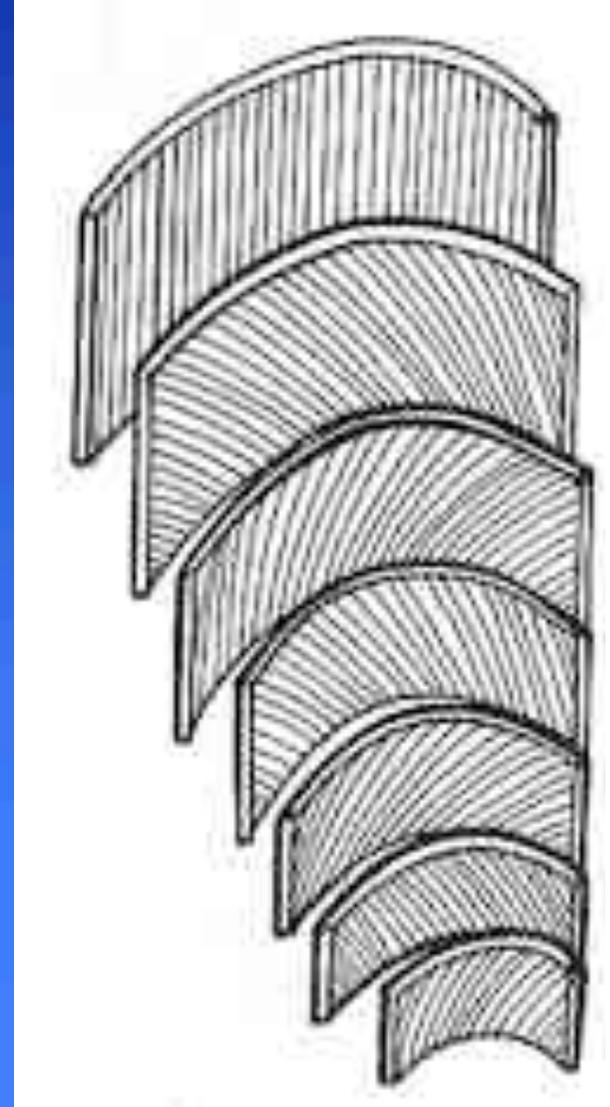
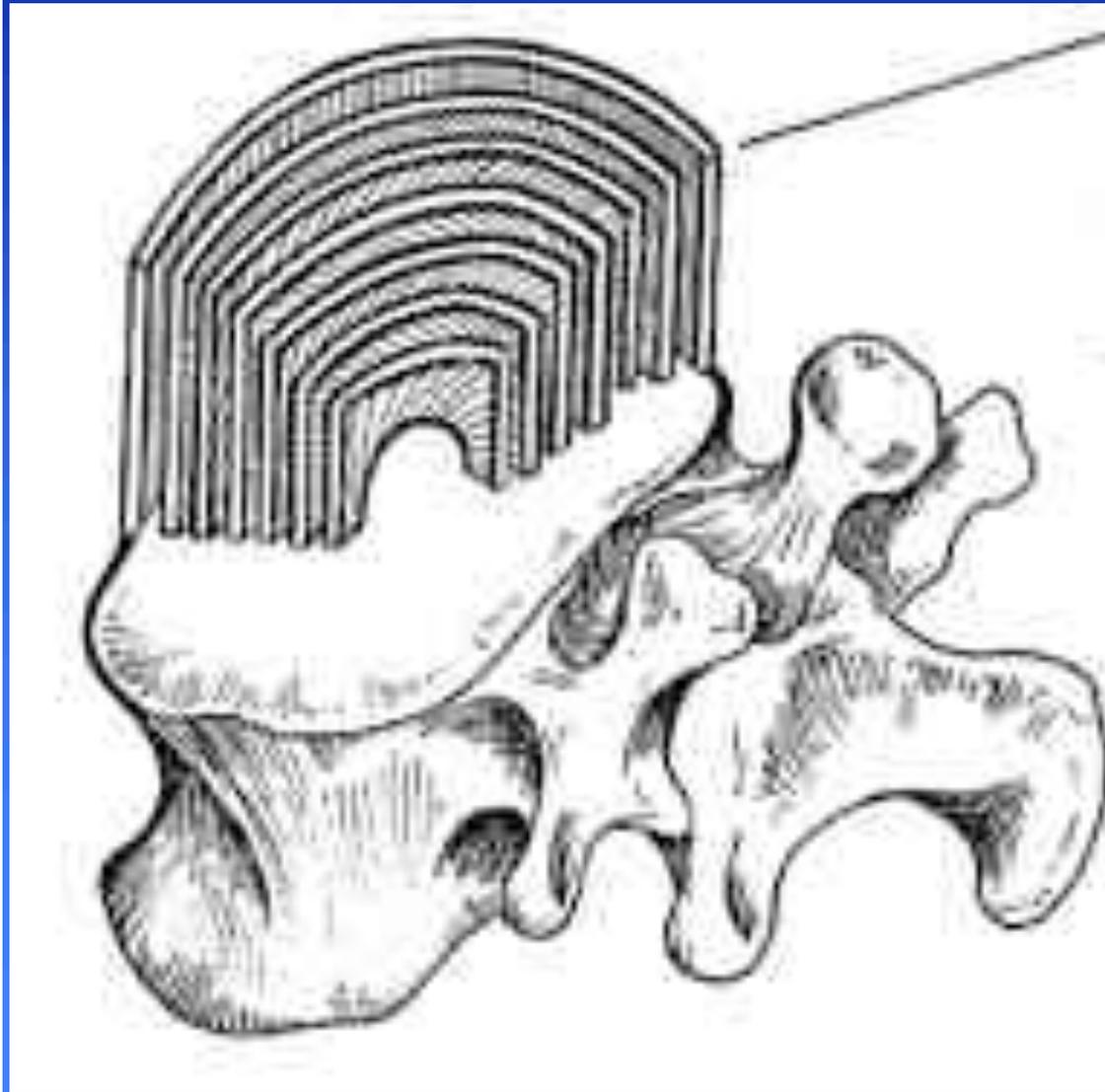
3- les articulations intervertébrales

a- l'articulation inter corporéale (amphiarthrose)

* Disque intervertébral

- fibrocartilage unissant les 2 surfaces
- très solidement uni au CV
- hauteur variable
(4-5 mm en thoracique, 15mm en lombaire)
- 2 parties:
 - nucléus pulposus central déformable mais incompressible
 - annulus fibrosus: lamelles concentriques





RAPPELS ANATOMIQUES

3- les articulations intervertébrales

a- l'articulation inter corporéale (amphiarthrose)

- Ligament vertébral commun
 - 1 antérieur et 1 postérieur
 - adhérents aux disques en avant
 - peu à la vertèbre au niveau des corps vertébraux
 - tendu de l'occiput au sacrum







RAPPELS ANATOMIQUES

3- les articulations intervertébrales

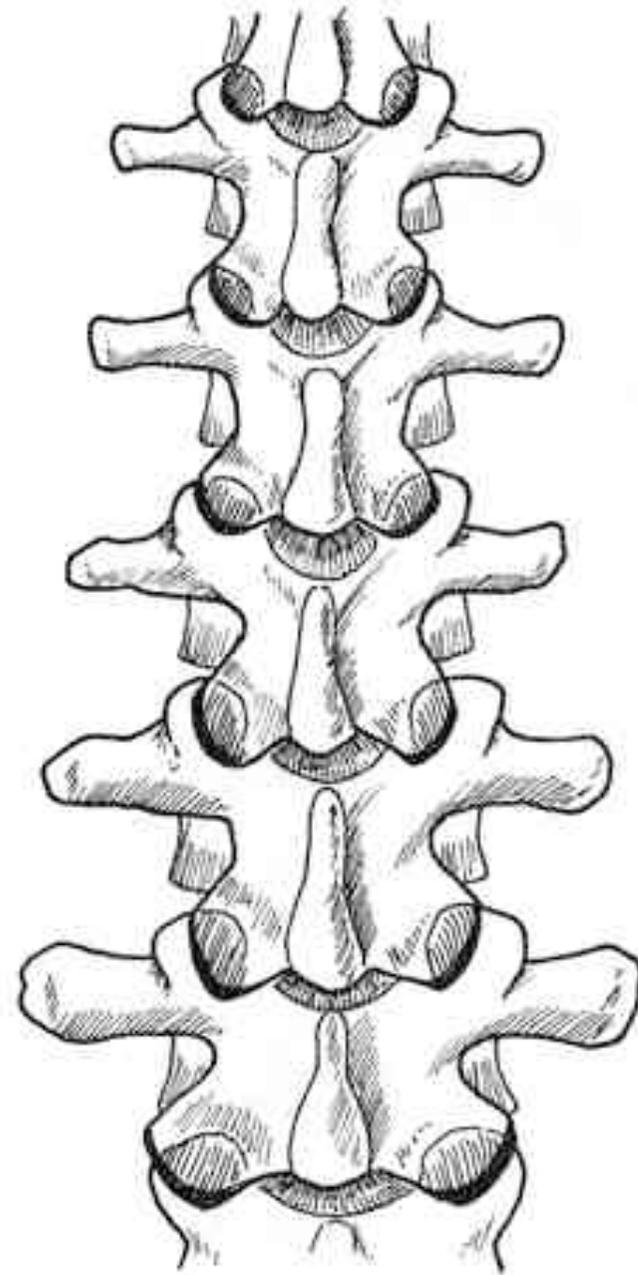
b- les articulations inter-apophysaires

- Diarthroses
- plane et frontal au thorax: glissement vertical et horizontal (idem pou L4 et L5)



**sagittale non plane en lombaire:
rotation**

**Frontale en L4 et L5 pour éviter
le glissement sur le plateau sacré
ce qui arrive si spondylolyse :
spondylolsthésis**



**ORIENTATION DES
FACETTES ARTICULAIRES LOMBAIRES**

RAPPELS ANATOMIQUES

3- les articulations intervertébrales

c- le complexe ligamentaire postérieur

- frein principal des mouvements

- constitué par:

- * ligament interépineux

- * ligament susépineux

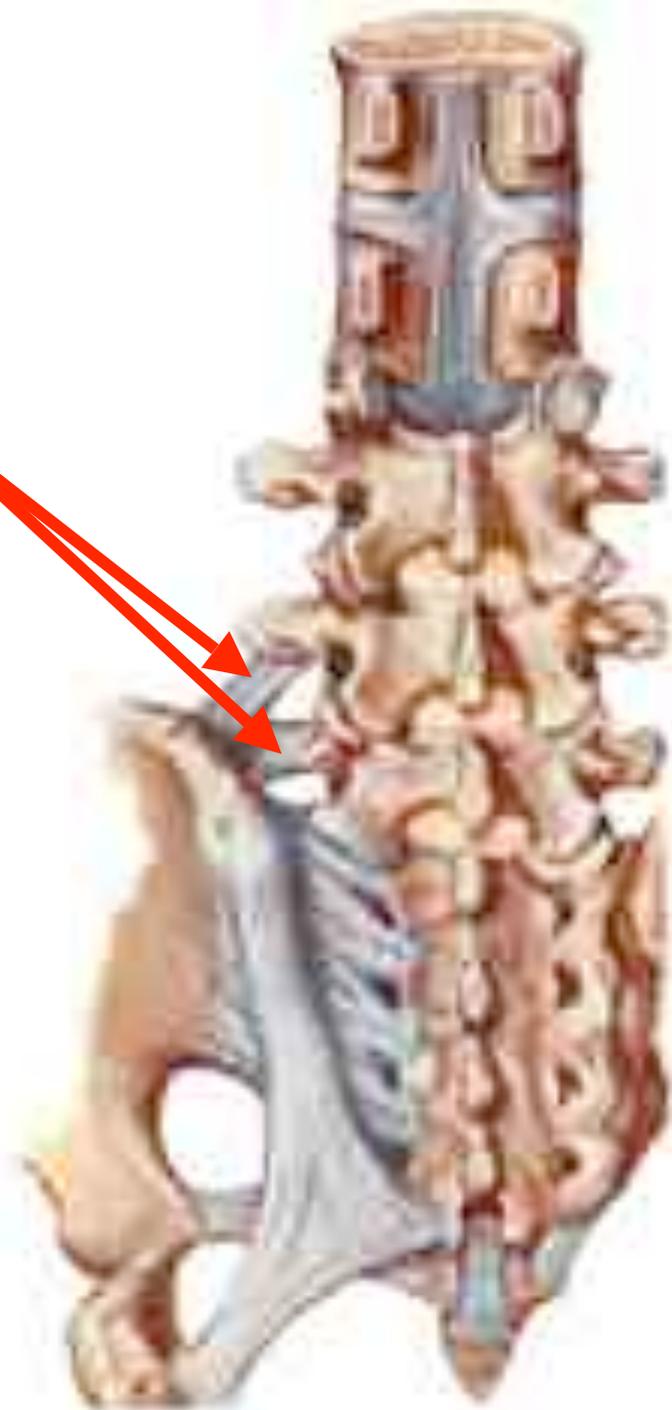
- * ligaments intertransversaires et

renforcés en L5-S1 par les ligaments ilio-lombaires
ilio-transversaires

- * ligaments jaunes (entre 2 lames) et tapissent presque tout le canal





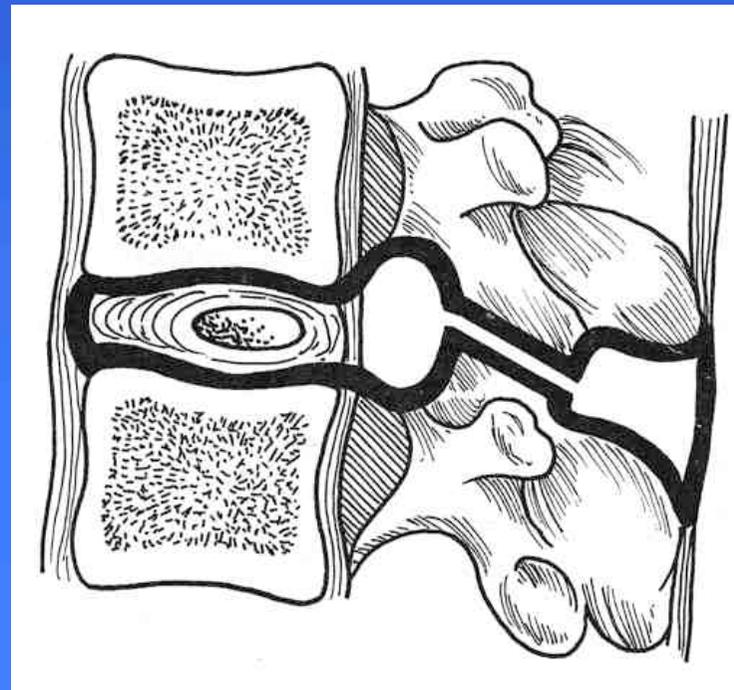


RAPPELS ANATOMIQUES

3- les articulations intervertébrales

Elles constituent:

le segment mobile rachidien de Junghans
qui passe entre les vertèbres, zone de fragilité
capsulo-ligamentaire



MOUVEMENTS

Ce segment mobile est aussi le segment moteur

- **qui autorise le mouvement**
- **qui le limite par**
 - * **orientation des articulaires**
 - * **tension ligamentaire**

MOUVEMENTS

A- les axes

1- axe antéro-postérieur dans le plan sagittal définit la flexion-extension

2- axe transversal dans le plan frontal définit le mouvement d'inclinaison latérale droite et gauche

3- axe vertical (axe rachidien): rotation axiale

Il existe d'autres mouvements:

- glissement d'avant en arrière**
- glissement transversal**
- compression (rapprochement)**
- distraction (éloignement)**

FLEXION



**INCLINAISON
LATERALE
DROITE**



ROTATION AXIALE

MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

1- flexion – extension

La flexion fait intervenir:

- * un pincement discal en avant
- * un baillement discal en arrière
- * guidé par les apophyses articulaires mais

pas limitée par les surfaces articulaires

limitée par leurs capsules, les ligaments commun postérieur, susépineux et interépineux

 variable selon l'âge

MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

1- flexion – extension

L'extension fait intervenir:

- * un pincement discal en arrière
 - * un baillement discal en avant (20-25% en +)
 - * guidé par les apophyses articulaires
 - * limitée par ligament commun antérieur
- et par le contact des apophyses épineuses

D'APRES TANZ

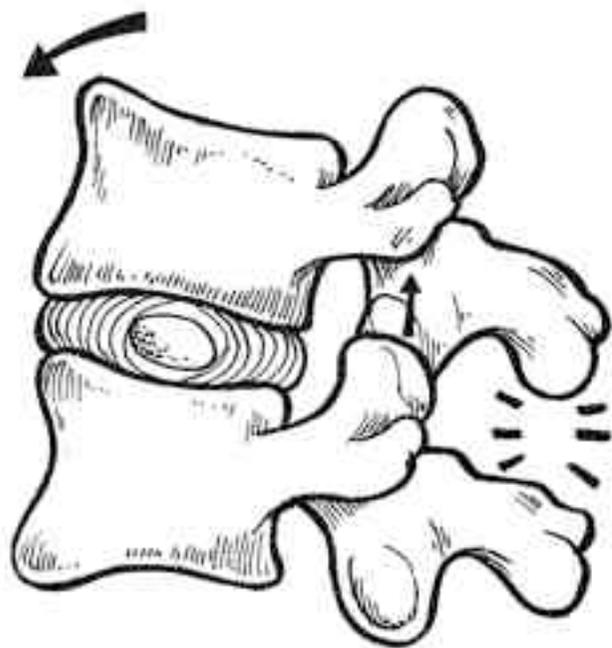
10°	6°	4°	2°
10°	8°	5°	5°
13°	9°	8°	3°
17°	12°	8°	7°
24°	8°	8°	7°
5 - 25 ans	35 - 50 ans	50 - 65 ans	65 - 75 ans



D'APRES ALLBROOK

11%	DU MOUVEMENT GLOBAL DE LA FLEXION EXTENSION
16%	
18%	
25%	
20%	

FLEXION



EXTENSION



MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

2- inflexion latérale fait intervenir:

- * un pincement discal du côté de l'inflexion
- * un baillement discal de l'autre côté
- * guidé par les apophyses articulaires qui glissent sagittalement, presque nulle dans la concavité maximale dans la convexité
- * freinage par le disque et les intertransversaires
- * 12 à 15° (maxi en lombaire haut)

D'APRES TANZ

12°	5°	6°	4°
12°	8°	7°	7°
16°	8°	8°	6°
15°	8°	7°	5°
7°	2°	1°	0°
5 - 25 ans	35 - 50 ans	50 - 65 ans	65 - 75 ans

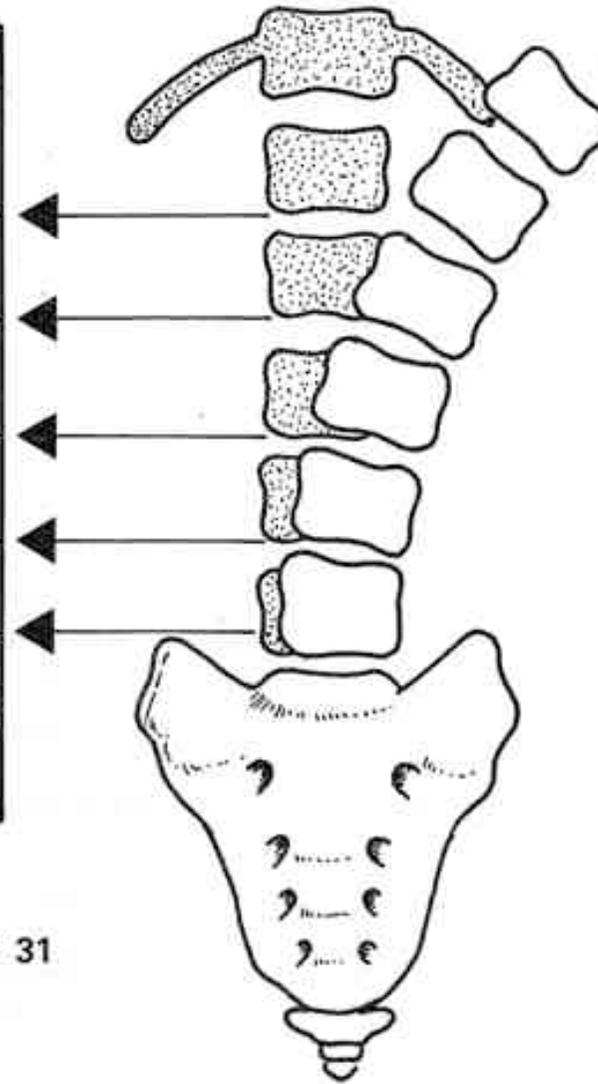


FIGURE 31

INFLEXION LATÉRALE



MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

3- rotation axiale

- sollicitation +++ des fibres discales obliques
- guidée par apophyses articulaires
- en thoracique:

le Centre Rotation perpendiculaire aux facettes articulaires est au centre du disque donc contraintes en torsion réparties

- en lombaire:

le Centre Rotation est postérieur (articulation sagittale) d'où contraintes en torsion et cisaillement car bras de levier+++

 dégénérescence des disques lombaires

MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

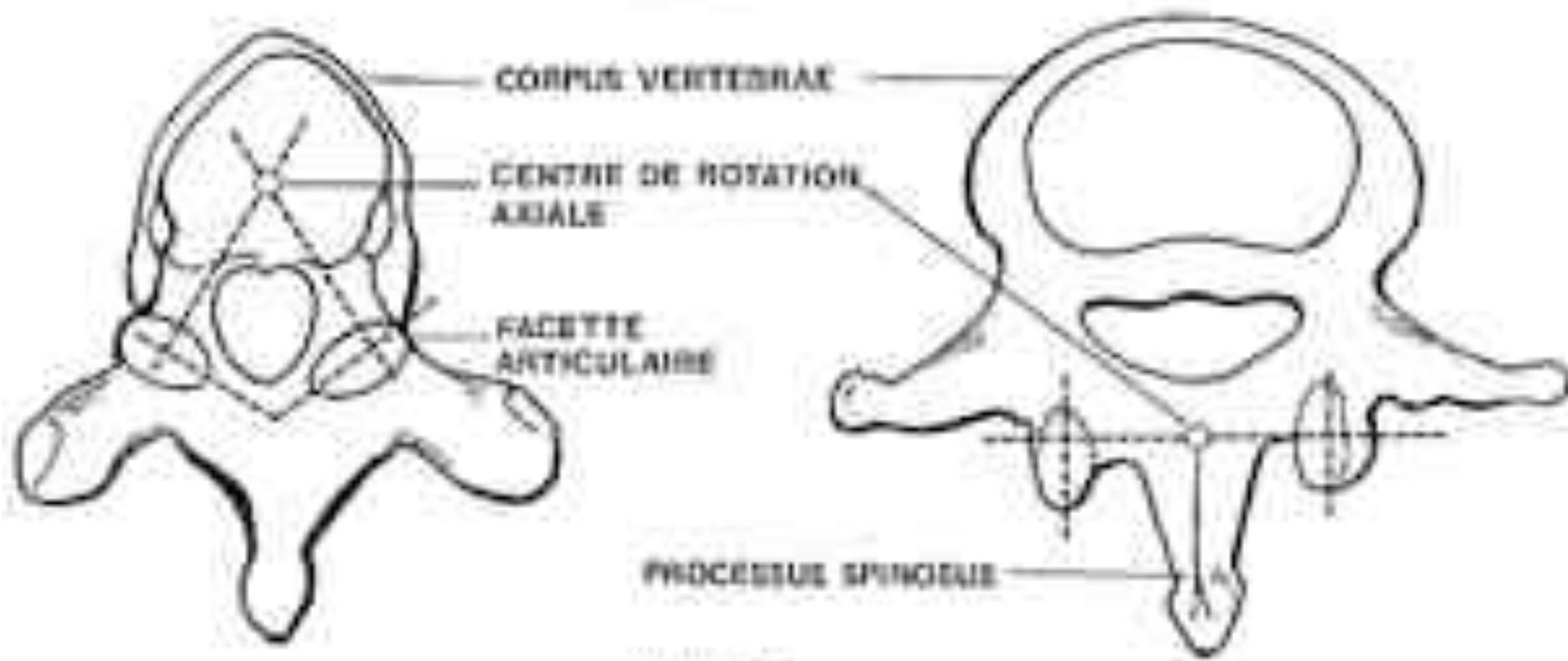
3- rotation axiale

- valeur globale de 102° du sacrum à T1
- 74° de T1 à T12
- 36° du sacrum à L1

donc faible rotation au niveau lombaire

- bassin et colonne lombaire= unité fonctionnelle
- Diminution de la rotation de T1 à T7 et S à T7
- 7ème dorsale: transition rot. pelvis- rot scapulaire

