

# La statique du rachis cervical et ses applications

A. WYLER, J.-D. LAREDO, N. BOCAHUT

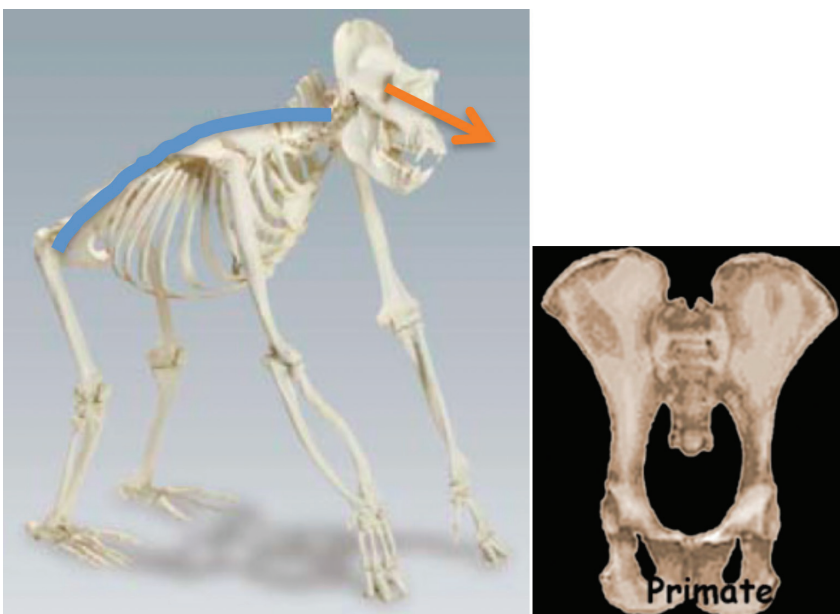
La statique du rachis cervical est complexe et variable d'un individu à l'autre. C'est le segment du rachis qui autorise l'amplitude de mouvement la plus importante. L'équilibre sagittal du rachis thoraco-lombaire et de la charnière lombo-sacrée est aujourd'hui parfaitement démembré. Les angles tels que l'incidence pelvienne, la lordose lombaire... sont entrés dans la pratique courante des chirurgiens du rachis pour établir un plan de correction de l'équilibre du rachis. En revanche, l'équilibre sagittal du rachis cervical est encore en cours de démembrement. Même si la littérature est très riche, peu d'angles sont intégrés dans l'exercice quotidien des praticiens, en dehors de la pente de T1 et de la lordose cervicale.

Mais le rachis cervical s'intègre parfaitement dans l'équilibre global du rachis et son analyse plus précise va prendre place de plus en plus dans la pratique quotidienne. C'est pourquoi nous allons nous y intéresser.

## Le rachis cervical normal

### Du grand singe à l'homme (fig. 1 et 2)

- Les grands singes quadrupèdes, qui se déplacent de branche en branche à l'aide de leurs quatre membres, présentent une courbure unique thoraco-lombaire en cyphose et leur centre de gravité se projette en avant des pattes arrière. Le bassin est étroit et horizontal et s'ouvre vers l'avant. Le plateau sacré est verticalisé. De ce fait, la pente sacrée, c'est-à-dire l'angle entre le plateau sacré et l'horizontale, est grande.
- Chez l'homme, la position debout bipodale libère les membres supérieurs et permet d'avoir un regard horizontal, afin de voir venir de loin au sol la proie et le prédateur. La bipédie implique le maintien de la projection de la tête et du centre de gravité du corps entre les deux pieds, au-dessus du pelvis.



**Fig. 1** : Les grands singes quadrupèdes présentent une courbure unique thoraco-lombaire en cyphose et leur centre de gravité se projette en avant des pattes arrière. Le bassin est étroit et horizontal et s'ouvre vers l'avant. Le plateau sacré est verticalisé.



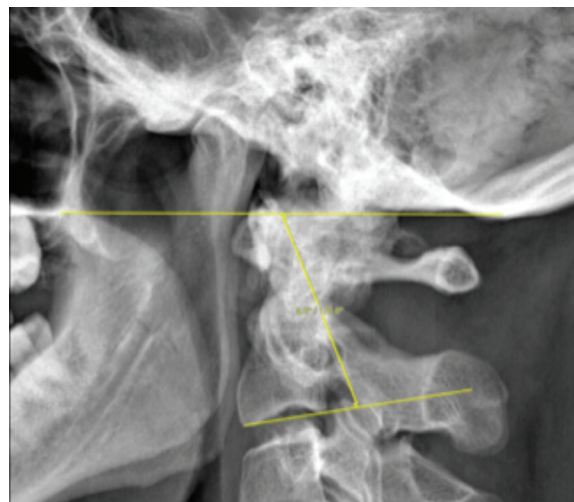
**Fig. 2 :** L'homme a une position debout bipodale qui libère les membres supérieurs et permet d'avoir un regard horizontal, afin de voir venir de loin au sol la proie et le prédateur. La bipédie implique le maintien de la projection de la tête et du centre de gravité du corps entre les deux pieds, au-dessus du pelvis. De ce fait, le bassin, qui va supporter directement le poids du tronc et de la tête, est plus large, se verticalise et s'ouvre vers le haut pour contenir les viscères et donner ancrage aux muscles érecteurs du rachis. Le plateau sacré est horizontalisé.

