

Biomécanique de l'épaule, physiopathologie

JC Jouanin (MD, PhD)

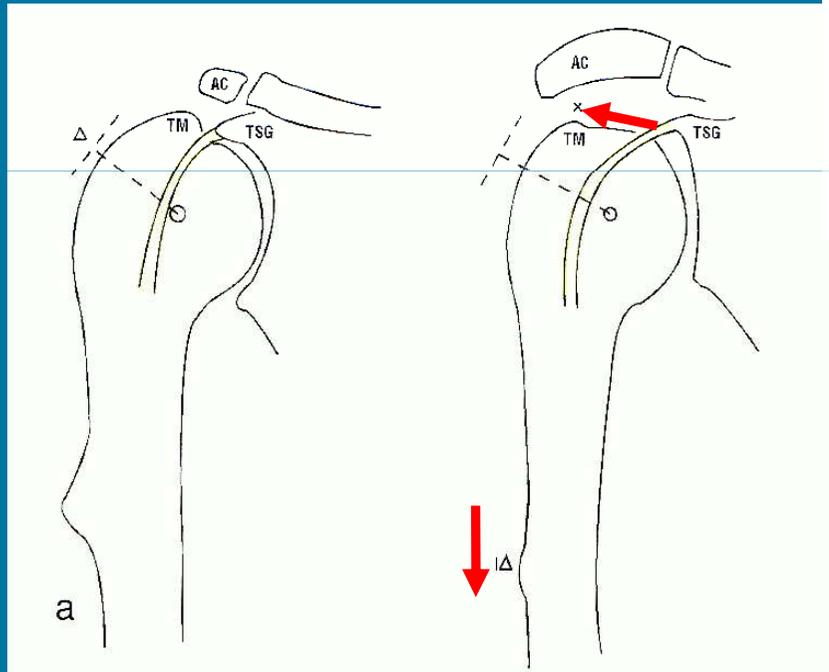
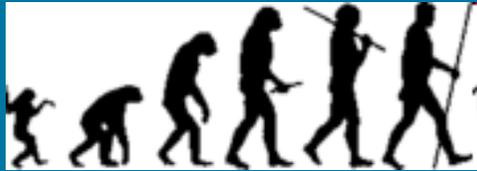
[jcyjouanin@gmail.com](mailto:jcjouanin@gmail.com)

antony-centre-epaule@gsante.fr

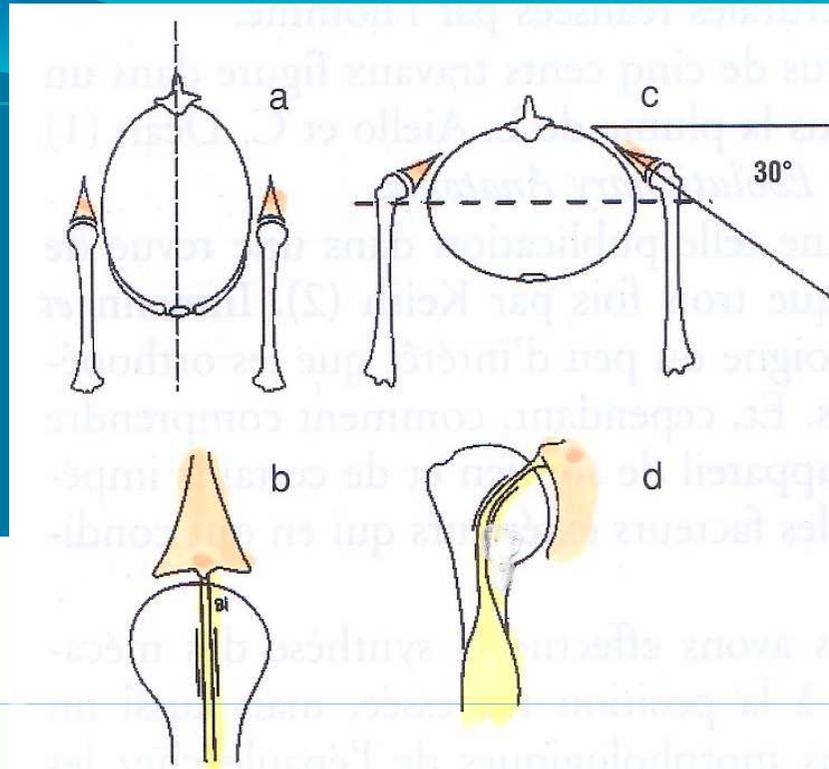


Monaco 2010

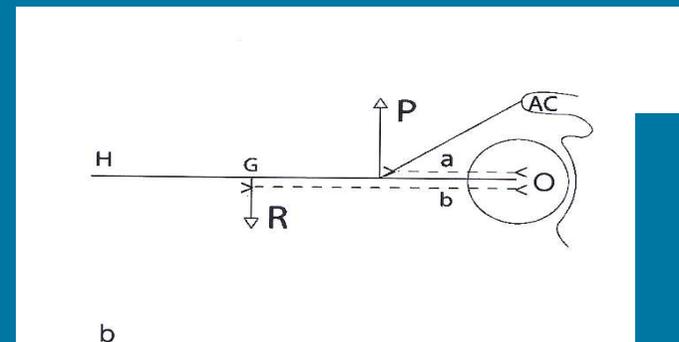
Évolution



Abaissement de l'insertion du deltoïde, recul du tubercule majeur, augmentation de l'acromion, abrasement du tubercule supraglénoidal



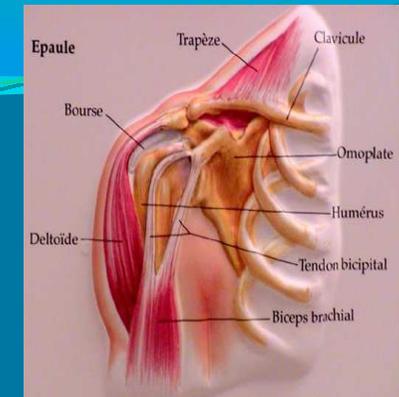
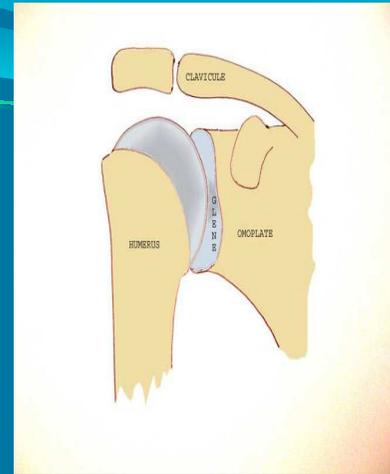
Migration rétro-thoracique de la scapula, d'où retorsion de la TH



*Biomécanique de l'épaule, de la théorie à la clinique
P Blaimont et A Taheri; Springer-Verlag Eds, 2006, 139p*

5 articulations

Articulation suspendue



- 3 Vraies :

- Scapulo-Humérale (SH) (gléno-humérale)

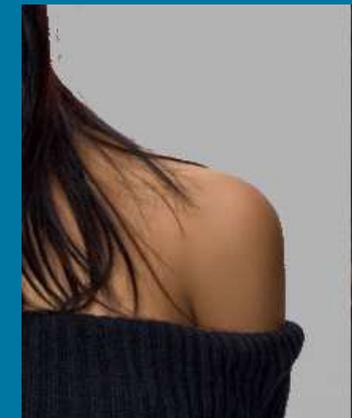
- Sterno-Claviculaire (SC)

- Acromio-Claviculaire (AC)

- 2 Fausses :

- Scapulo-Thoracique

- Sous-Deltoïdienne (espace de glissement sous-acromial)



19 muscles

Coiffe des Rotateurs :

Supra Epineux
Sub Scapulaire
Infra Epineux
Petit Rond
Biceps

Groupe Ventral :

Ss Clavier
Petit Rond
Grd Pect

Groupe Dorsal

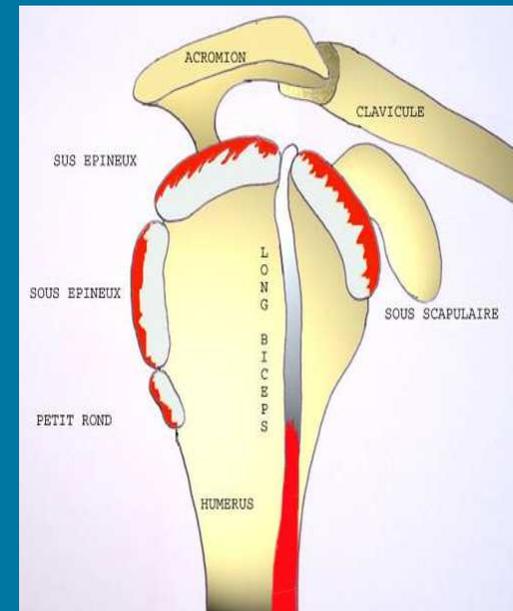
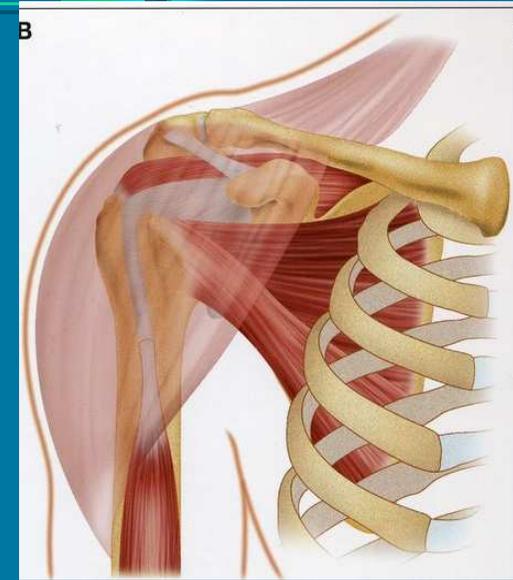
Supra Epineux
Infra Epineux
Petit Rond
Grd Rond
Grd Dorsal

Groupe Médial

Rhomboïde
Angulaire
Trapèze
Dentelé Ant

Groupe Latéral

Deltoïde
Coraco Brachial



Biomécanique de l'épaule

3 fonctions



- Fonction de Préhension :
 - La précision de la prise d'objets est svt confrontée au PB de surcharge pondérale en distalité:
 - **D'où la nécessité de structures très développées qui stabilisent en proximal (Stabilité SH)**
- Fonction de Mobilité (Exp: Lancer); **(Mouvements de la SH)**
- Fonction de support
 - Lors d'un mouvement global toutes les articulations fonctionnent de façon progressive et simultanée. Le programme fonctionnel de l'épaule fait appel à un compromis mécanique entre la mobilité et la stabilité.

Le cahier des charges biomécaniques *(d'après T Marc)*

- Force de compression :
10 fois le poids du corps
- Force de translation sup :
40% du poids du corps
- Force de distraction :
100% du poids du corps



Le cahier des charges biomécaniques: les mouvements

- Vitesse de rotation : **2700°/s**
- Amplitude de flexion/extension : **250°**
- Amplitude de rotation : **200°**

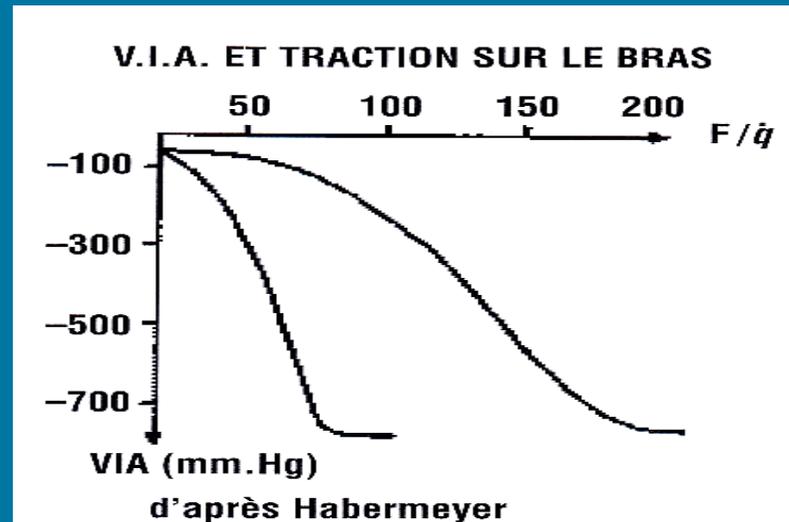
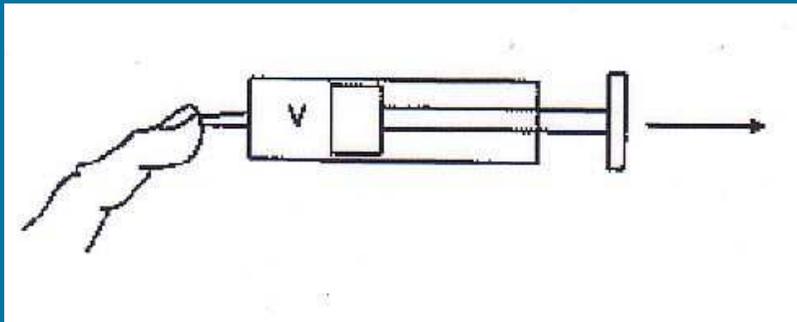
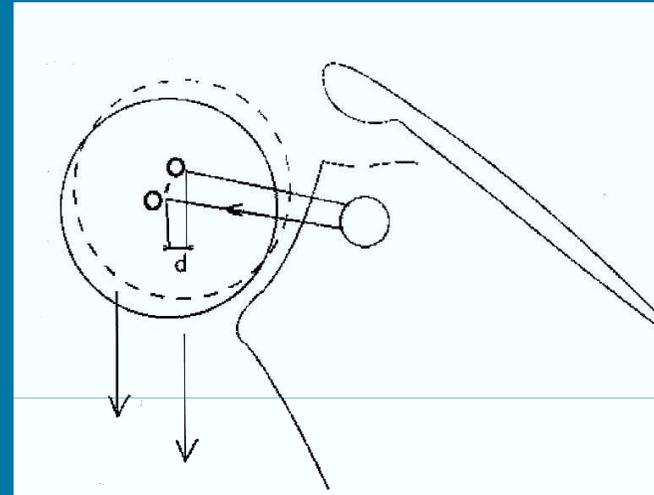


Stabilité Scapulo-Humérale: Vide Intra-Articulaire (VIA)