AVANT



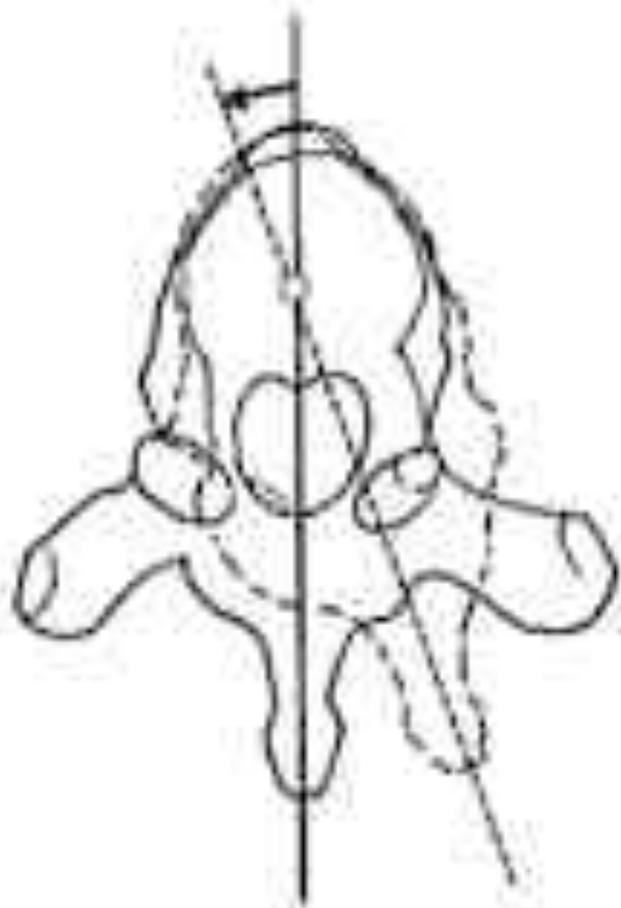
CORPUS VERTEBRAL

CENTRE DE ROTATION
AXIALE

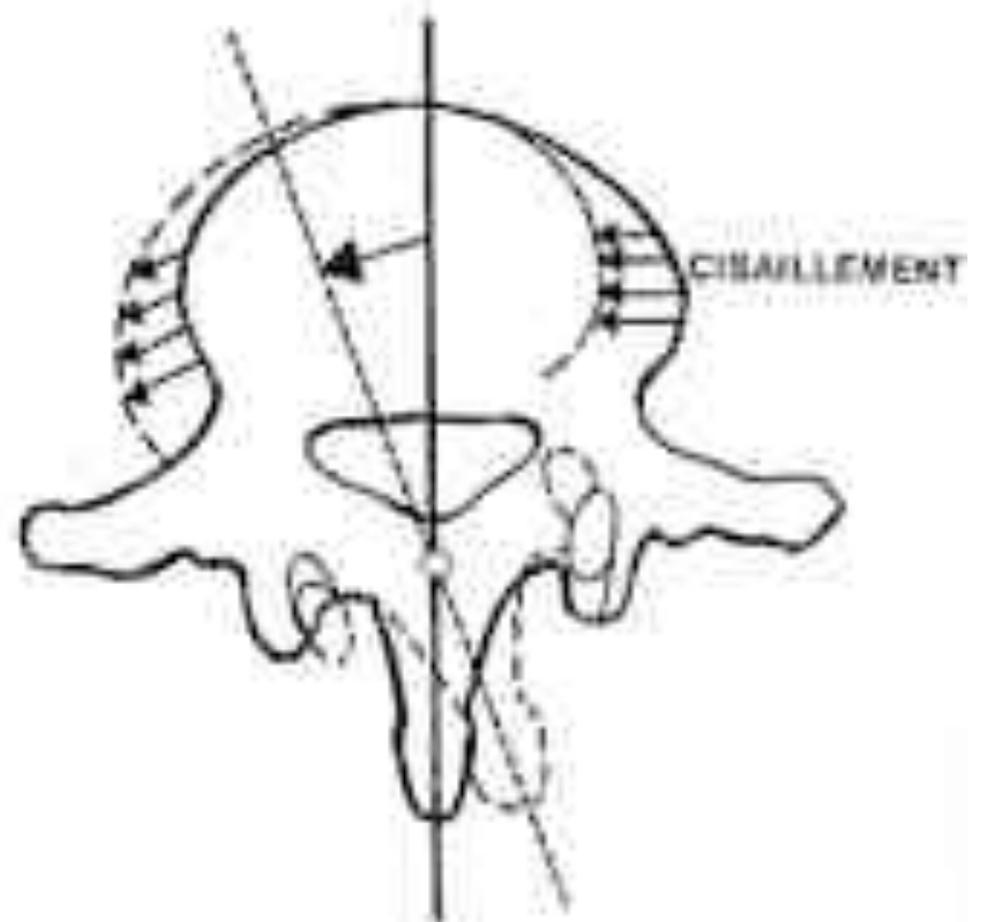
FACETTE
ARTICULAIRE

PROCESSUS SPINOSE

ARRIERE



VERTEBRE THORACIQUE



VERTEBRE LOMBAIRE

MOUVEMENTS

B- les mobilités segmentaires

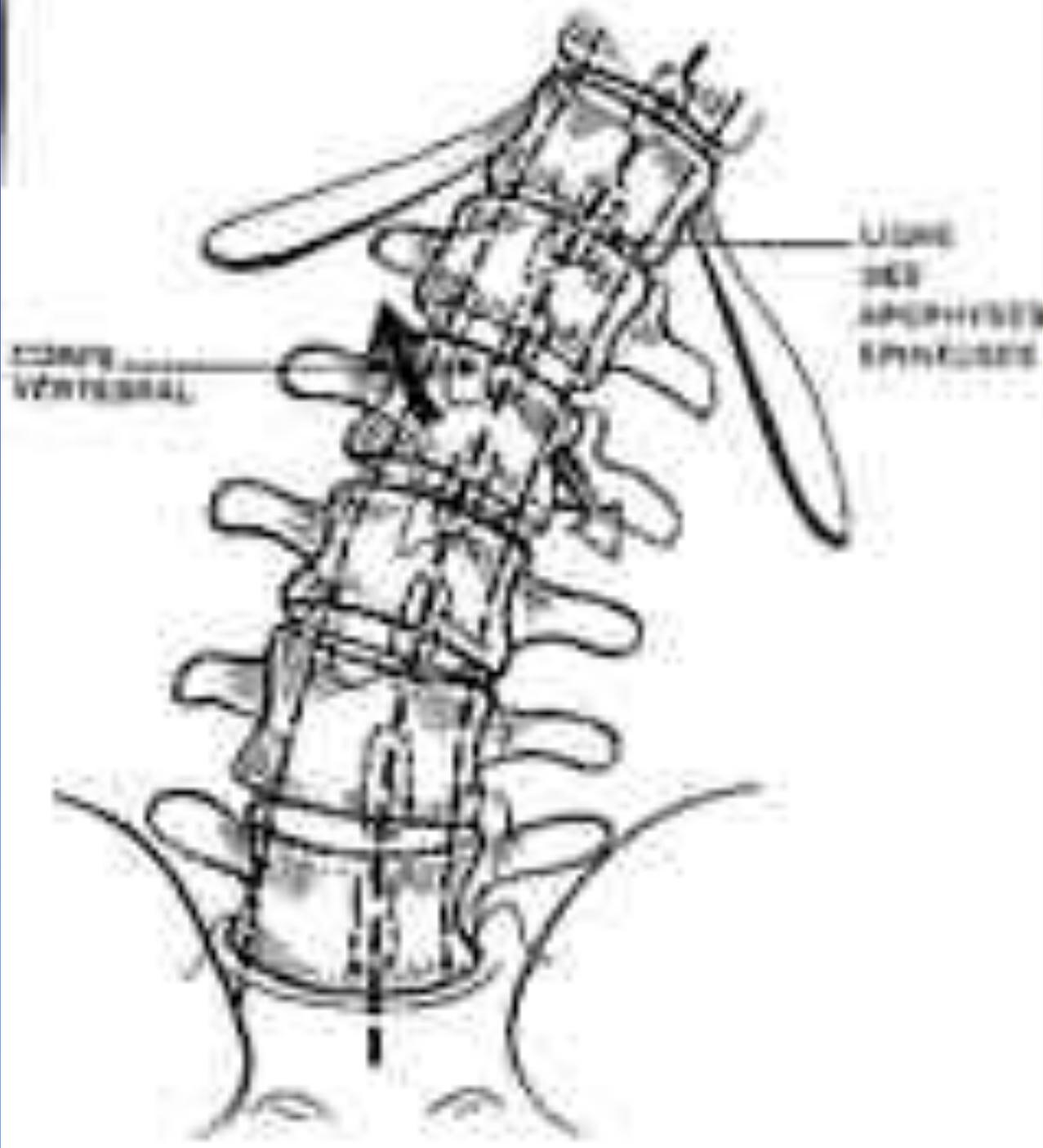
4- rotation automatique en inflexion latérale

- preuve radiographique

- apophyse épineuse tourne du côté de l'inflexion
et le corps vertébral de l'autre côté