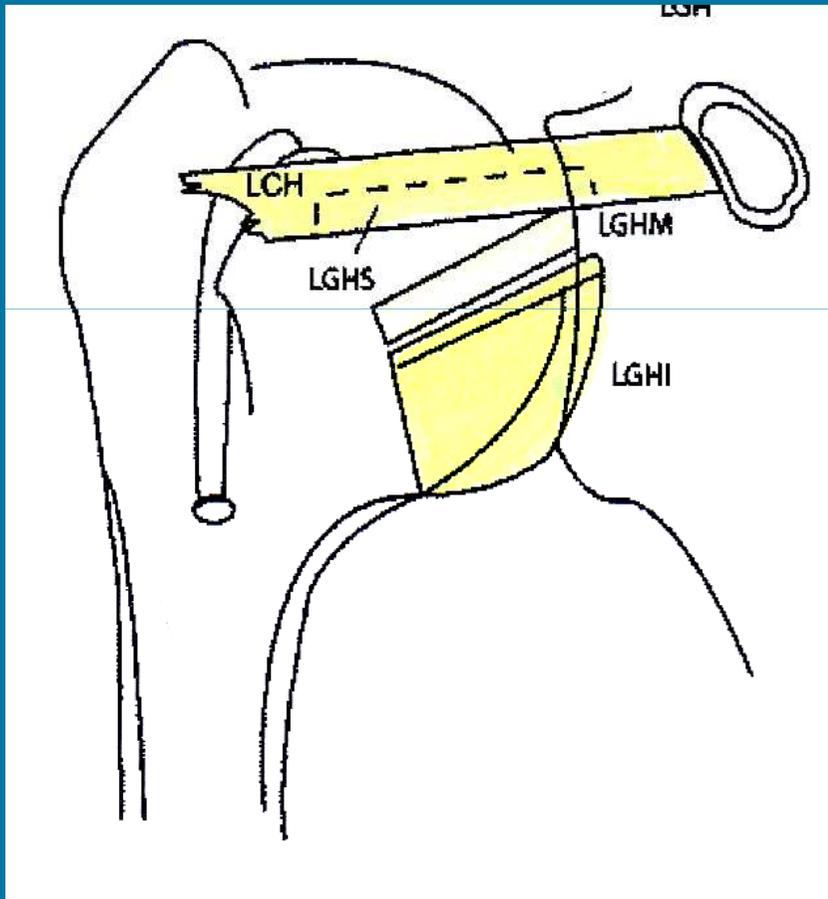


Obliquité de la
cavité glénoïde

$d = 10 \text{ mm}$ si ABD



Stabilité Scapulo-humérale (capsulaire: verrou fibreux)



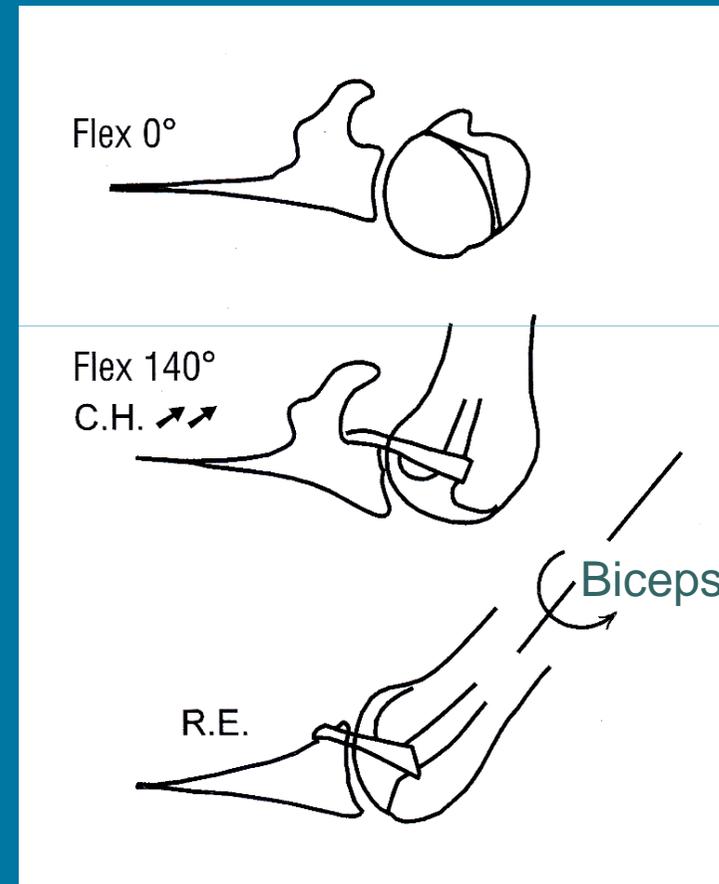
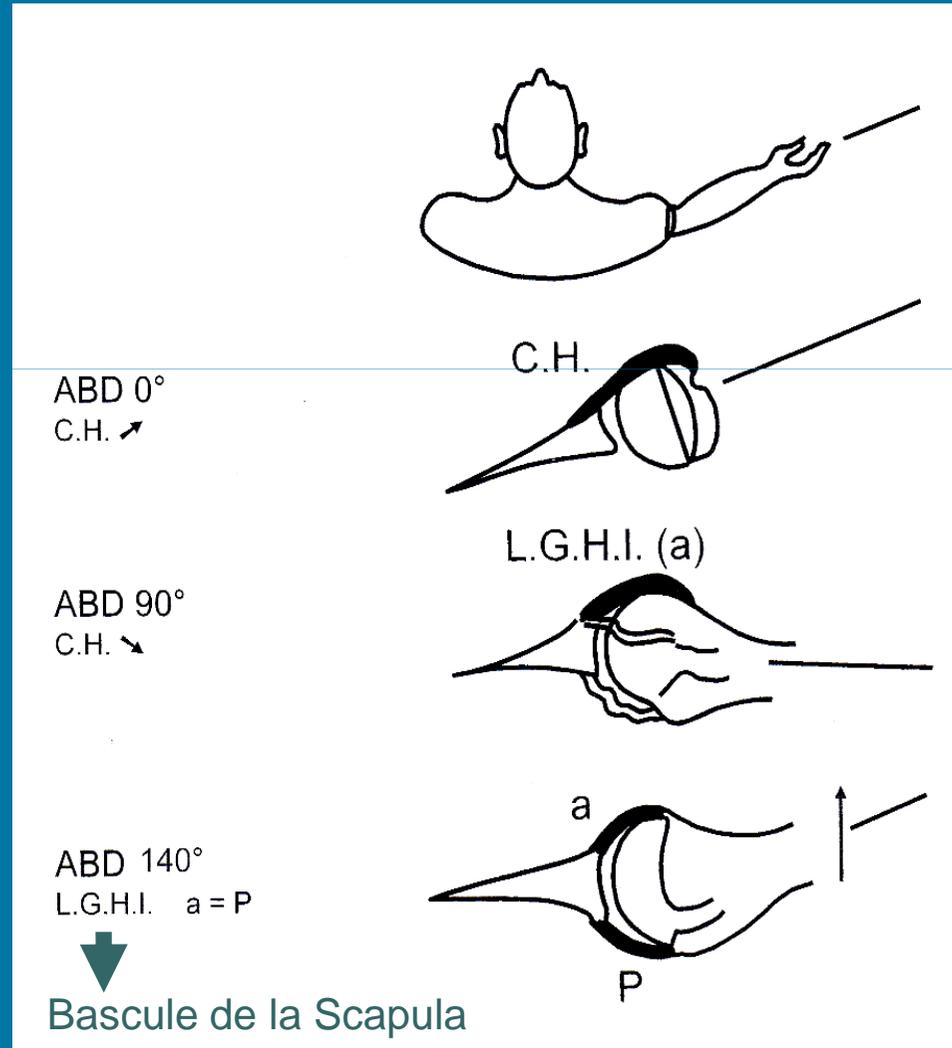
Ligament Coraco-Huméral (LCH)
Lig Gléno-Huméral Sup (LGHS)
Lig Gléno-Huméral Moyen (LGHM)
Lig Gléno-Huméral Inf (LGHI)

0-40° ABD:

**TH stabilisée par le labrum et le
deltoïde et dans une moindre
mesure la glénoïde**

(Billuart F et al Surg Radiol Anat 2008, 30:563-568)

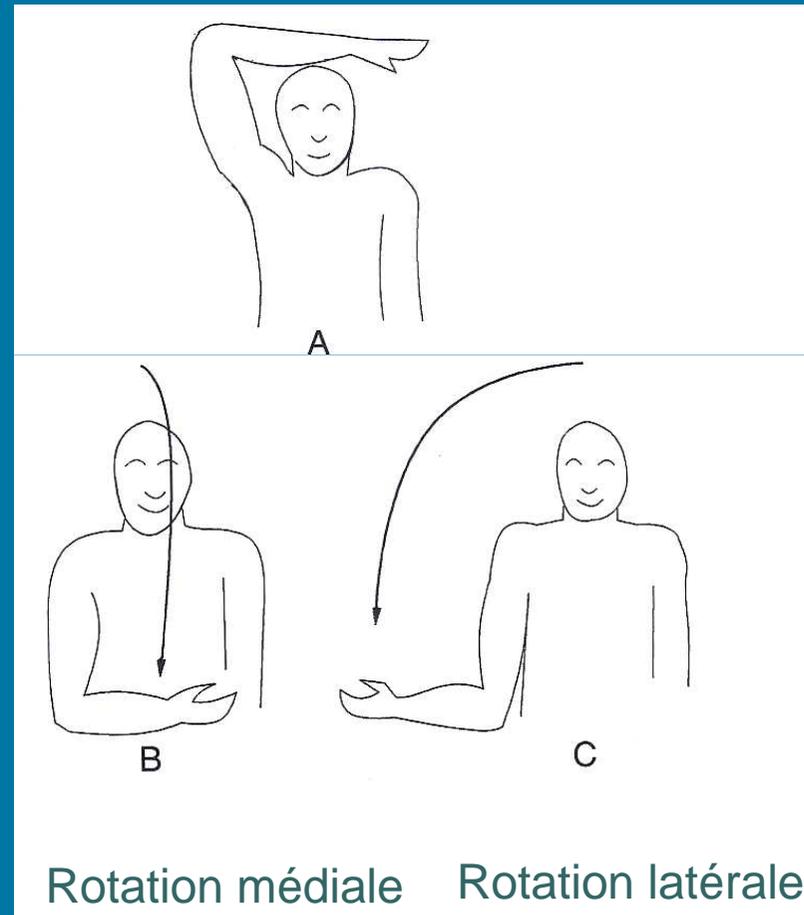
Ligament Coraco-Huméral (CH)



Biomécanique de l'épaule, de la théorie à la clinique
P Blaimont et A Taheri; Springer-Verlag Eds, 2006, 139p

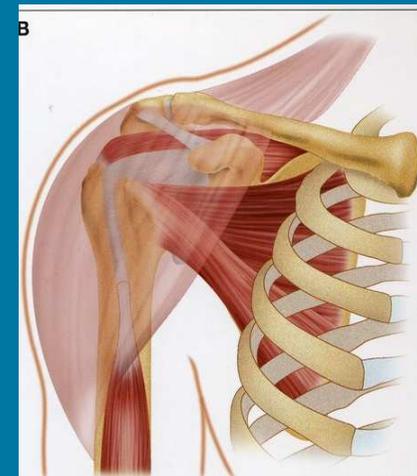
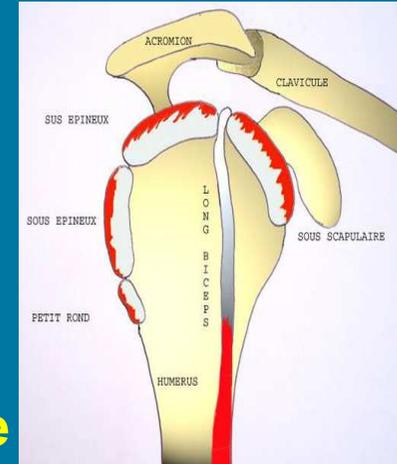
Paradoxe de CODMAN (1934)

- bras le lg du corps, pouce en AV
- flexion à 180°
- écartement en ABD
- retour au corps : RE automatique
- Rôle des Ligaments CH et LGHI



Stabilité Scapulo-Humérale (Musculaire)

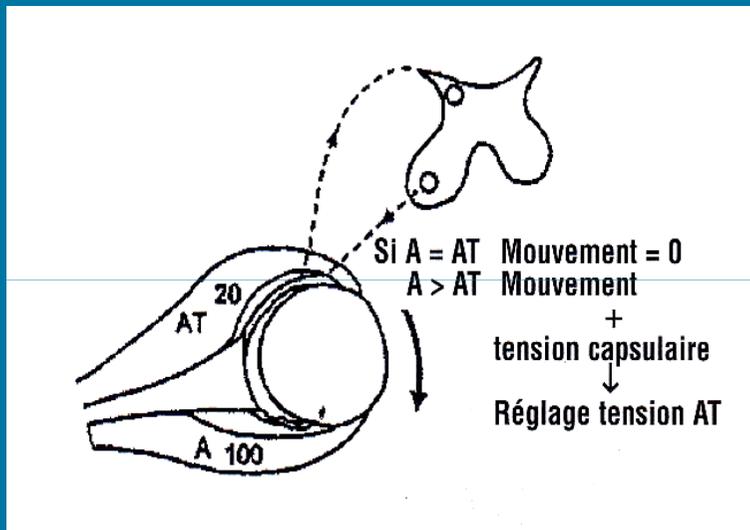
- **2 groupes musculaires mis en jeu:**
 - **Coaptateurs: Coiffe des rotateurs qui s'oppose aux forces ascensionnelles de TH due aux muscles générateurs de mvt**
 - **Générateurs de Mvt (forces de translation): Longue portion du triceps, courte portion du biceps, coraco-brachial, deltoïde et grand pectoral**



Stabilité Scapulo-Humérale (Musculaire)

A: Agoniste

AT: Antagoniste

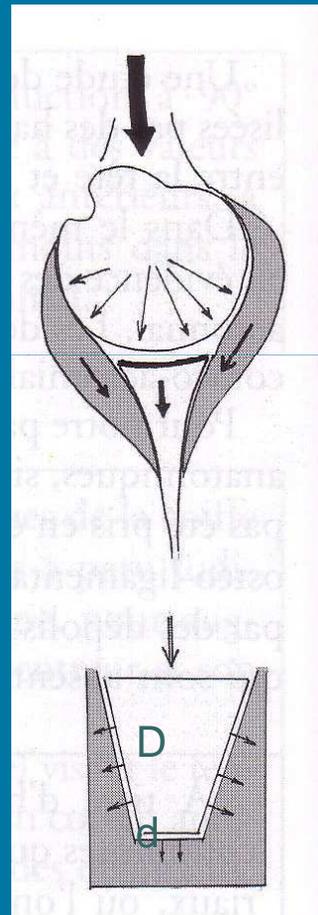


ABD:

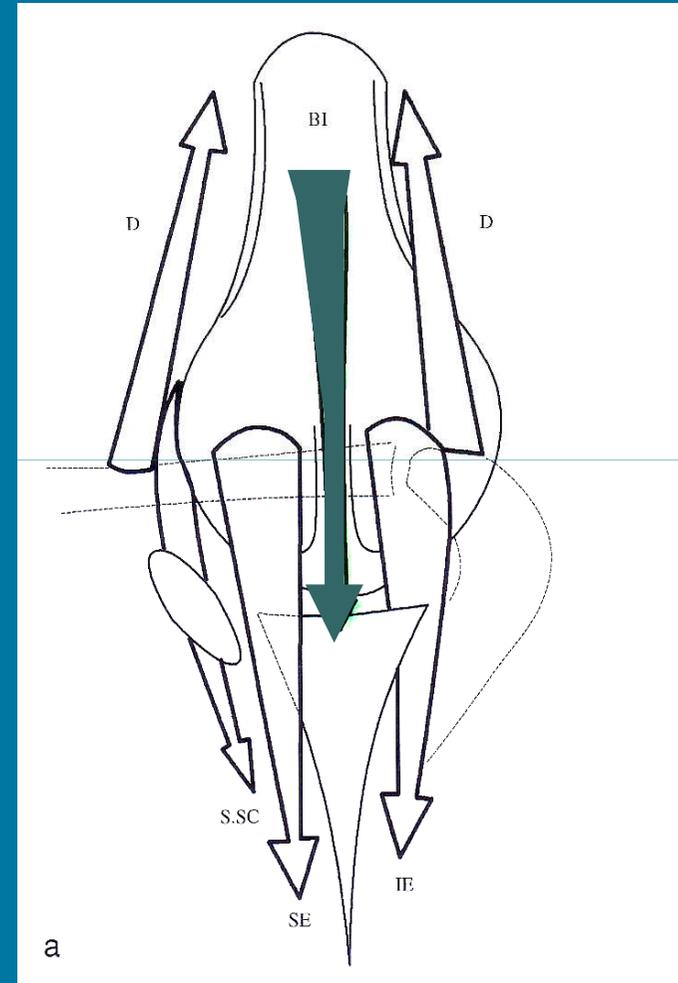
Delto moy: 434 N, Delto ant: 323 N

Sub-scap: 285 N, Infra Ep: 205 N

Supra Ep: 117N



D/d=2

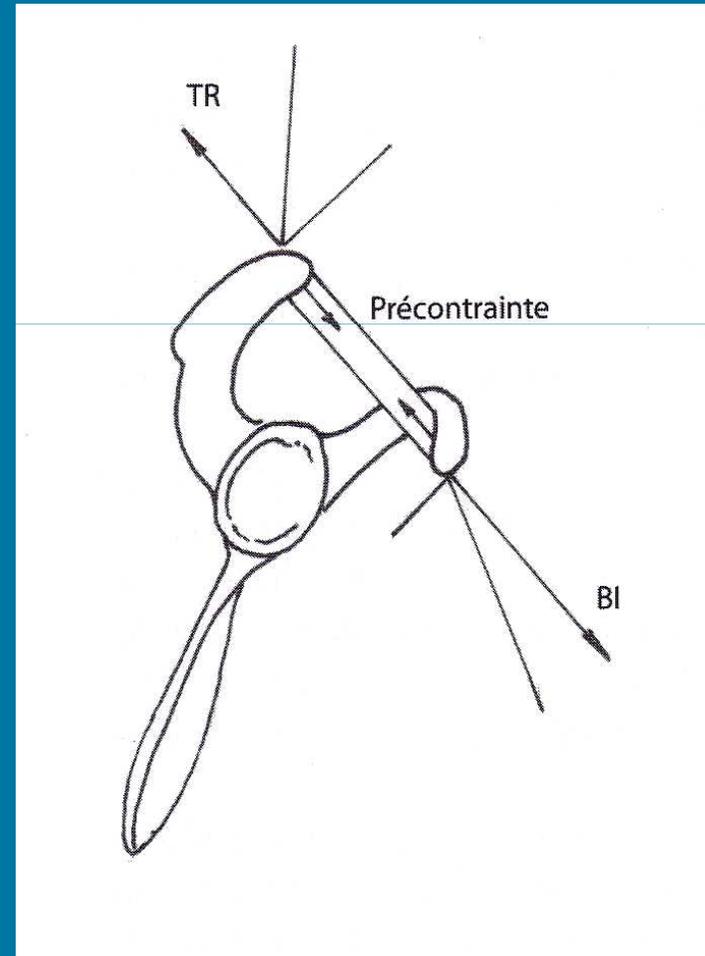


Position de stabilité de Saha
 Dite position « zéro » à 160° d'ABD

(Escamilla B et al . Sports Med. 2009, 39:683-685)

Rôle du Ligament Coraco-Acromial

- Favorise le glissement du supra-épineux
- Stabilisateur de l'arc osseux Coraco-acromial vis-à-vis des efforts musculaires divergents qui tendent à augmenter le rayon de courbure
- Précontrainte: 8,9 N à 38 N à 90° ABD passive



Mouvements de la Scapulo-Humérale

- Plan frontal :
 - ABD
 - ADD
- Plan Sagittal :
 - Anté-Pulsion
 - Rétro-pulsion
- Plan Horizontal :
 - RE (rotation latérale)
 - RI (rotation médiale)
- Mouvements Associés : **Circumduction** fait appel à tous ces mvts. Lors d'un mvt de l'épaule, l'action des différentes composantes articulaires est complémentaire.



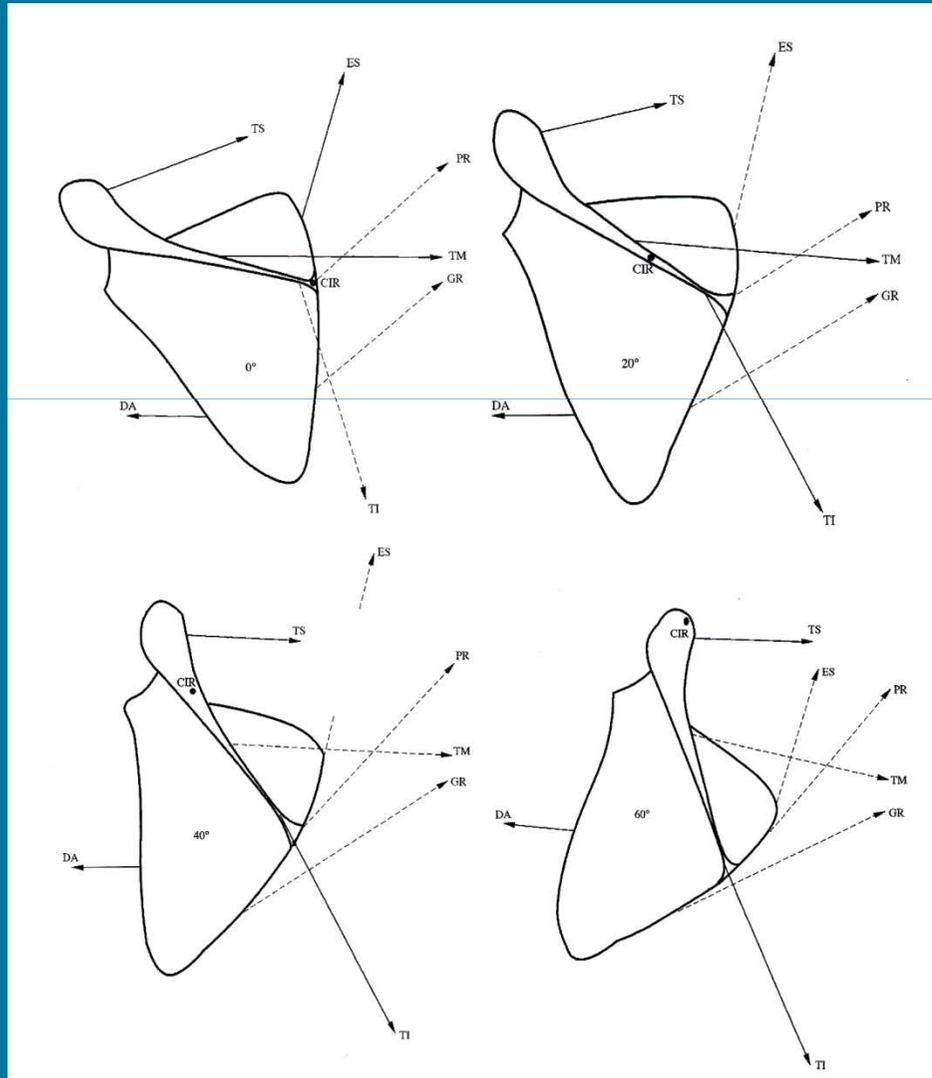
Biomécanique de l'épaule: Le Mouvement

- ❑ Rythme scapulo-huméral
- ❑ Cinématique acromio-claviculaire
- ❑ Cinématique gléno-humérale
- ❑ Dynamique



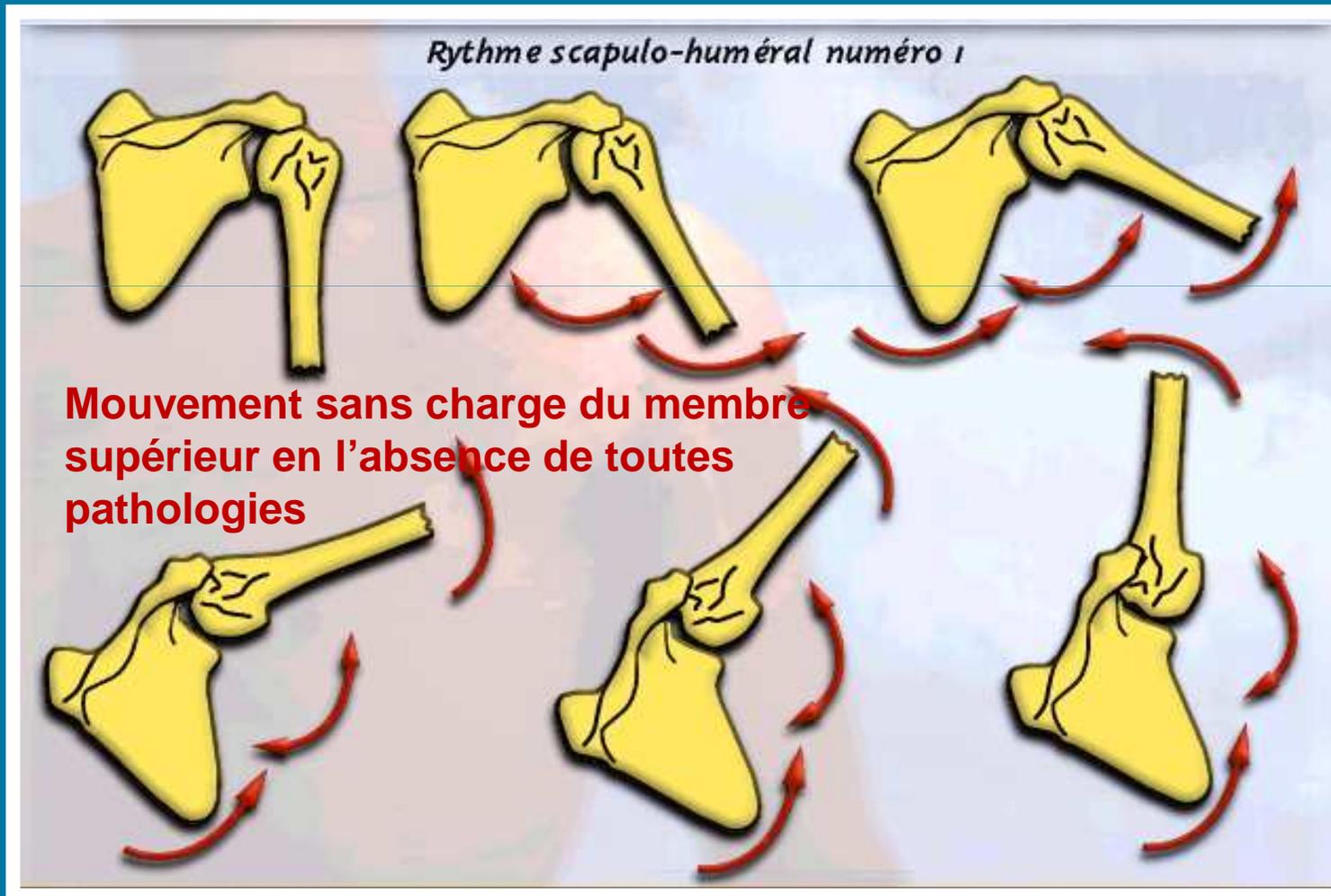
Monaco 2010

Les 3 Rythmes de la Scapulo-Humérale

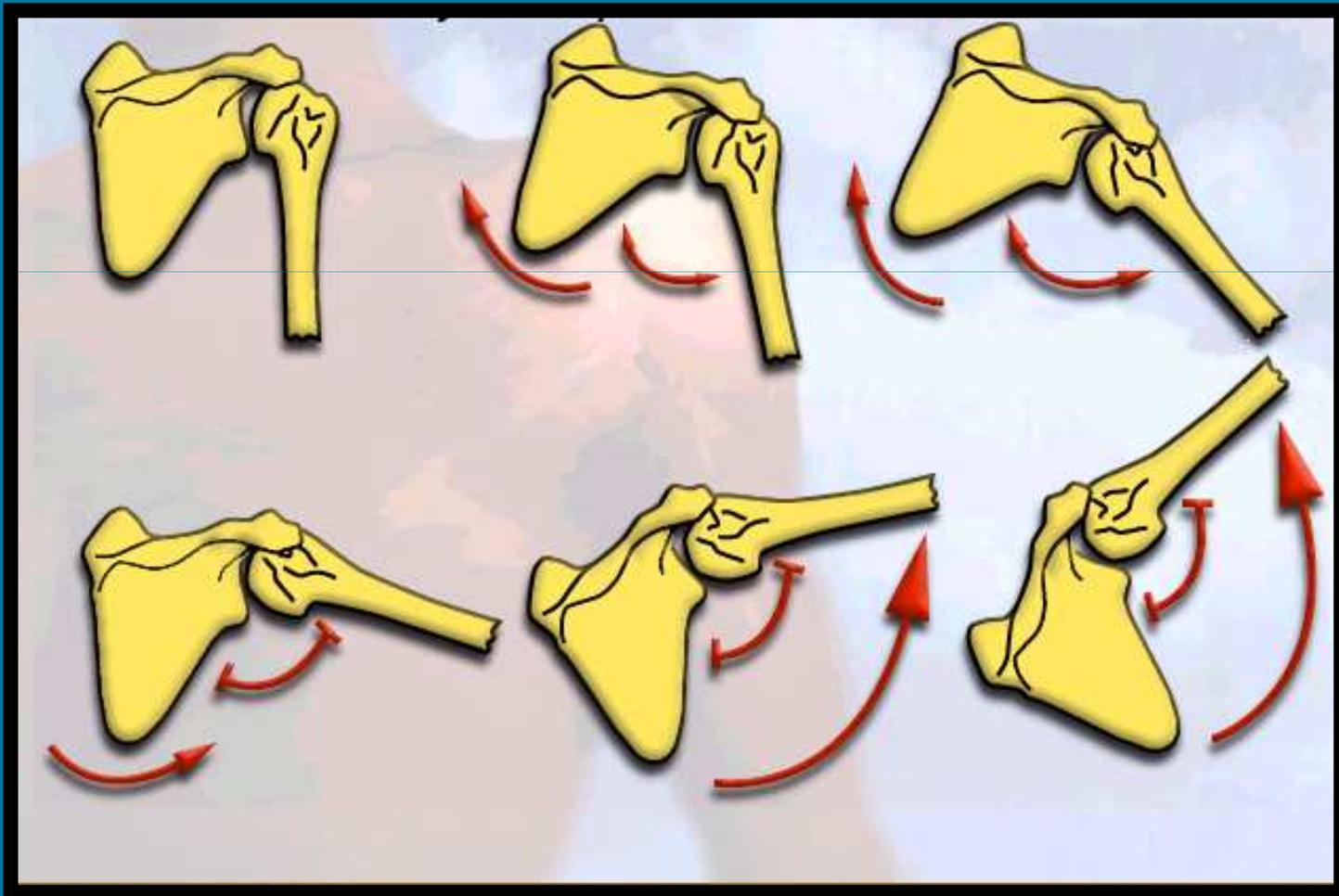


- SH et Scapulo-thoracique jouent simultanément dès le début du mvt (mais en proportion variable).
- Dans le premier temps de l'**ABD (0-90°)**, les muscles scapulo-axiaux (groupe médial: Rh, Tr, Ang, Dent) parviennent à leur limite de raccourcissement ou d'étirement.
- **Pour aboutir à l'élévation à 180°, la solution adoptée est celle de la bascule du scapulum (mvt de sonnette),**
- Mvt de sonnette int (--- médiale) ou sonnette ext (_ latérale) en fonction de l'angle