- amplitude maximale de rotation

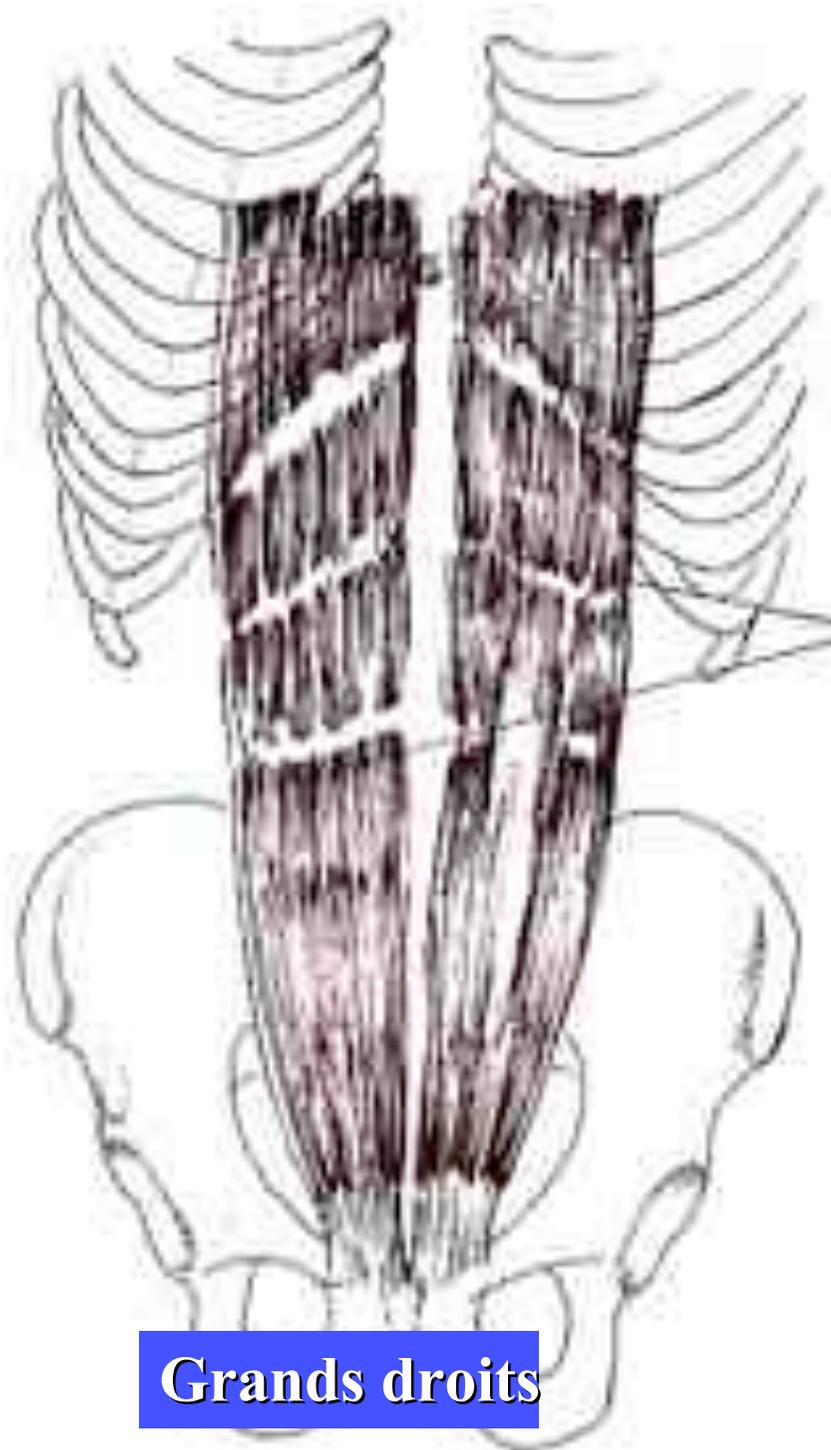
= 10° si inflexion complète



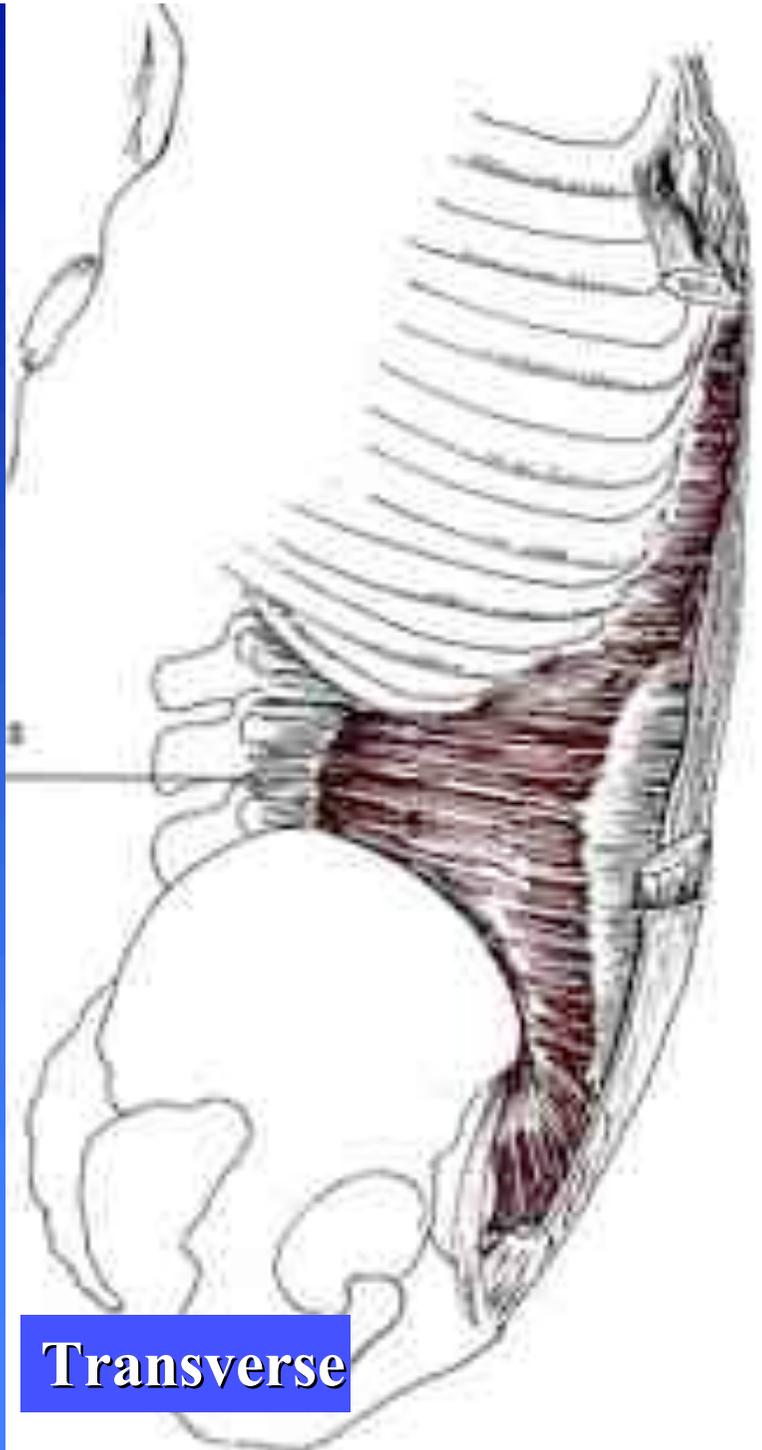
MUSCLES MOTEURS

1- muscles de la flexion:

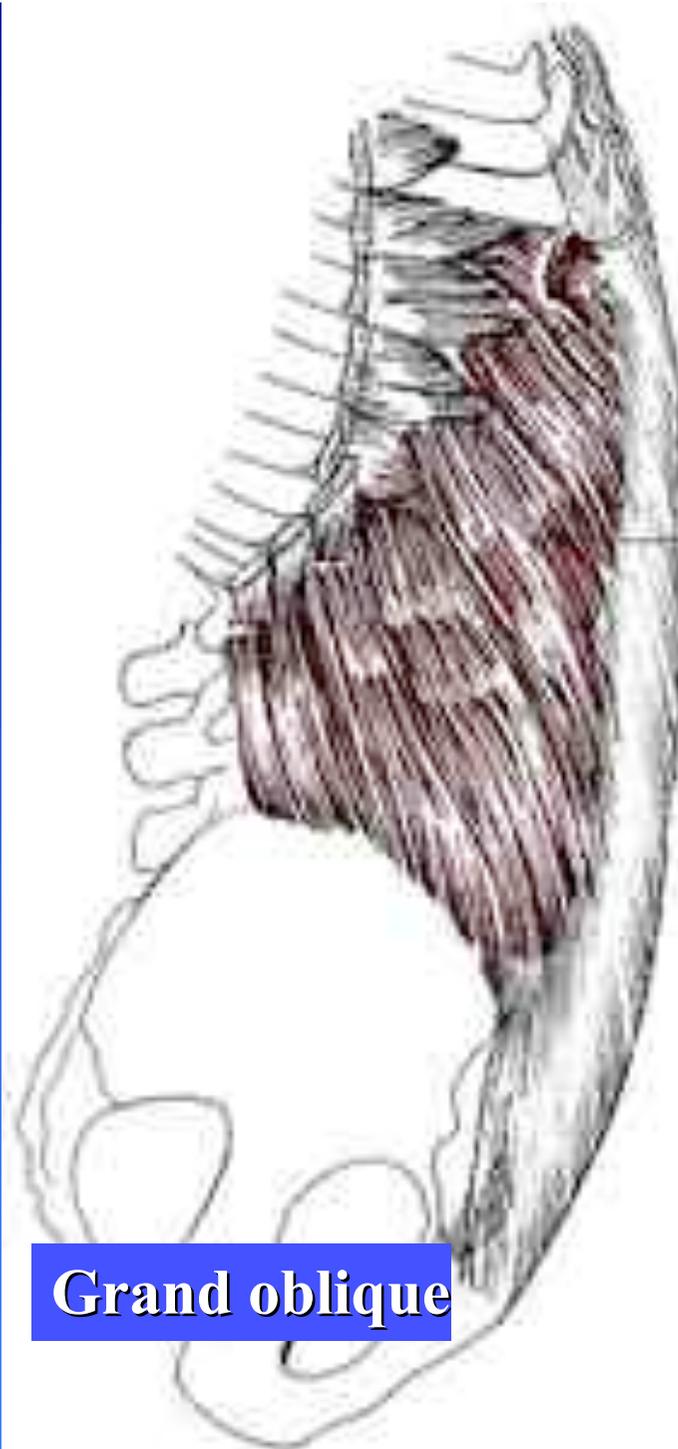
- sangle abdominale
 - * grands droits
 - * grand oblique
 - * petit oblique
 - * transverse
- psoas (iliaque)