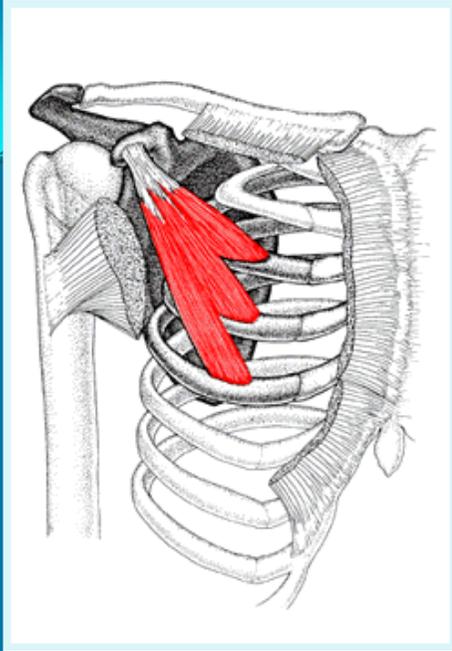
Rythme n°1: la scapula et l'humérus se mobilisent dans la même direction, l'angle scapulo-huméral augmente



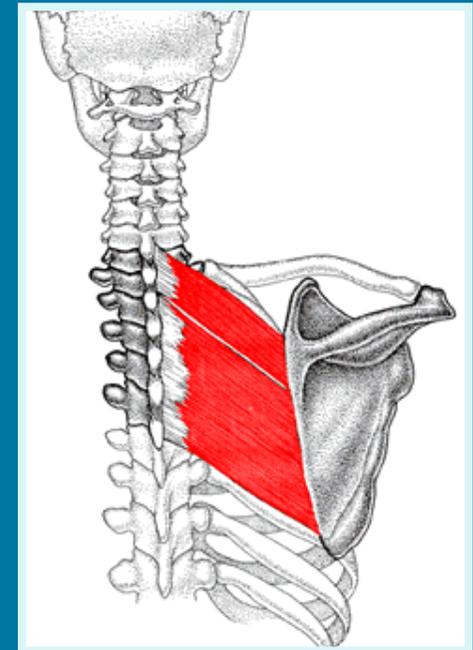
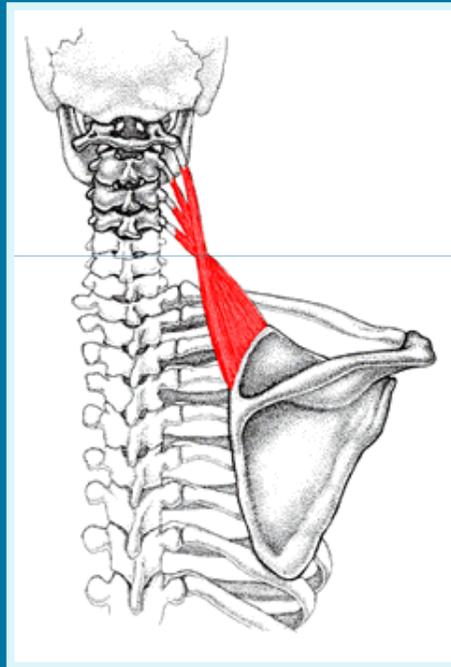
Rythme n°2 : la scapula part en sonnette médiale alors que l'humérus réalise une légère abduction, l'angle scapulo-huméral augmente, puis l'articulation scapulo-humérale se verrouille et l'ensemble bascule en sonnette latérale.



Muscles de la contre bascule

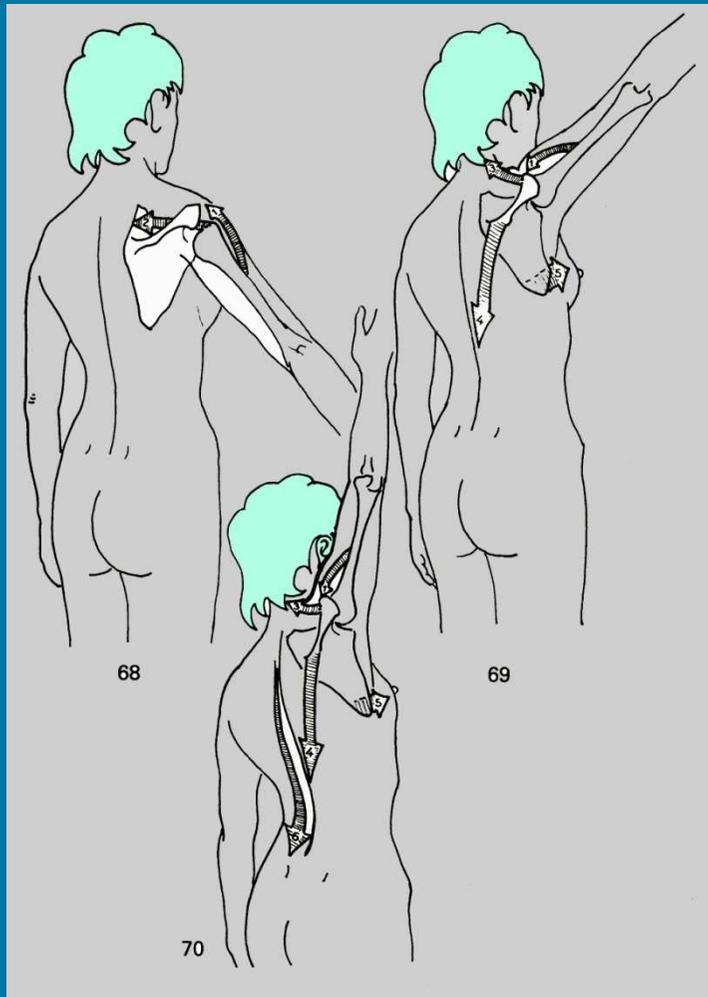


- Petit pectoral
- Angulaire
- Rhomboïdes



Muscles de la bascule latérale de la scapulo-thoracique

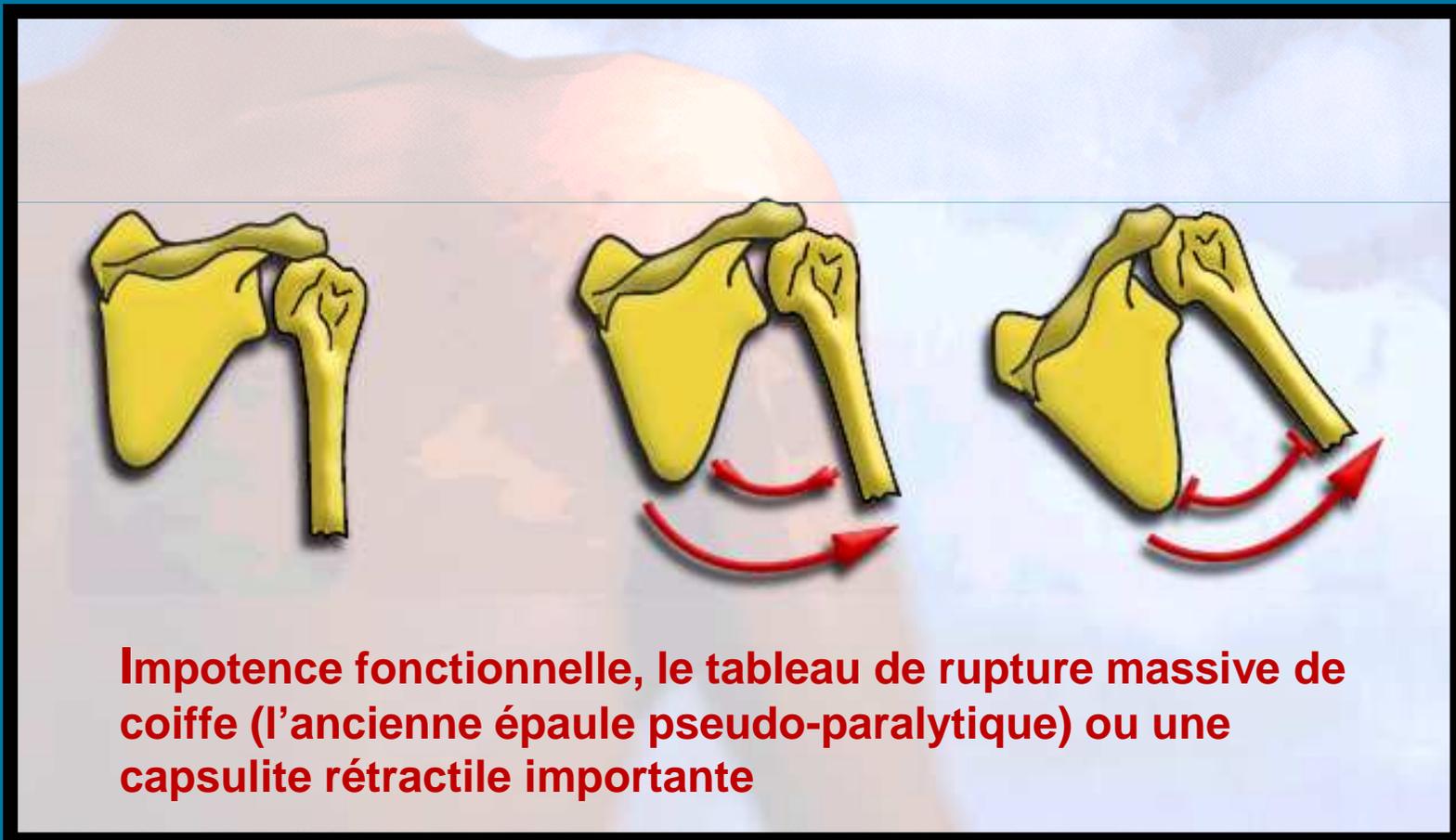
- Trapèze
- Grand dentelé



Élévation du membre supérieur
avec charge

Présence: tendinopathie de la coiffe
Certaines épaules instables (70%)

Rythme n°3 : la scapula débute une sonnette latérale, mais l'angle SH ne peut s'ouvrir car la coiffe est non fonctionnelle..



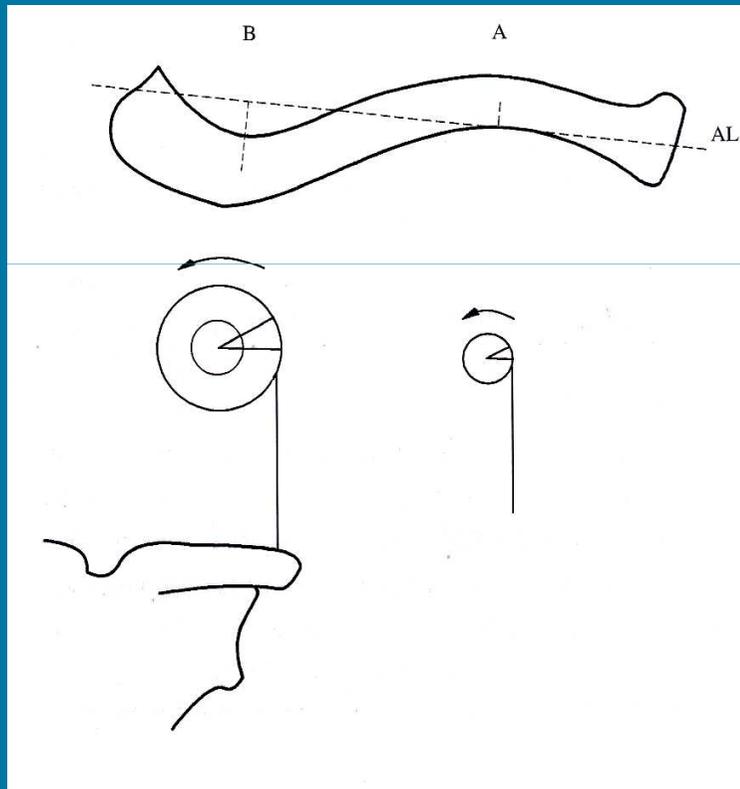
Biomécanique de l'épaule

- ❑ Rythme scapulo-huméral
- ❑ Cinématique acromio-claviculaire
- ❑ Cinématique gléno-humérale
- ❑ Dynamique

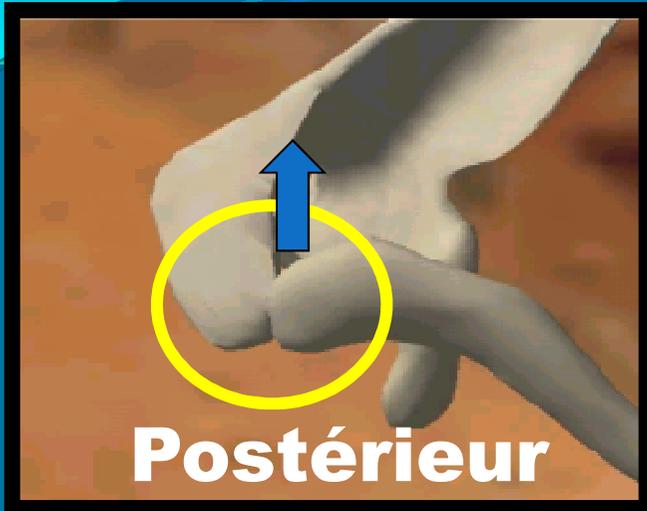


Monaco 2010

Mise en jeu de l'articulation acromio-claviculaire



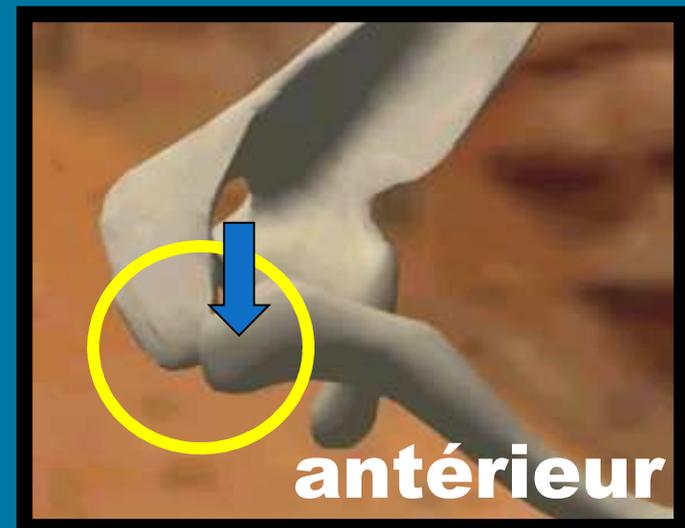
- S'accompagne de mvts d'ouverture et de fermeture de l'angle omo-claviculaire ;
- Participation plus importante en Flex-Ext qu'en ABD.
- L'articulation acromio-claviculaire est le siège d'un mvt de rotation axiale de la clavicle qui joue le rôle de manivelle.



Au niveau de l'articulation acromio-claviculaire:

La clavicle glisse en avant lors de l'élévation du bras et en arrière lors de l'extension. En plus des mouvements de glissement antéro-postérieur, la clavicle est animée de mouvements de rotation axiale.