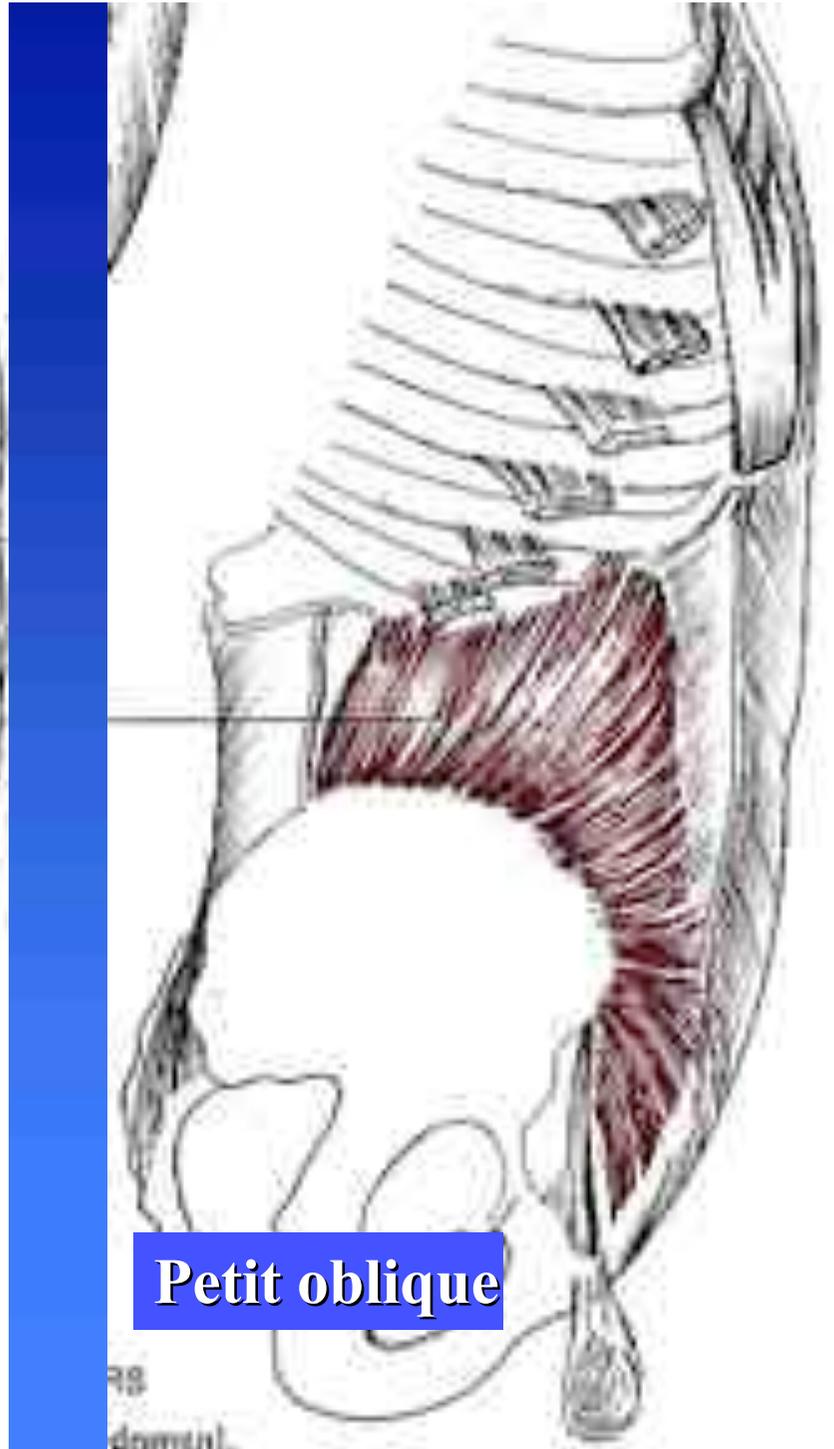
Grands droits



Transverse



Grand oblique



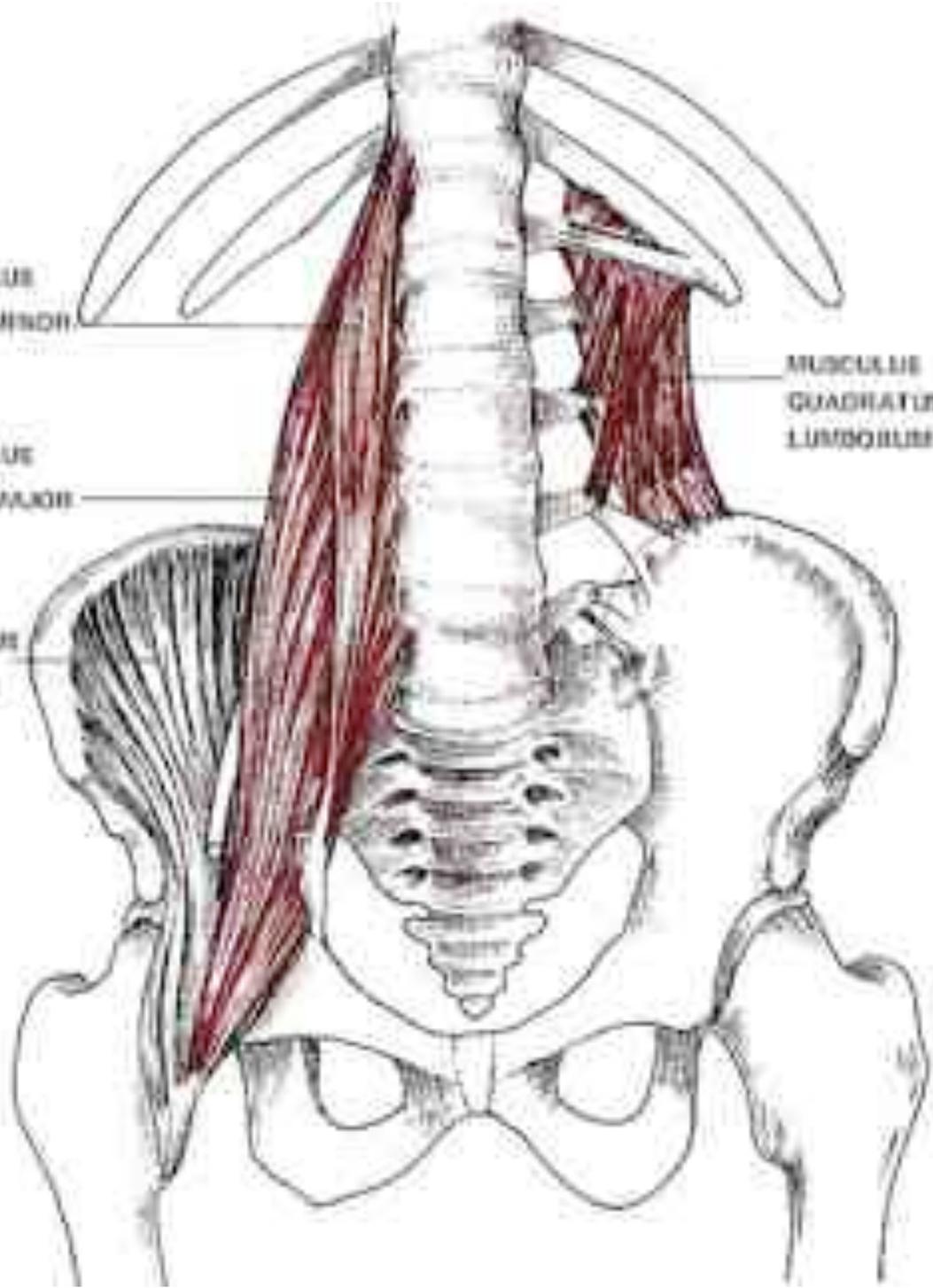
Petit oblique

MUSCULUS
PESAS MINOR

MUSCULUS
PESAS MAJOR

MUSCULUS
ILIAEUS

MUSCULUS
QUADRATUS
LUMBORUM



MUSCLES MOTEURS

2- muscles de l'extension

- plan profond des muscles spinaux

- muscles intertransversaires
- muscles interépineux
- muscles transversaires épineux
- muscle long dorsal
- muscle ilio-costal lombaire
- fascia thoraco-lombaire

- plan moyen: petit dentelé post et inf

- plan superficiel: muscle grand dorsal

Intertransversaires dorsaux

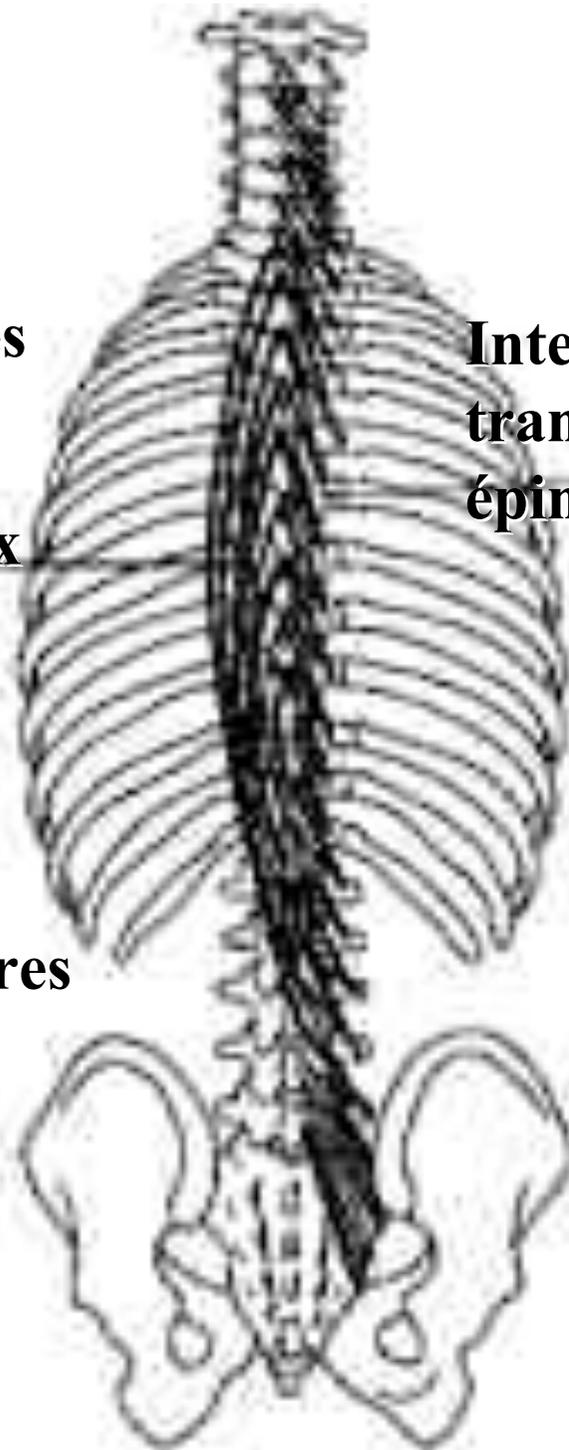
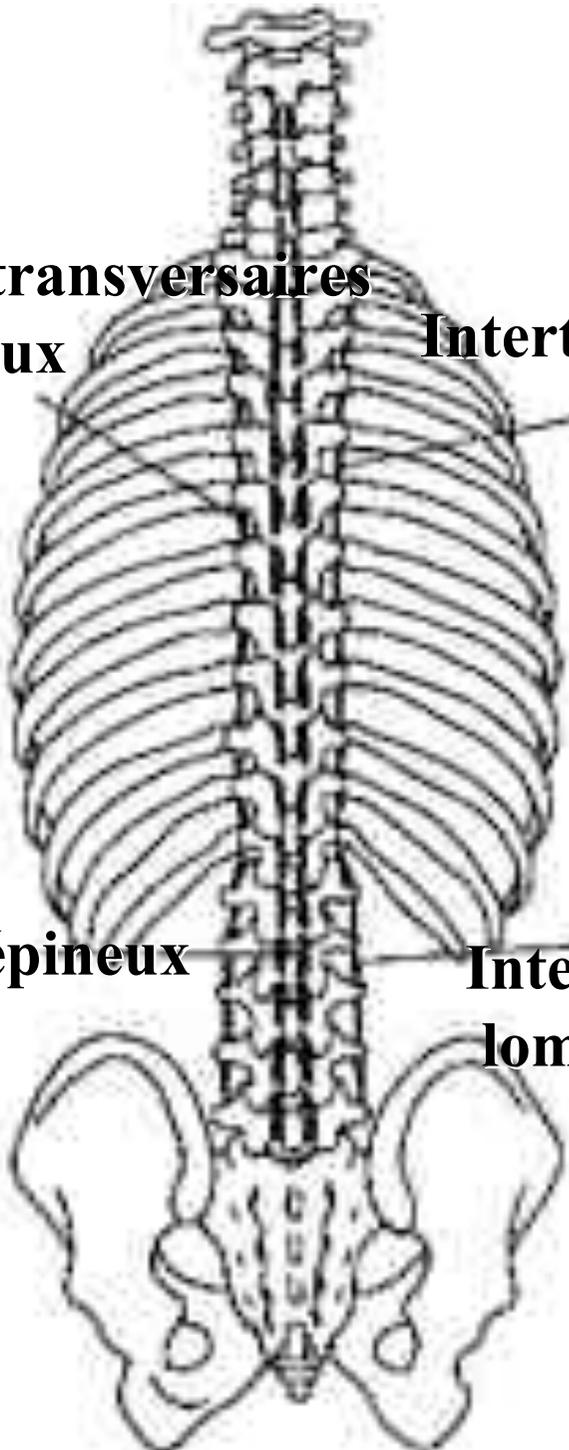
Intertransversaires dorsaux