**L'absence de glissements de l'acromio-claviculaire est responsable de 10% à 50% de la perte de mobilité
Mais parfois de 100% des douleurs**



Biomécanique de l'épaule

- ❑ Rythme scapulo-huméral
- ❑ Cinématique acromio-claviculaire
- ❑ Cinématique gléno-humérale
- ❑ Dynamique



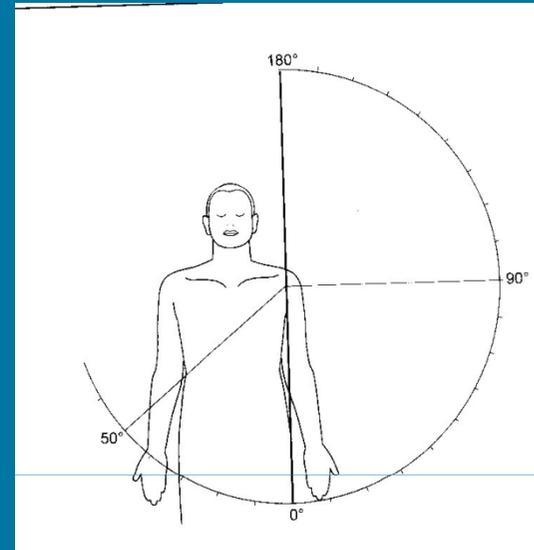
SFRE Société Française
de Rééducation de l'Épaule

www.sfre.org

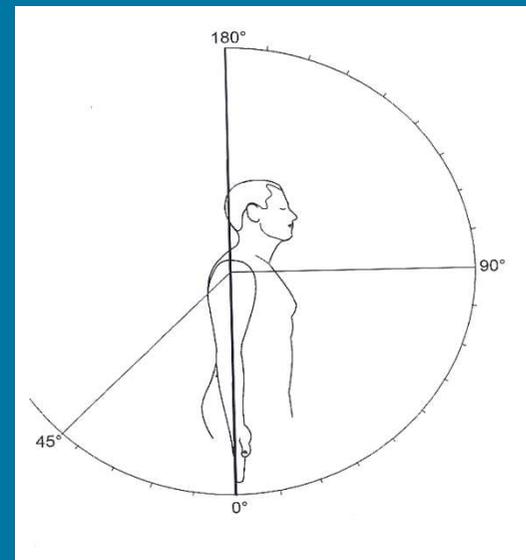
Monaco 2010

Cinématique gléno-humérale

- ABD physiol : 45°
- Flex-Ext : Axe perpendiculaire à la Scapula, pas sagittal pur.
- Rotations / références ? de la SH : pouce en AV ou bien : position zéro dans le plan sagittal ? mais il existe un silence EMG en RI 40°.



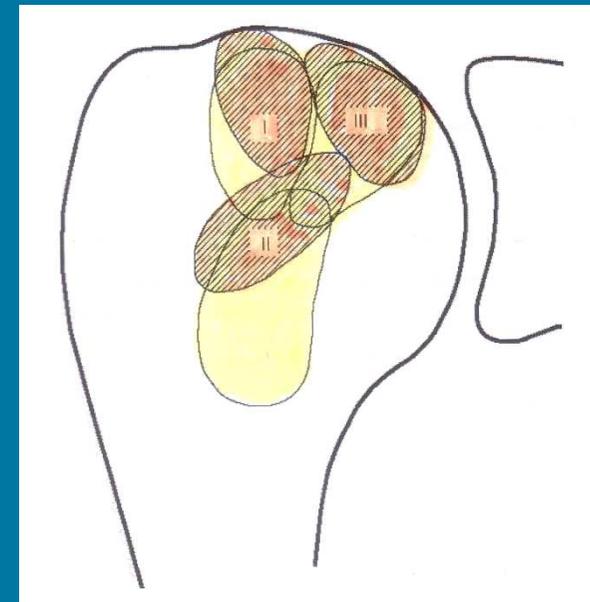
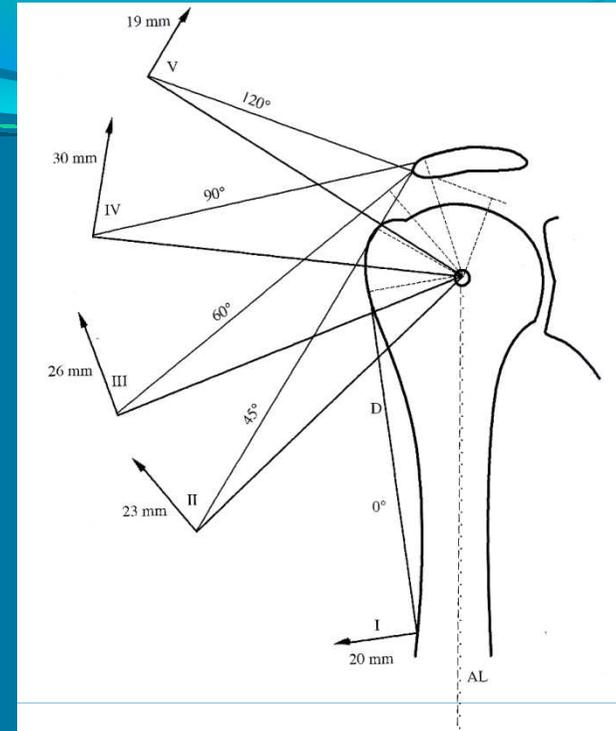
Plan Frontal
ABD-ADD



Plan sagittal
Flex-Ext

ABD

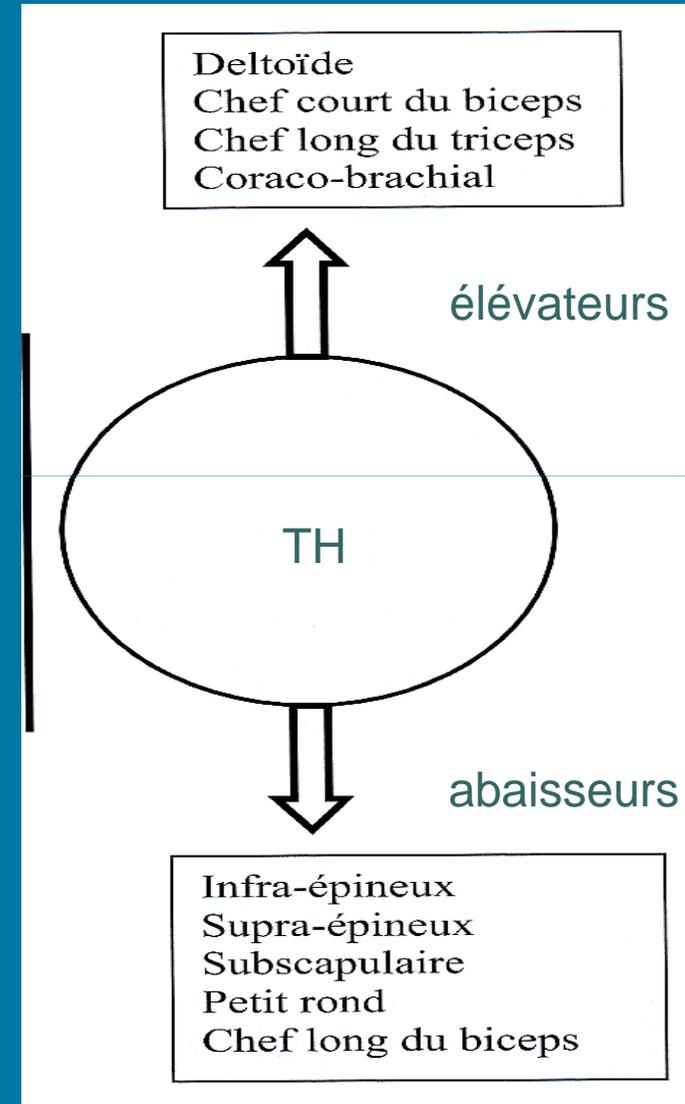
- Bras s'écarte de l'axe du corps dans le plan frontal ;
- Le plan de la Scapula est oblique en DH et en AV.
- Axe théorique : intersection des plans sagittal et transversal passant par le centre de la TH
- Axe réel : centre instantané de rotation (CIR), situé au-dessous du trochiter.



Cinématique de l' ABD

- **Roulement pur ?**
l'écartement du bras fait rouler la TH sur la glène
- Ascension de la TH vers l'Acromion
- Mauvais centrage : Roulement pur n'est pas un mvt réel de l'ABD
- **Glissement pur ?**
- 1 seul point de contact entre TH et glène entraînerait une usure rapide en 1 seul point de contact : pas acceptable

Dr Karim Bouattour (Sousse)



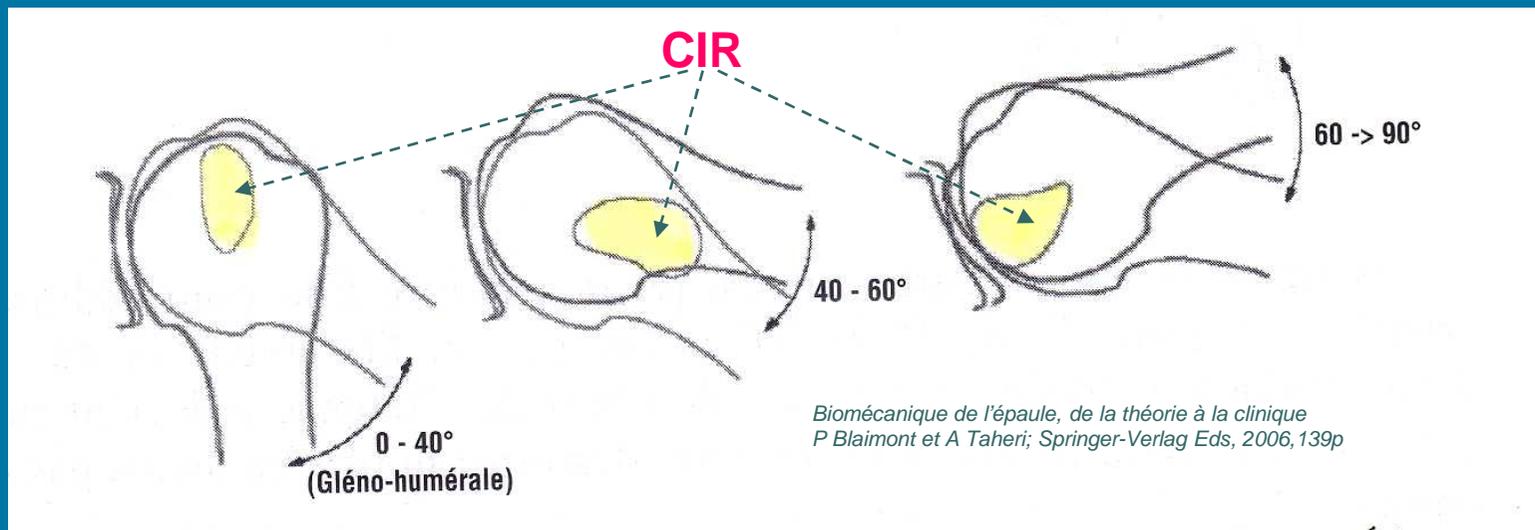
ABD: association des 2 mvts élémentaires : Roulement et Glissement

- Très léger mvt de sonnette médiale de la Scapula : ouverture de l'angle roulement et en même temps... Contraction du Supra Ep : glissement (ABD harmonieuse avec bon centrage de la TH sur la glène)
- ABD à 40°, le trochiter affleure le ligament coraco-acromial puis passe en dessous....en principe.
- ABD 60° à 90° Passive : si on enlève l'action des muscles de la coiffe : le trochiter bute contre l'acromion.
- ABD > 90° la RE de l'humérus efface la butée rigide et permet l'élévation maximale



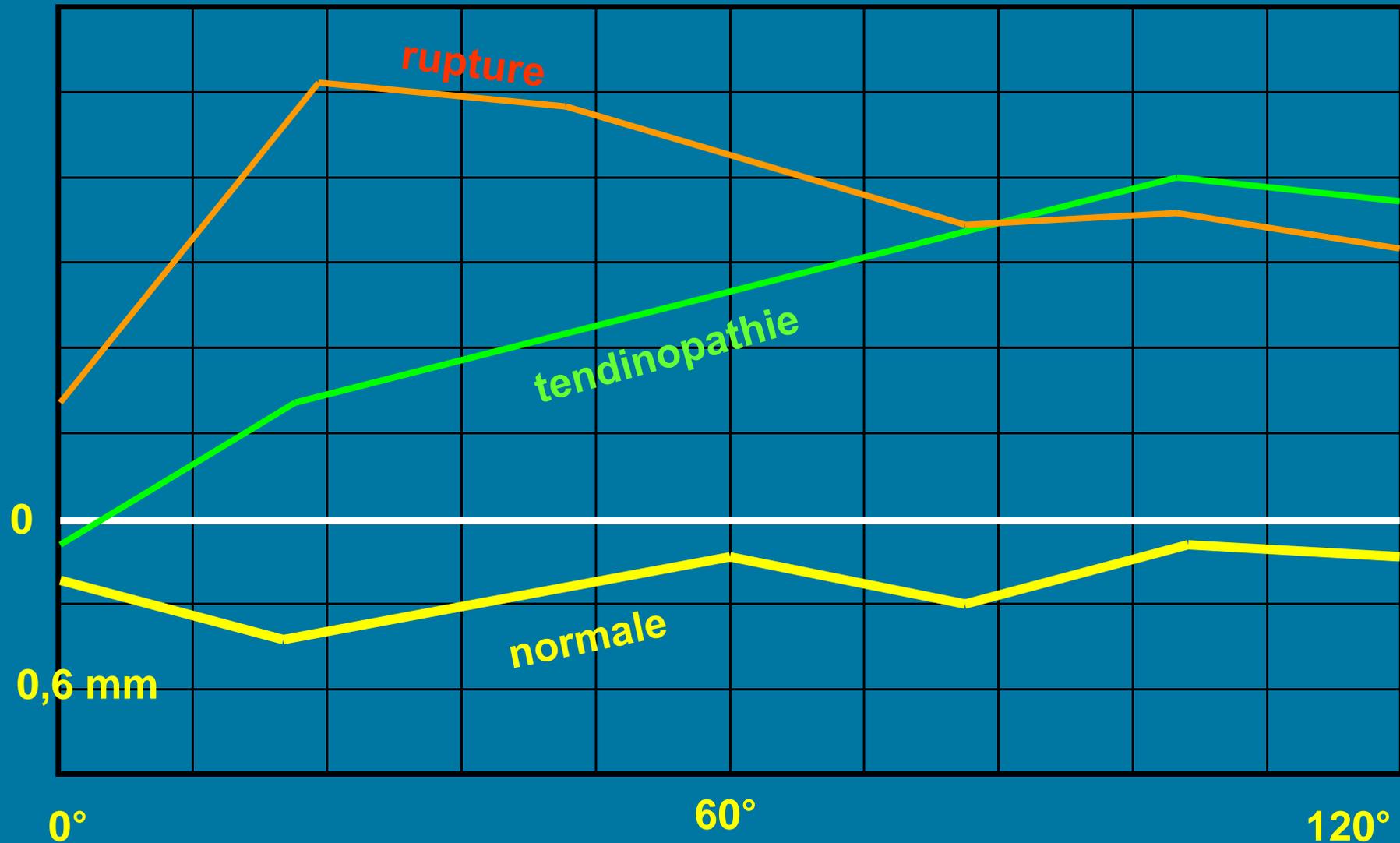
Cinématique de l' **ABD** :

- 0 à 40°: **Glissement > Roulement (CIR central haut)**
- 40° à 60°: **Supra Ep, CIR moyen métaphysaire; l'Infra Epineux, le PR et le Sub-Scap situés en deçà du CIR: abaisseurs et rotateurs de TH, ils ont aussi une valence d'ABD**
-
- Au-delà de 60°: **Roulement > Glissement (CIR à proximité de la surface articulaire), insertion Humérale du Supra Ep comprimée contre acromion**
- Au-delà de 90°: **CIR en Dh de l'articulation d'où translation inférieure**



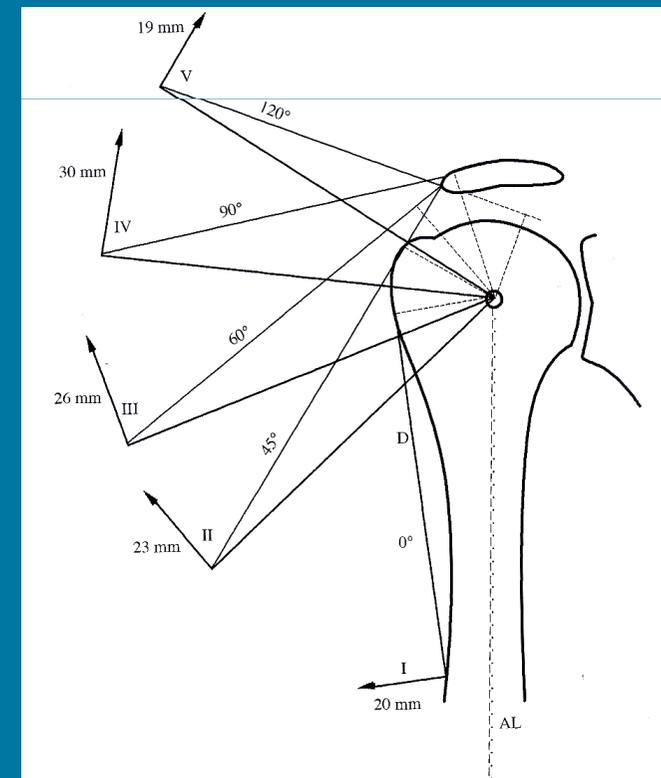
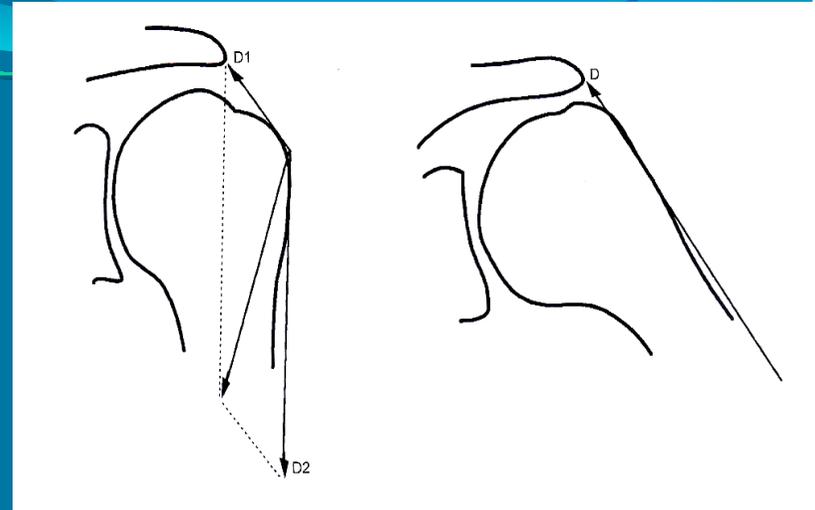
Translation supérieure de la tête humérale lors de l'abduction (Deutsch A et al 1996, JSEC , 53: 186-193)

1,5 mm



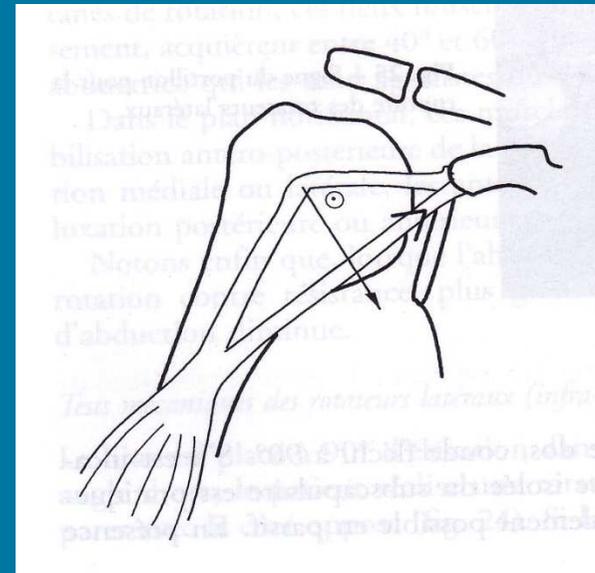
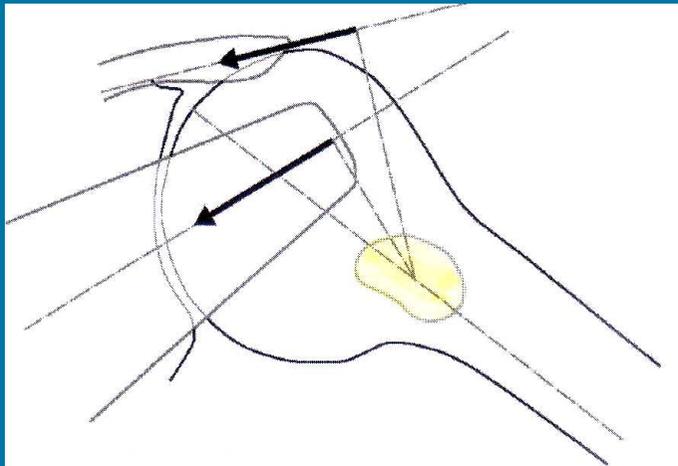
Action conjointe Deltoïde et Supra Ep

- Le Deltoïde entraîne une élévation de la TH et pour s'opposer à cette ascension, 2 éléments interviennent.
- Actif : le Supra Epineux
- Passif : la voûte ostéo-ligamentaire acromio-coracoïdienne. Cette butée élastique s'adapte dans tous les plans de l'espace sans entraîner de limitation



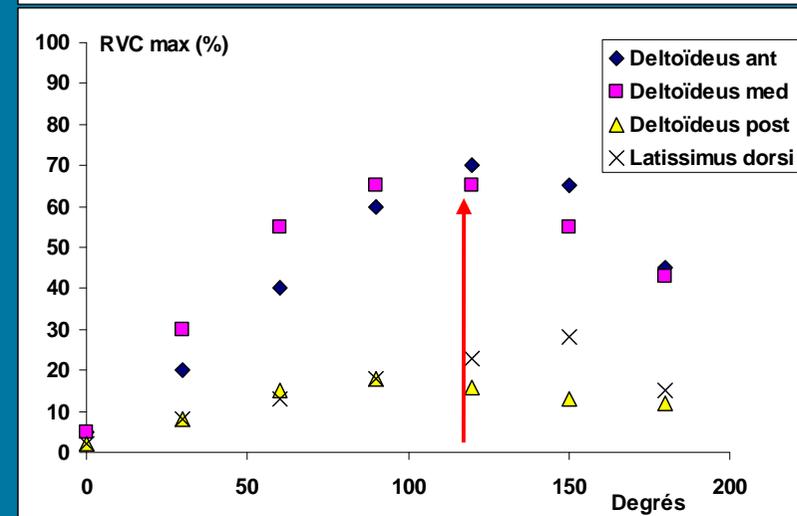
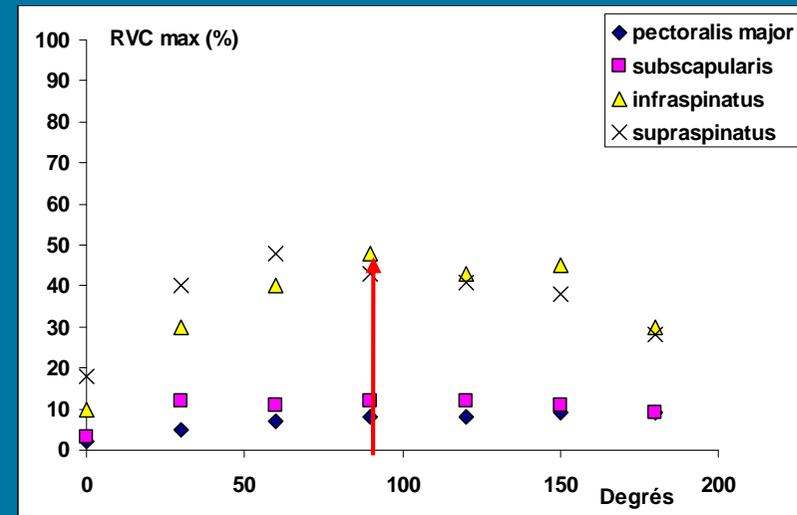
Cinématique de l' **ABD**

- **Le mvt d'ABD n'est possible que par la stabilisation musculaire supplémentaire des muscles Infra Epineux et Sub Scap qui deviennent ABD complémentaires entre 40 et 60° d'ABD**
- **Les tendons de la coiffe assurent le bon centrage et le plaquage de la TH. Le TLB se comporte en abaisseur.**
- **A 90°, TLB et TCB croisent le CIR, ils sont ABD**



Cinématique de l' ABD

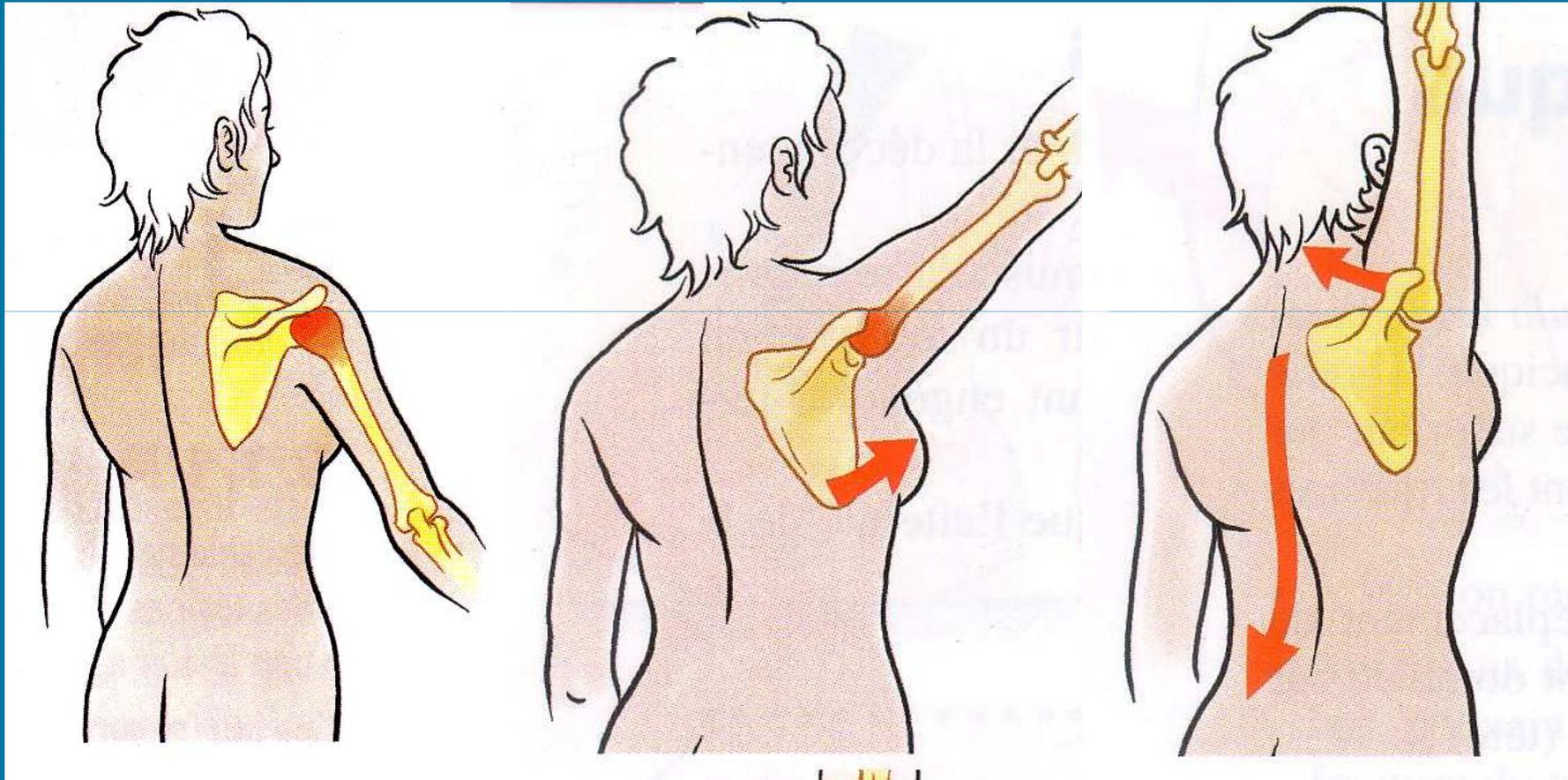
- Le Supra Epineux est considéré comme le starter de l'ABD. Cependant, cette ABD est incomplète et peu puissante, elle nécessite l'action synergique du Deltoïde
- Supra Ep et Deltoïde sont opérationnels «en même temps» du début à la fin de l'ABD.
- L' Infra Epineux apparaît comme la clé de voûte de l'ABD, il équilibre l'ascension deltoïdienne



(Kronberg et al 1990, Clin Orthop 257: 76-85)

Anté-pulsion: Flexion

*Traumatologie, stratégie diagnostiques et orientations
(Sanofi –Aventis; L&C eds ; 2008, 223p)*



FLEX: 0-60°

ABD: 0-90°

60-120° Scapula mob

90-150°

>120° bascule du tronc

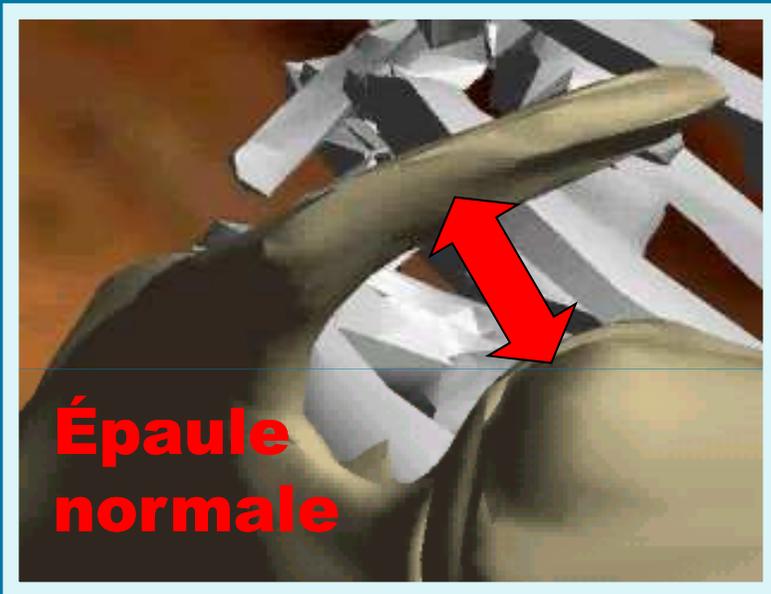
> 150°

Anté-pulsion: Flexion

- Flexion : bras en AV du plan frontal, perpendiculaire au plan de la Scapula (Oblique à 45°). Amplitude : 60-90°.
- Deltoïde Ant
 - Grd Pectoral
 - Coraco-brachial et Biceps brachial
- Au-delà de 90° Flexion : omoplate mobilisée jusqu'à 180°

➤ Mouvement normal N°1:

la tête humérale reste bien centré sur la glène



➤ Mouvement pathologique N°2:

la tête humérale se déplace en haut et en avant.