Épi-épineux

Intertransversaire épineux

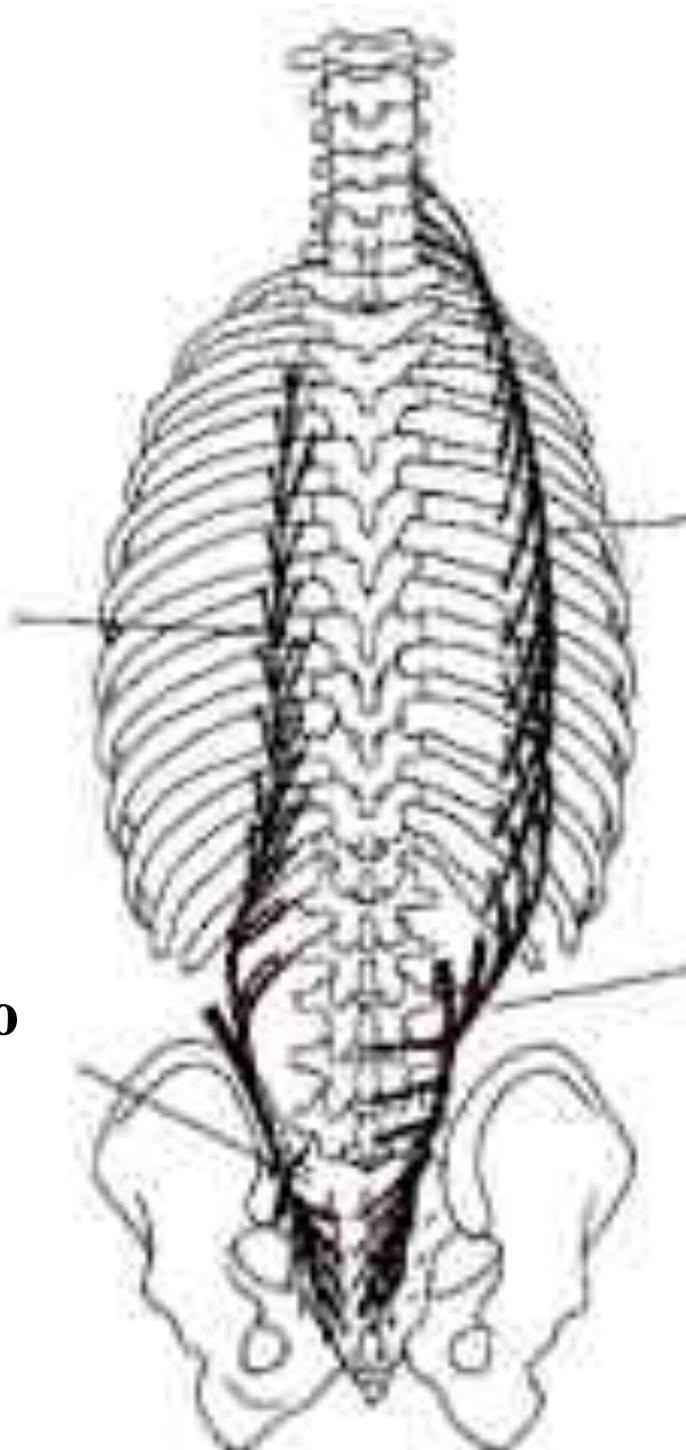
interépineux

Intertransversaires lombaires



Long dorsal

**Fascia thoraco
lombaire**



Iliocostal dorsal

Iliocostal lombaire

**Ilio-costal
cervical**

**Ilio-costal
dorsal**

**Ilio-costal
lombaire**

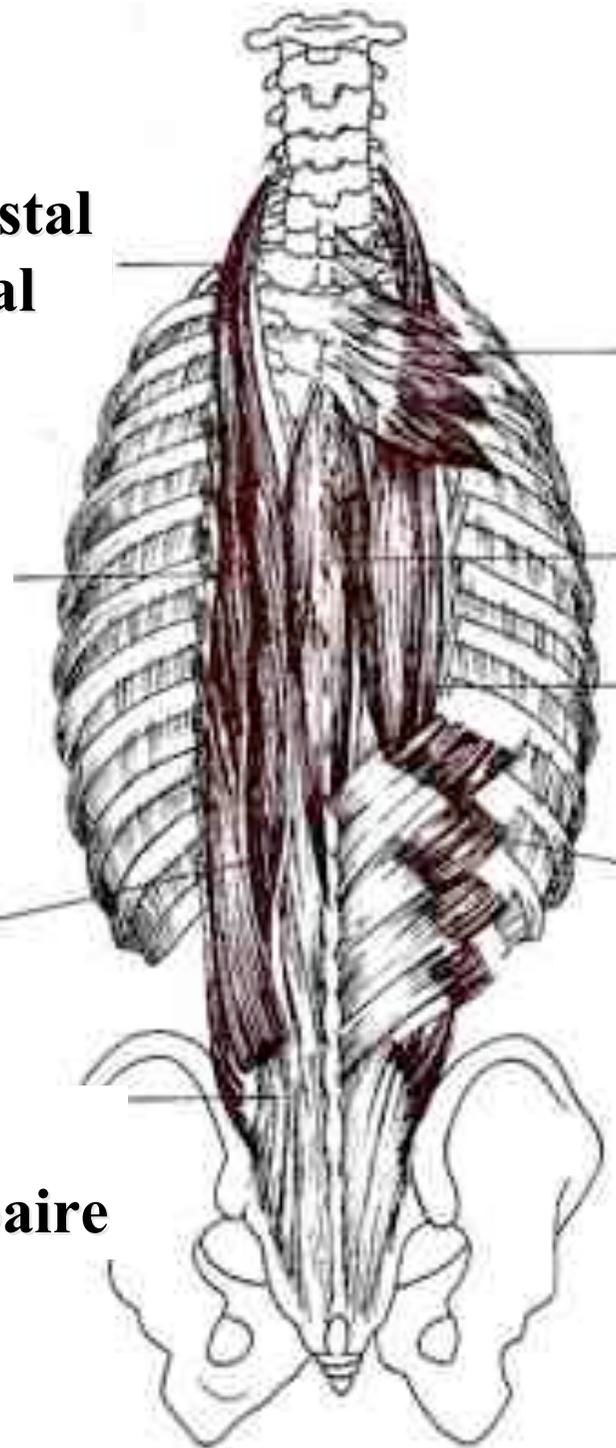
**Fascia
thoraco-lombaire**

**Petit dentelé
supérieur**

Épi-épineux

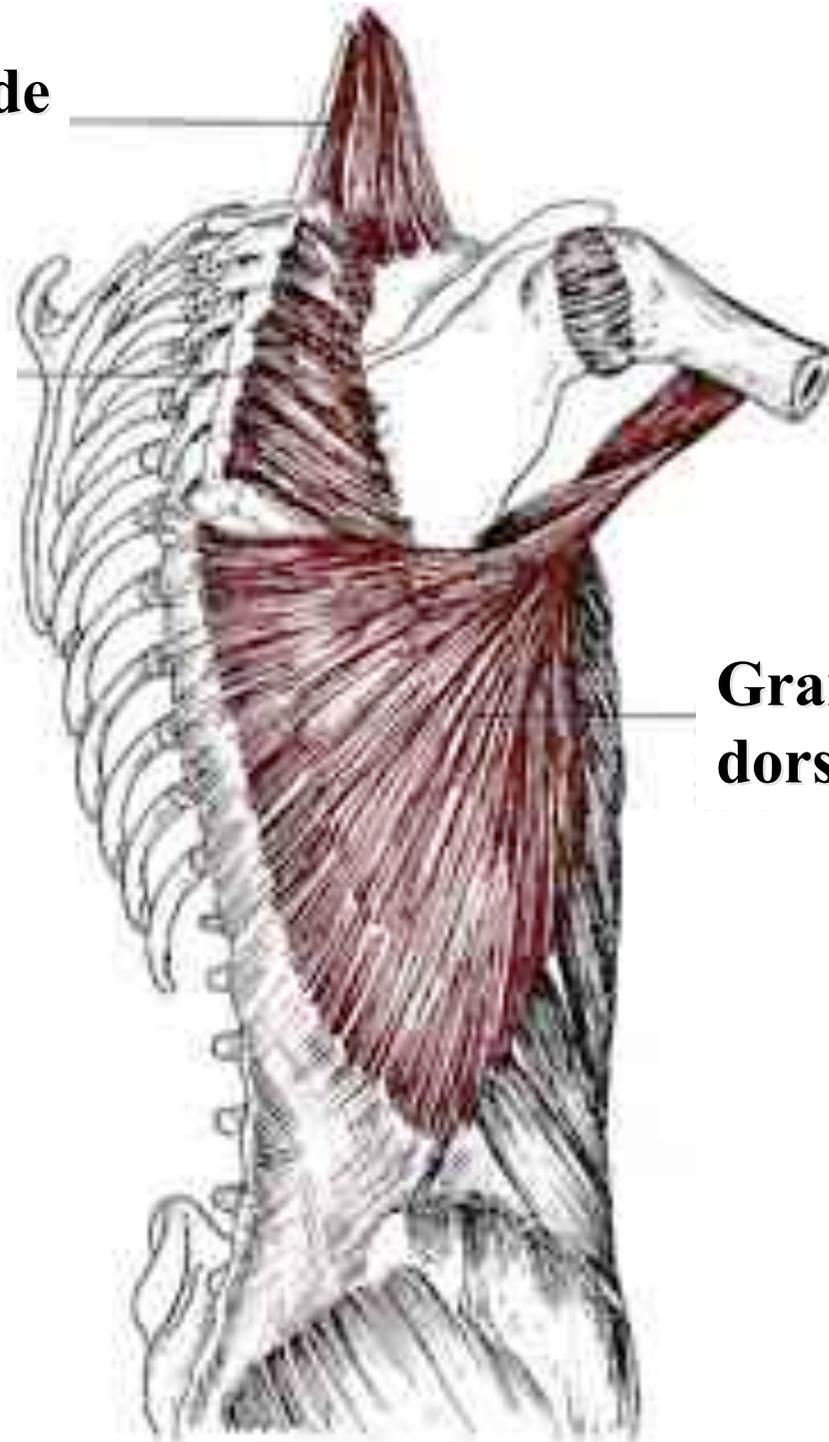
Long dorsal

**Petit dentelé
inférieur**



**Angulaire de
l'omoplate**

rhomboïde



**Grand
dorsal**

MUSCLES MOTEURS

3- muscles de l'inflexion

idem que ceux de la flexion-extension

- contraction unilatérale, dans la concavité
- frein activo-passif dans convexité

- mais aussi le carré des lombes

MUSCLES MOTEURS

3- muscles rotateurs

- muscles de l'inflexion
- petit dentelé
- les obliques
- psoas iliaque
- transversaires épineux

CONTRAINTES MECANIKES

La colonne doit résister à des forces:

- de compression**
- de cisaillement**
- de tension**
- d'inclinaison et rotation**

Pour résister à cela, elle possède une stabilité intrinsèque et extrinsèque

CONTRAINTES MECANIQUES

1- stabilité intrinsèque disco-ligamentaire

- tension permanente des ligaments
- pression permanente dans le disque
- si un sujet de 50 kg se penche en avant,

la pression sur disque L4-L5 est de 16 kg/cm²

En soulevant 10kg, elle est de 144kg/cm²

soit 1000kg !