C'est le décentrage antéro-supérieur.

Diminution de l'espace sous acromial lors de l'ABD

À gauche épaule bien centrée, à droite épaule présentant un spin, le rapport entre le tubercule majeur et l'acromion est modifié, le conflit apparaît.

Le spin provoque une diminution de l'espace sous acromial
Et une compression des structures contenues dans l'espace sous acromial



Cinématique de l' ADD

- Bras se rapproche du corps, doit s'associer à :
- une flexion
- ou une extension
- ou une surélévation du moignon de l'épaule
- Mvt de Roulement-Glisement (sens inverse de l'ABD)
 - Amplitude : 30°
 - Peu utile dans la vie quotidienne sauf le sport

Cinématique de l'ADD

- .
- Grimper 1) fixation de l'omoplate :



**Trapèze
Rhomboïde
Angulaire
Petit Pect
Sous-clavier**

L'action du grimper nécessite à la fois force et déplacement de grande amplitude que le grand dorsal réalise avec l'aide de la longue portion du triceps qui empêche la luxation de la TH.

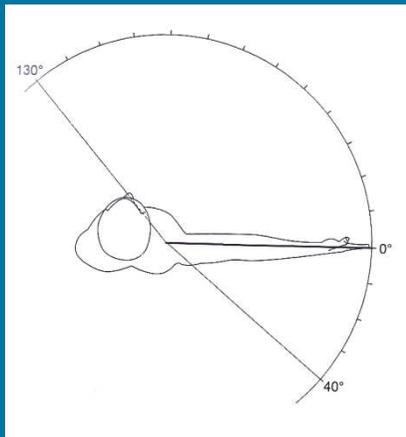


- 2) Ramener le bras vers le thorax sous les actions du

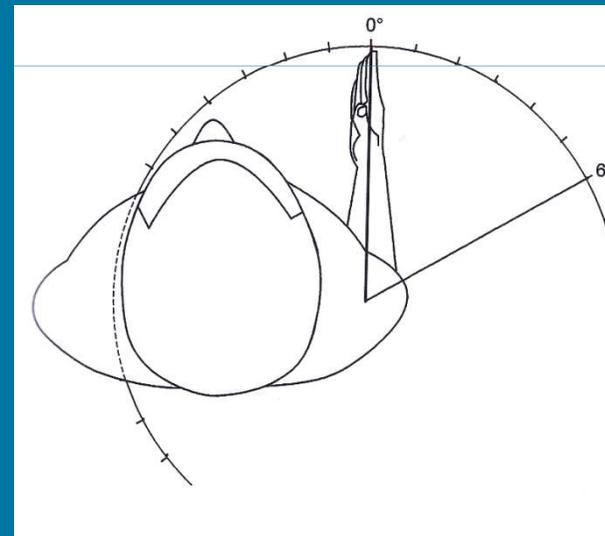
**Grd Rond
Grd Pect
Infra Epineux
Sub Scap**

Cinématique de la RE

- Permet de porter la face Ant du bras vers le DH
- Plan: transversal, passant par le centre de la TH.
Amplitude : 90° à partir de RE1 (coude au corps)



Axe Longitudinal Humérus
Rotations médiale et latérale



Axe Vertical passant
par les 2 plans précédents
Rotation latérale

Cinématique de la RE

- Infra Epineux
- Petit Rond
- Deltoïde post
- RE est obtenue essentiellement par l'action isolée de l'Infra Epineux et du Petit Rond.



Répartition angulaire :

- 30° Scapulo-humérale
- 30° Omo-thoracique
- 25° inclinaison de la colonne vertébrale.

Cinématique de la RE

- **Les muscles Ant : Sub Scap et Grd Pect favorisent le recentrage de la TH.**
- **Les muscles antagonistes se contractent pour éviter les amplitudes anormales et le dépassement du mouvement favorisant un bon recentrage de la SH.**
- **Amplitude complétée par le Trapèze et le Rhomboïde.**

Mvt: Roulement-Glissement, anomalie: Spin en RI (glissement sans roulement), générateur de conflit sous-acromial

Cinématique de la RI

- Face Ant du bras se porte vers le DD
- Mvt : Roulement-Glisserment
- Motricité :
 - Sub Scap
 - Grd Pect
 - Grd Dorsal
 - Grd Rond

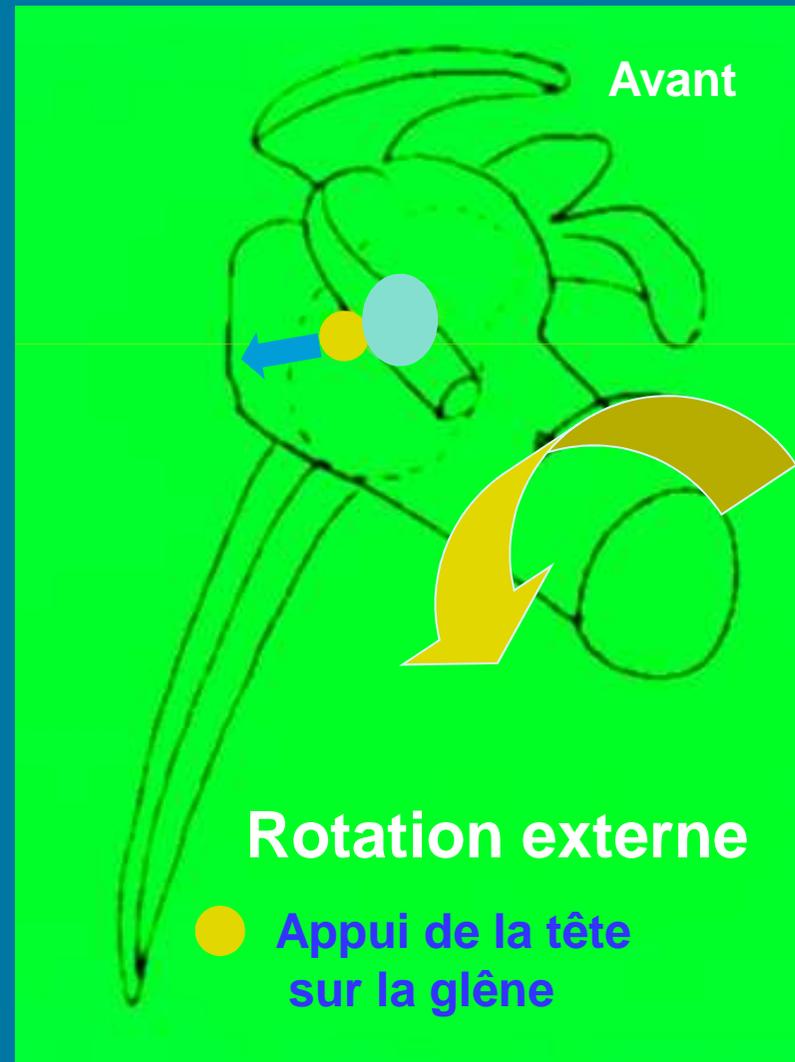
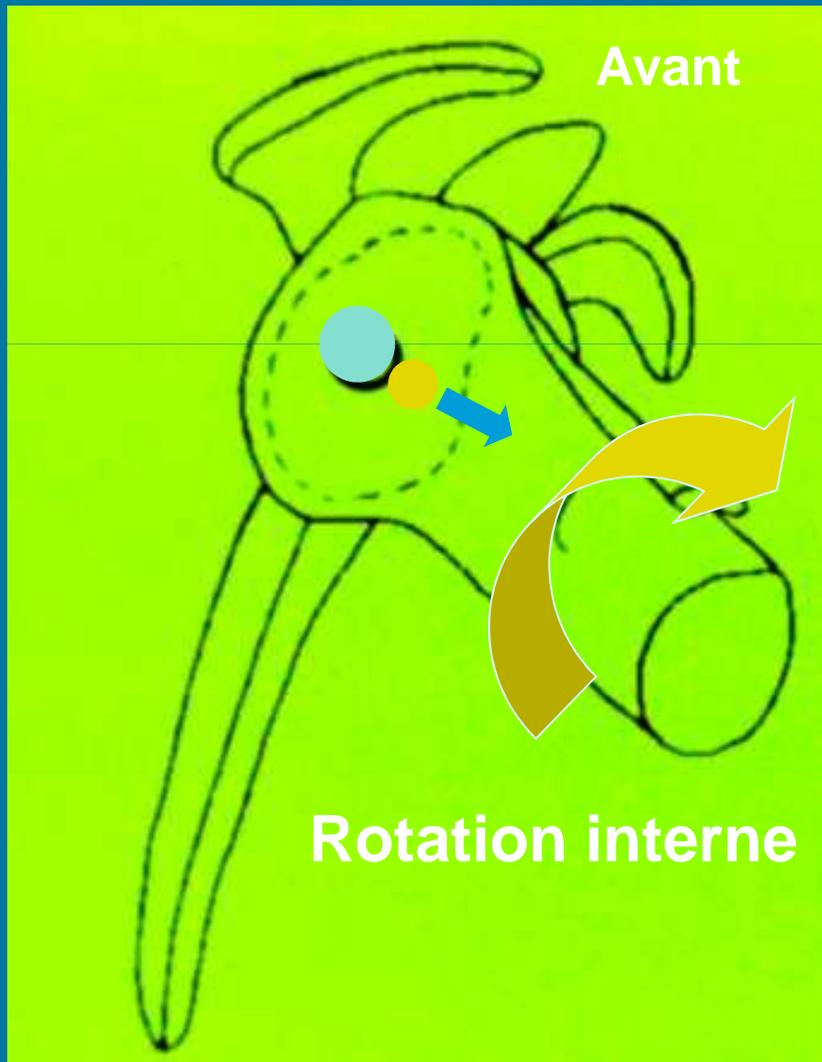


Cinématique de la **RI**



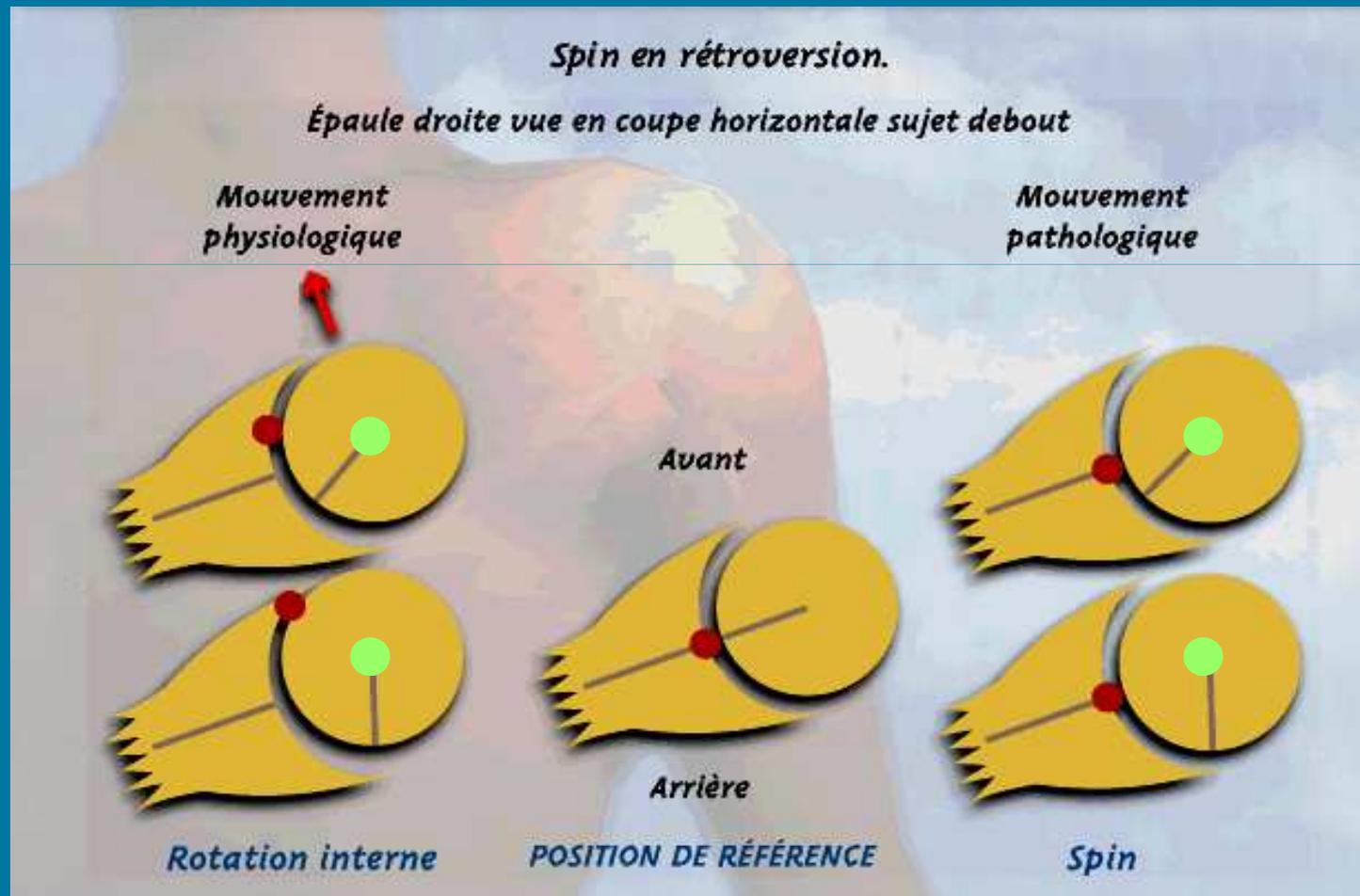
- RI fonction orientée vers **la préhension** qui nécessite d'autres muscles :
- La longue portion du Biceps limite l'amplitude du mvt de RE de l'humérus et se comporte comme un rotateur interne.

Lors de la rotation interne (médiale) le centre d'appui sur la glène se déplace vers l'avant. Lors de la rotation latérale c'est l'inverse. La tête humérale est animée d'un roulement glissement.



Lors d'une rotation interne il se produit un glissement (rotation sur l'axe vert) associée à un roulement (déplacement du **point d'appui rouge** sur la glène vers en avant)

Le spin est une rotation pure (sur l'axe vert) il se produit un glissement sans roulement (le point d'appui reste **sur le point rouge**): c'est une anomalie mécanique. Seule la restitution d'une translation antérieure par une manipulation qui déplacera **le point d'appui** en avant pourra restituer un bon rapport roulement glissement.