Aucune structure ne peut résister à cela sauf si
stabilité extrinsèque



REPARTITION DES PRESSIONS EN
 FONCTION DE L'OBLIQUITE DES
 DISQUES (d'après STAGNARA)

La pression augmente avec l'inclinaison

CONTRAINTES MECANIQUES

2- stabilité extrinsèque:

- obliquité des CV protège la partie antérieure
- muscles spinaux
- rigidification des cavités par la contraction

des muscles antéro-latéraux

Ces éléments permettent de diminuer de 30 à 50%
les pressions sur les disques

CONTRAINTES MECANIKUES

Retenir globalement que:

- debout pression sur disque est de 100% du P
- assis: 130%
- assis penchée en avant: 150%
- couché: 50 à 70%
- debout penché en avant 200%

CONTRAINTES MECANIQUES

Les expérimentations biomécaniques ont montré:

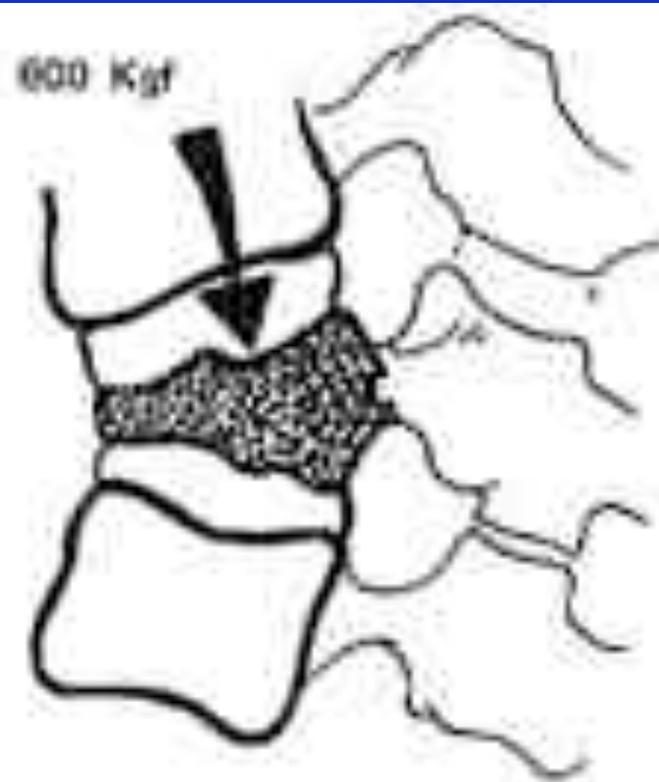
- **Les luxations** sont dues aux contraintes de rotation
- **Les traumatismes en hyperextension** casse en 1er l'arc postérieur (LVC ant très résistant)
- **Les traumatismes en flexion ou inflexion** lèsent toujours en 1er le corps vertébral
- **Les traumatismes en compression** entraîne en premier lieu un tassement vertébral antérieur de manière plus fréquente en D8 à D12, L1 et L5 pour des forces de 500 kg environ (250 au-delà de 65ans)



Figure 88



TASSEMENT
ANTERIEUR



FRACTURE DU MUR
POSTERIEUR

BIOMECHANIQUE DU RACHIS DORSAL

1- RAPPELS ANATOMIQUES

2- MOUVEMENTS de la colonne thoracique

3- MUSCLES MOTEURS

RAPPELS ANATOMIQUES

La colonne thoracique a un double rôle:

- **Transmission des forces le long du rachis**
- **Segment rigide et stable où prend appui les éléments de la cage thoracique assurant la mécanique respiratoire.**

Les vertèbres ont une double articulation:

- 1- articulations intervertébrales**
- 2- articulations costo-vertébrales**

RAPPELS ANATOMIQUES

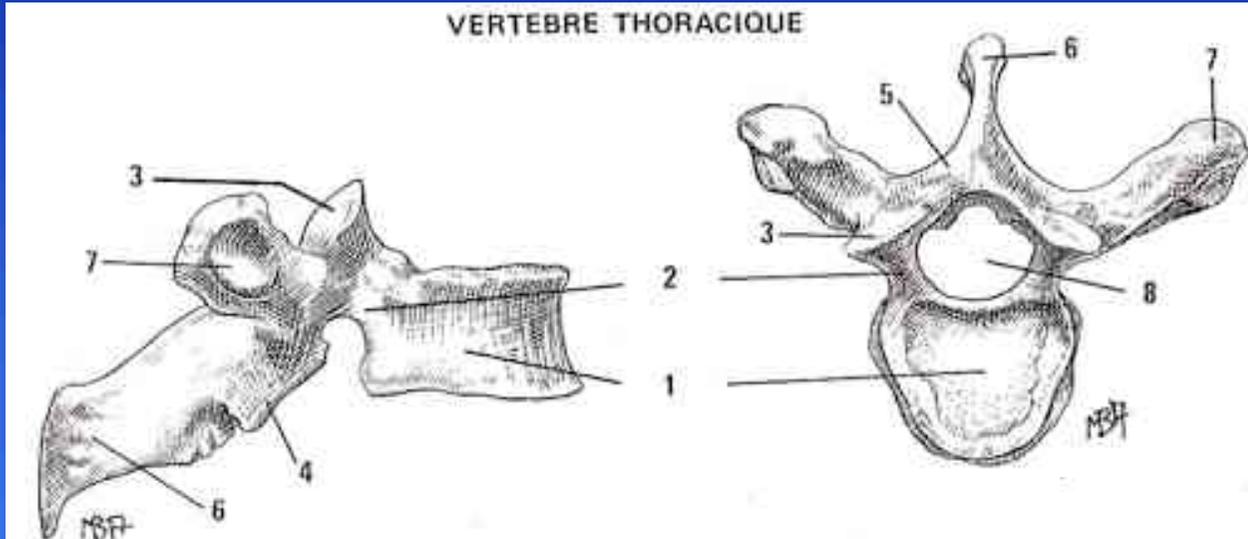
1- articulations intervertébrales

- Identiques aux intervertébrales lombaires mais avec un disque moins épais mais des moyens d'union sont identiques.
- Au niveau inter-apophysaire postérieur, seul la disposition frontale des articulaires changent.
- les lames se recouvrent en tuile
- D12 a un aspect transitionnel avec des apophyses articulaires supérieures frontales alors que les inférieures sont sagittales.

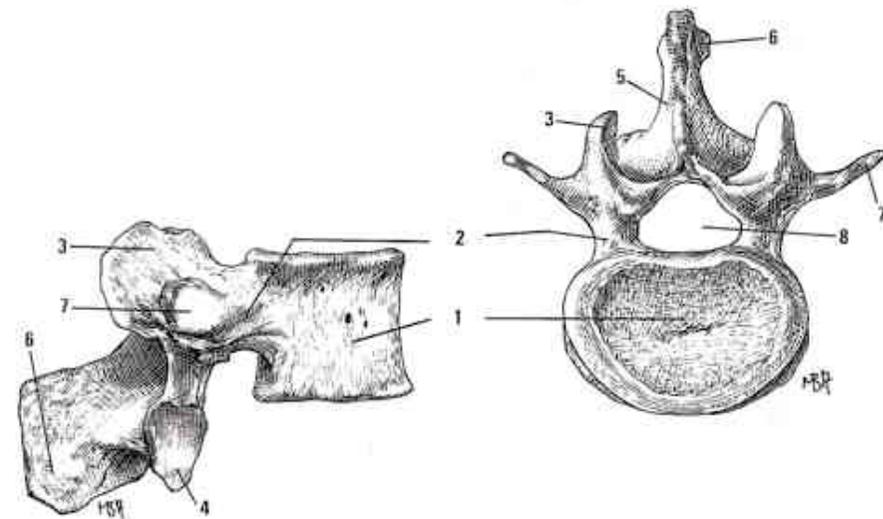
RAPPELS ANATOMIQUES

1- articulations intervertébrales

VERTEBRE THORACIQUE



VERTEBRE LOMBAIRE



VUE DE PROFIL

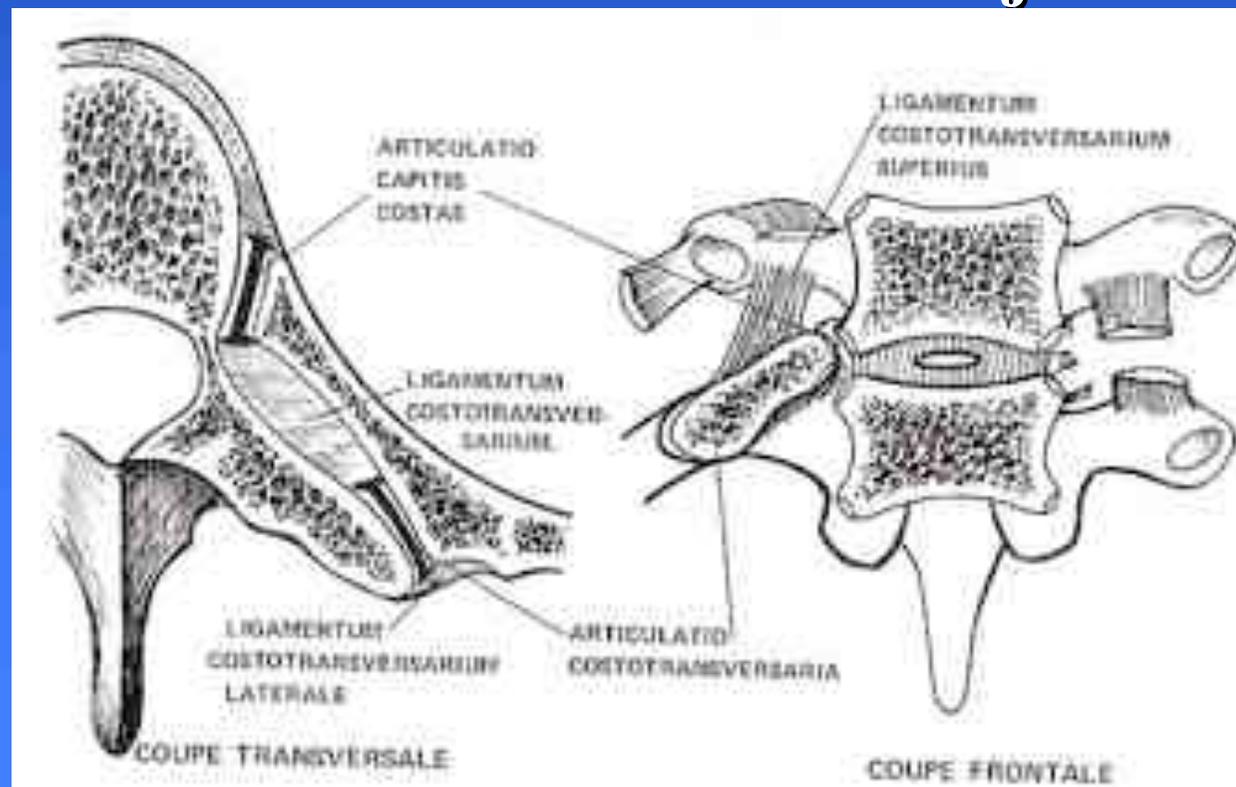
VUE SUPERIEURE

RAPPELS ANATOMIQUES

2- articulations costo-vertébrales

Chaque paire de côte s'articule avec:

- les corps vertébraux de 2 vertèbres adjacentes
- la transverse de la vertèbre sous-jacente



RAPPELS ANATOMIQUES

2- articulations costo-vertébrales

- la costo vertébrale est une arthrodie avec:
 - des facettes articulaires
 - un disque
 - une capsule et des ligaments dont:
 - le ligament interosseux qui sépare les 2 facettes articulaires de la tête costale

RAPPELS ANATOMIQUES

2- articulations costo-vertébrales

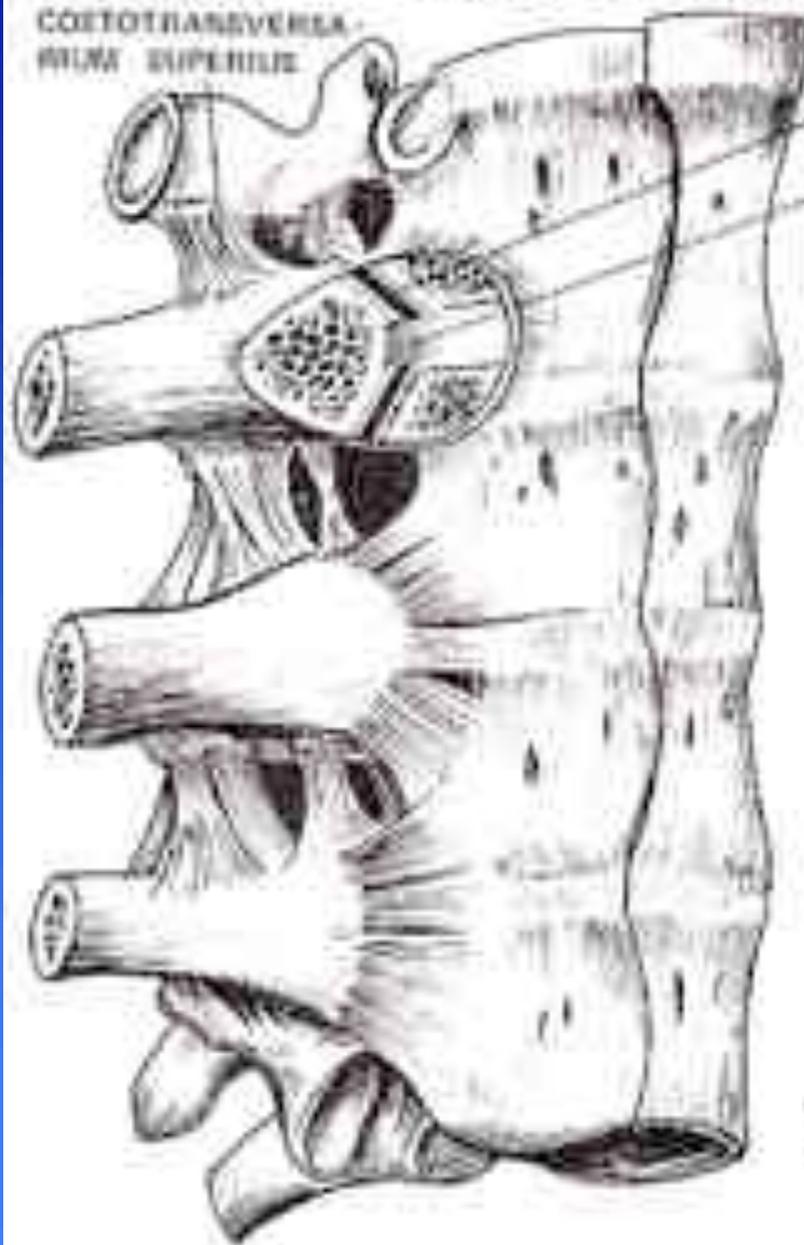
- la costo transversaire entre la facette de la tubérosité costale des 10 premières côtes et les apophyses transverses de K2 à K11 renforcée par 4 ligaments: interosseux, inter costo-transversaire supérieur, postérieur et le ligament costo-lamellaire

LIGAMENTUM
COSTOTRANSVEREA-
RIUM SUPERIUS

FIGURE 89. ARTICULATIONS COSTO-VERTEBRALES

ARTICULATIO CAPITIS COSTAE

LIGAMENTUM CAPITIS COSTAE INTRA ARTICULARE



LIGAMENT
COSTO LAMELLARE
DE TROLARD

LIGAMENTUM
COSTOTRANSVER-
SARIUM LATERALE

VUE ANTERO - LATERALE DROITE

VUE POSTERIEURE

MOUVEMENTS

- 1- flexion: 30° extension: 40°
- 2- inflexion latérale: 30°
- 3- rotation axiale: 30°

Les mouvements modifient la cage thoracique:

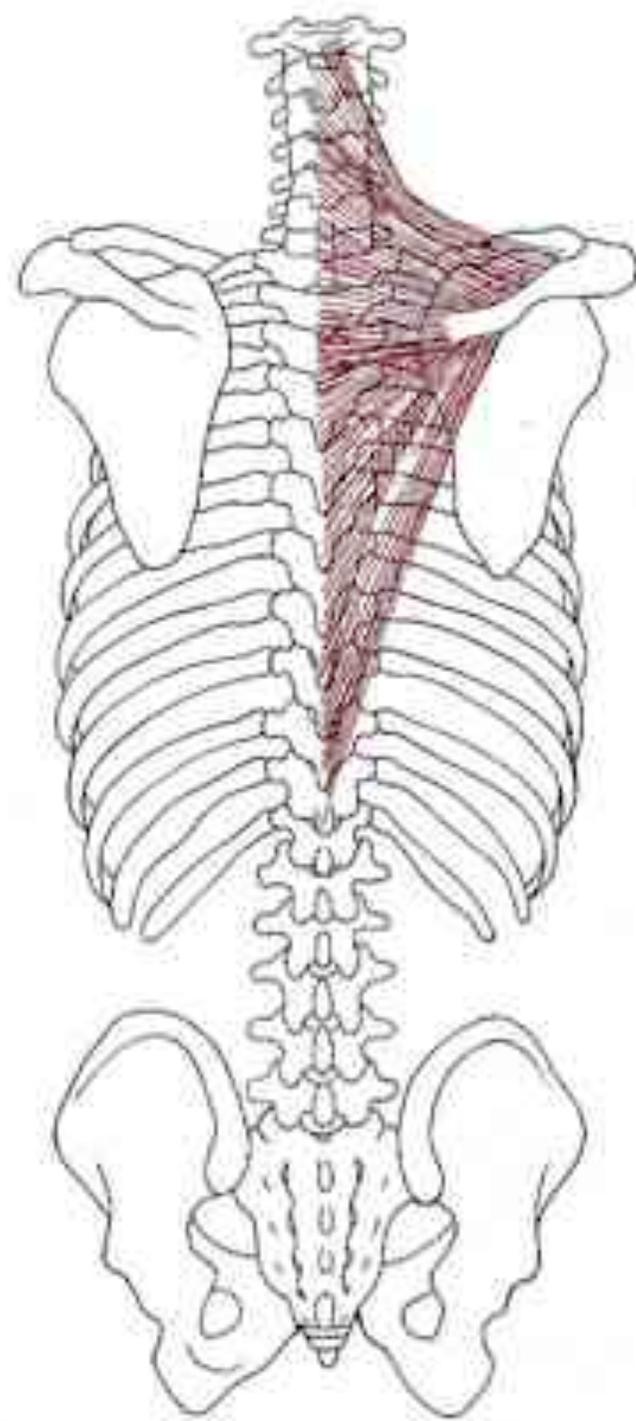
- pincement du côté de l'inflexion
- déformation costale en rotation axiale

MUSCLES MOTEURS

1- muscles postérieurs avec les 3 plans du niveau lombaire

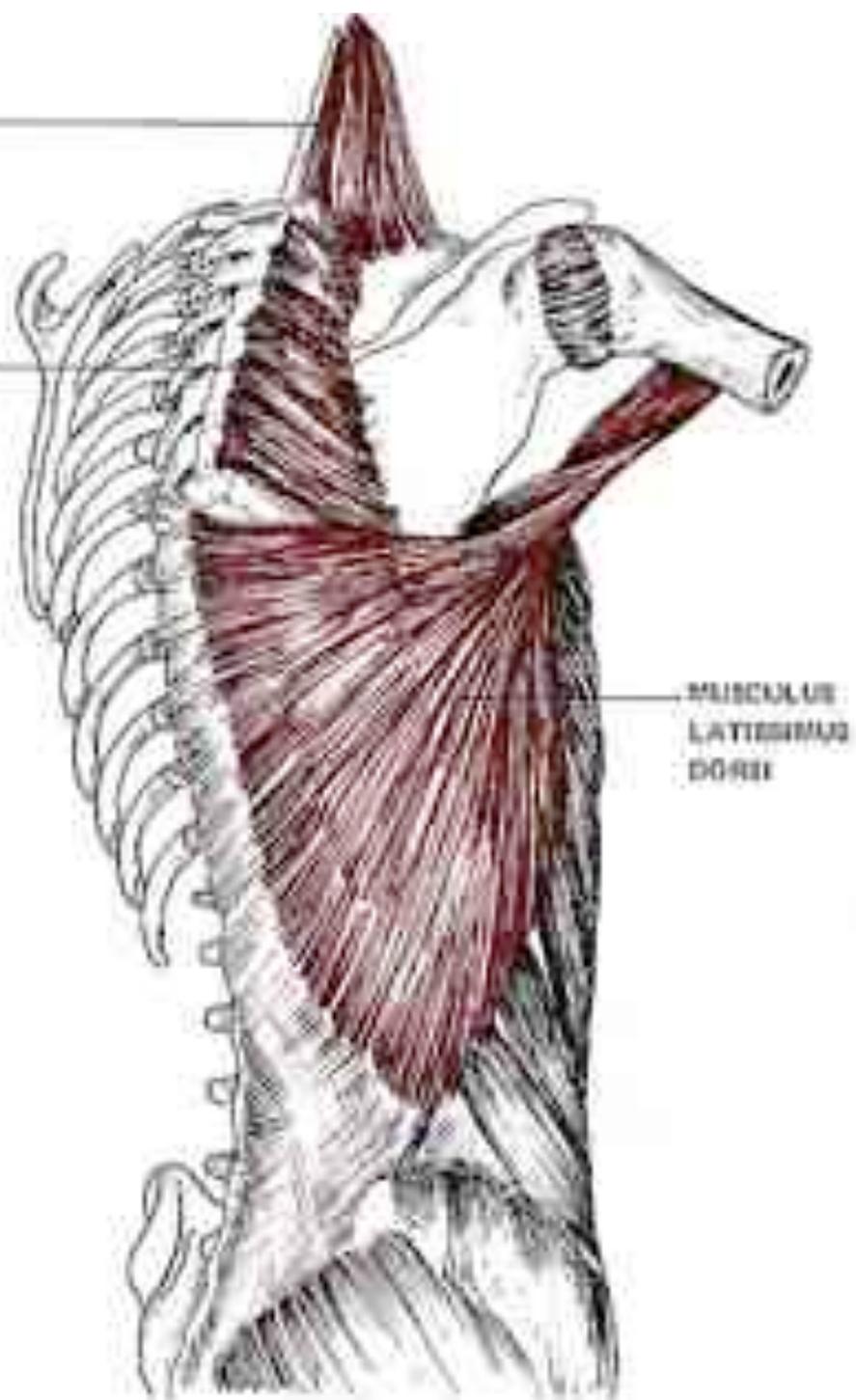
2- autres muscles:

- rhomboïde
- angulaire de l'omoplate
- petit dentelé postéro-supérieur
- trapèze
- diaphragme et intercostaux
- pectoraux



MUSCULUS
LEVATOR
SCAPULAE

MUSCULUS
RHIZOIDEUS



MUSCULUS
LATISSIMUS
DORSI