Biomécanique de l'épaule

- ❑ Rythme scapulo-huméral
- ❑ Cinématique gléno-humérale
- ❑ Cinématique acromio-claviculaire
- ❑ Dynamique *(d'après T Marc)*



Monaco 2010

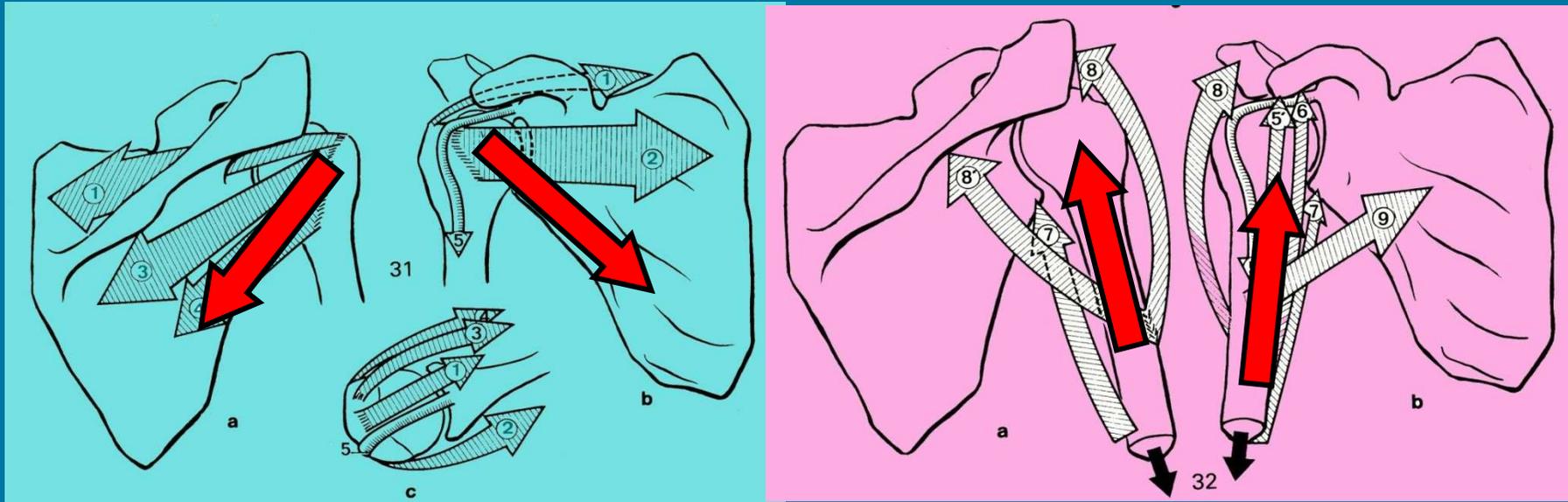
Dynamique articulaire: ABD avec Flexion Ant

- SH (0 à 30°): clavicule + 15°; scapula rot
plan ant-post: 3 à 4°; α° clavicule scapula:
10°
- SH (30-90°): α° clavicule : $\sim 35^\circ$; scapula : 5°
pour 10° ABD
- SH (90-180°): rot axiale clav: : $\sim 40^\circ$; α°
clavicule scapula: : $\sim 20^\circ$; TH en RE lors de
l'ABD dans le plan frontal

Dynamique Musculaire:

1) Équation dans le plan vertical (lors de l'abduction ou flexion)

Forces
verticales ascendantes = verticales descendantes
Seuls les faisceaux inférieurs
de l'infra épineux et du subscapulaire
exercent une force descendante

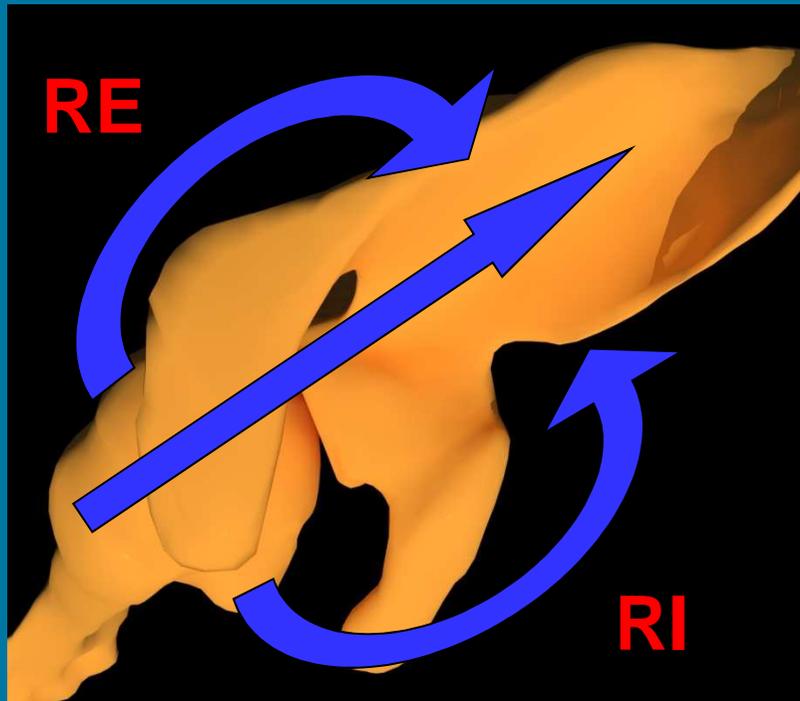


Dynamique Musculaire:

2) Équation dans le plan horizontal

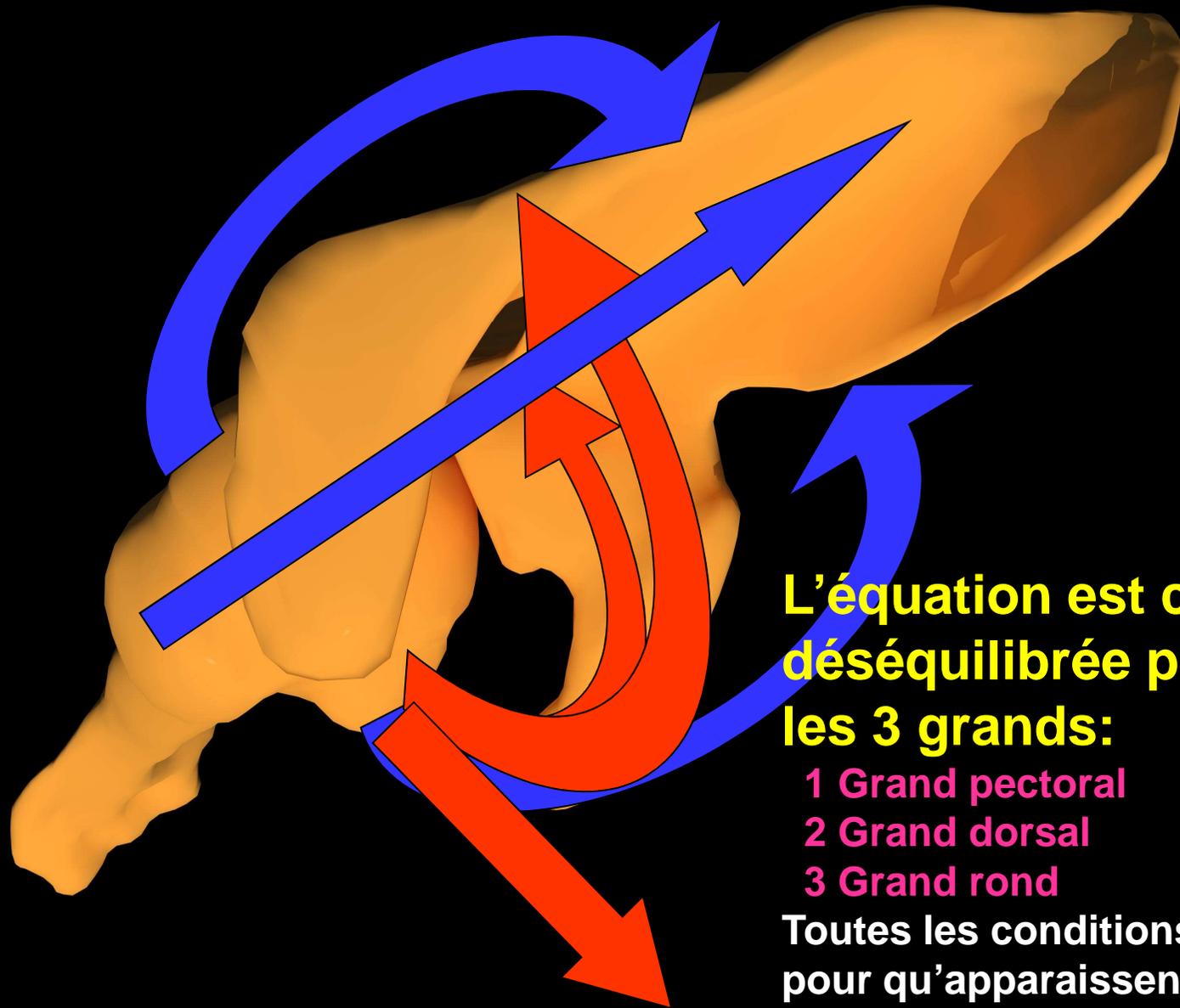
La coiffe des rotateurs présente un bilan rotatoire neutre

Forces RE = Forces RI



Tout se passe bien!

Dynamique Musculaire: 2) Équation dans le plan horizontal

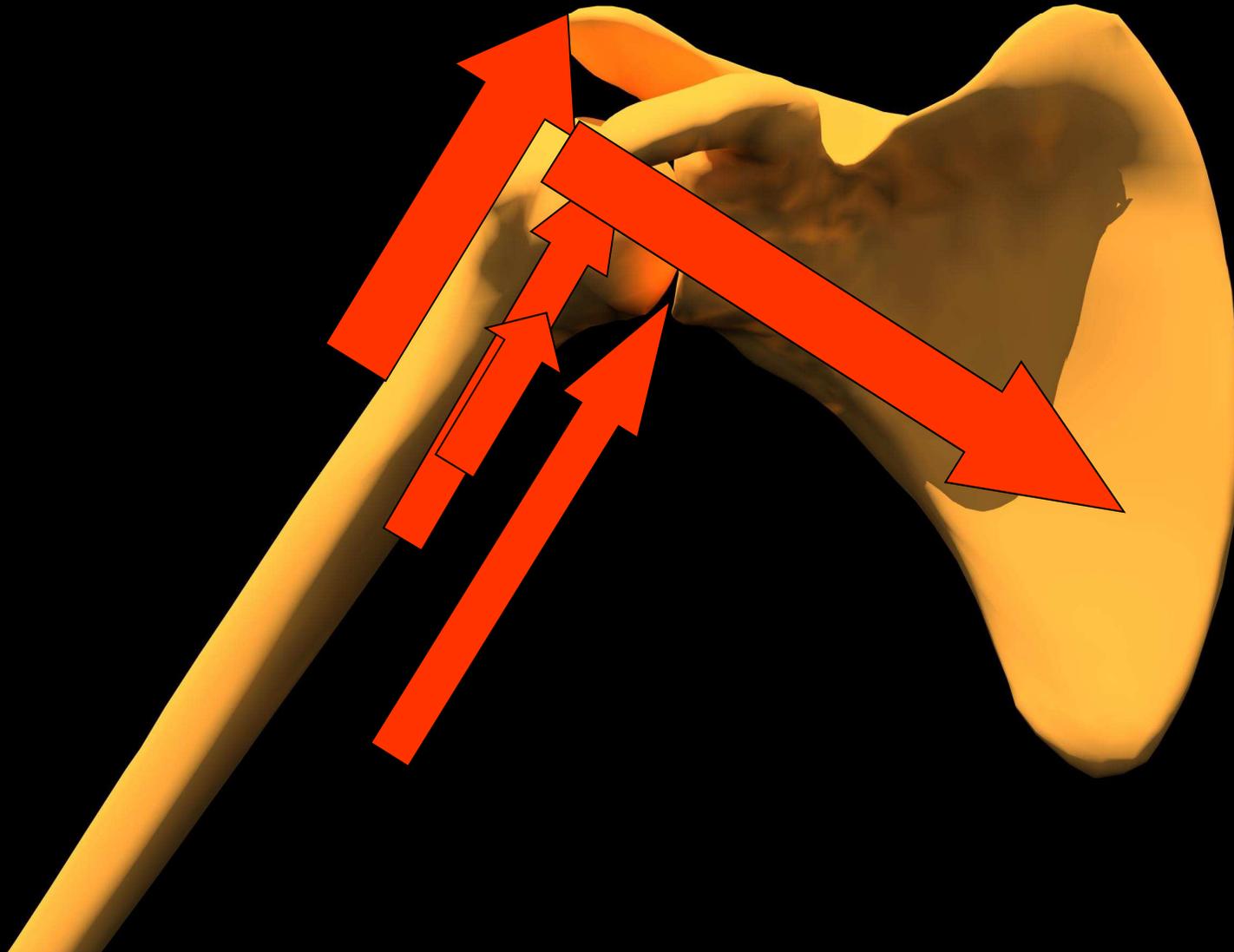


L'équation est complètement déséquilibrée par les 3 grands:

- 1 Grand pectoral
- 2 Grand dorsal
- 3 Grand rond

Toutes les conditions sont remplies pour qu'apparaissent un spin

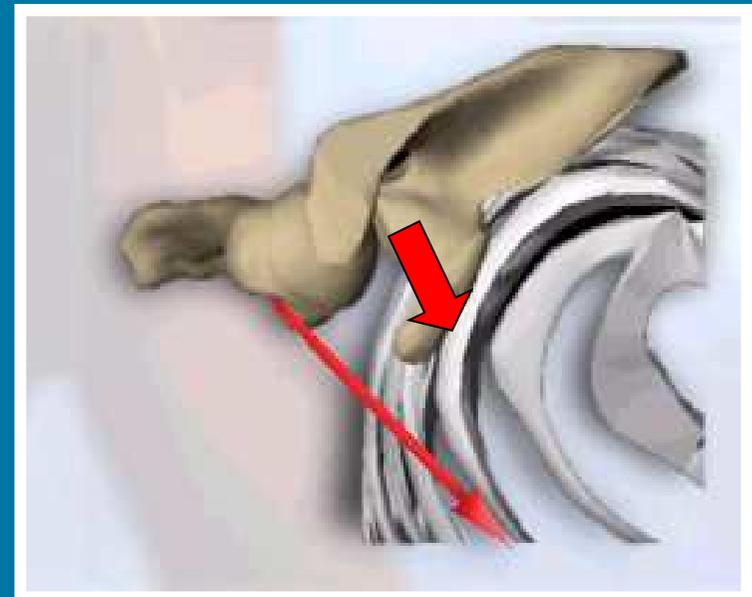
Les fibres inférieures de l'infra épineux, le petit rond et les fibres inférieures du sub-scapulaire doivent s'opposer aux forces ascensionnelles pour stabiliser la tête



Dynamique: résultats du déséquilibre

- **La tête humérale tend à se déplacer en haut et à dériver sur l'axe vertical en spin**

De plus le grand pectoral décentre la tête humérale en avant sur la glène. Dans ce plan le décentrage est antéro-supérieur



Conclusion

- **L'étude biomécanique de l'épaule a permis de mieux comprendre la physiopathologie de cette articulation**
- **Les instabilités de la SH sont liées à la déficience du verrou capsulo-ligamentaire et musculaire.**
- **Le dysfonctionnement articulaire est à l'origine des syndromes de conflits et ruptures de la coiffe par défaut de centrage de la TH et l'ascension non contrôlée de la TH.**

Monaco 2010