- De ce fait, le bassin, qui va supporter directement le poids du tronc et de la tête, est plus large, se verticalise et s'ouvre vers le haut pour contenir les viscères et donner ancrage aux muscles érecteurs du rachis. Le plateau sacré est horizontalisé et la pente sacrée est faible.
- Le rachis cervical supporte le poids de la tête et le trou occipital est de ce fait plus avancé vers le milieu de la base du crâne et pas à la jonction base/occiput comme chez les grands singes.
- Le rachis humain aurait pu être simplement vertical au-dessus du pelvis mais cela aurait nécessité des efforts musculaires constants et coûteux des muscles

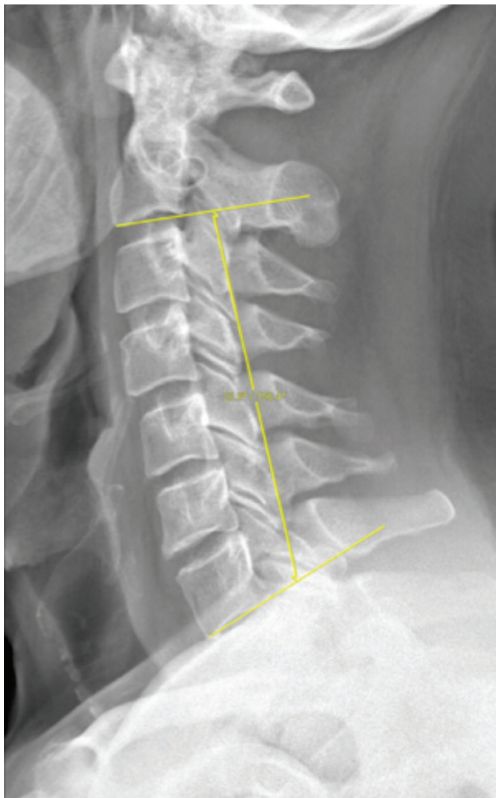
érecteurs du rachis agonistes et antagonistes pour maintenir cet alignement sagittal rectiligne. Une triple courbure rachidienne, lordose lombaire, cyphose thoracique et lordose cervicale permet de diminuer l'effort musculaire.

### La lordose cervicale

- La lordose cervicale vient compenser la cyphose dorsale et permet de maintenir le regard à l'horizontale ce qui est fondamental pour les relations sociales et la qualité de vie [1-2].
- La courbure globale du rachis cervical est donc habituellement en lordose, de 40° en moyenne.
- Elle est divisée en une courbure supérieure C0-C2 (**fig. 3.a**) et une courbure inférieure C2-C7 (**fig. 3.b**).
- 75-80% de la lordose cervicale siège au rachis cervical haut en C1-C2 [3, 4] et seulement 20-25% entre C2 et C7.
- C'est donc une répartition inverse mais similaire à celle du rachis lombaire où l'essentiel de la lordose siège à l'étage charnière L5-S1.
- L'équilibre sagittal du rachis cervical est, malgré tout, sujet à une grande variabilité interindividuelle : la lordose peut être très marquée mais le rachis cervical peut aussi être en position neutre voire en cyphose, en fonction de la morphologie du bassin et du rachis thoraco-lombaire. Les quatre types de statique du rachis décrits par Roussouly se répercutent sur le rachis cervical avec des statiques tolérantes aux changements et notamment au vieillissement et d'autres intolérantes [5].



**Fig. 3a :** Angle occipito-cervical C0-C2. C'est l'angle entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2. La ligne de Mc Gregor est une ligne passant par le bord postérieur du palais dur et le bord inférieur de l'os occipital



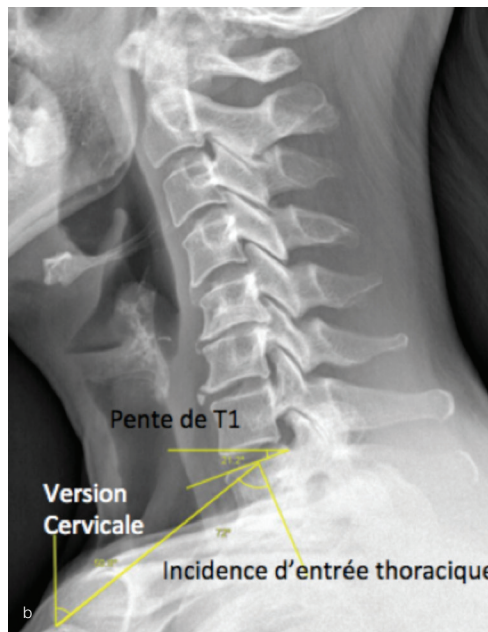
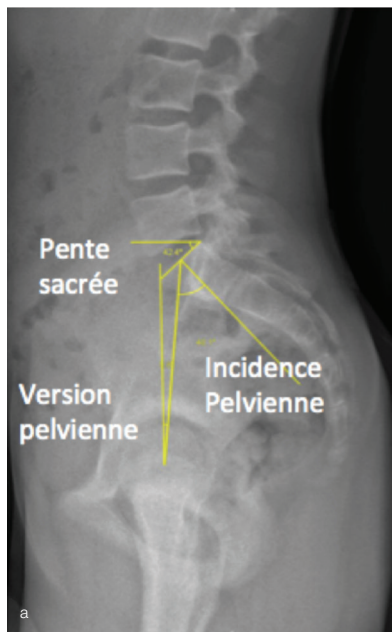
**Fig. 3b** : Evaluation de la lordose cervicale : angle C2-C7. C'est l'angle formé par le plateau inférieur de C2 et le plateau inférieur de C7.

- Il existe aussi une grande variabilité interindividuelle dans le calibre du canal cervical et des foramens, calibre qui conditionne la taille de l'espace de réserve qui permet « d'absorber » les rétrécissements dégénératifs qui croissent avec l'âge sans affecter la moelle et les racines nerveuses. Ainsi, les canaux cervicaux larges toléreront ces rétrécissements quand les canaux étroits seront « intolérants ».
- Notons enfin qu'il n'y a pas de différence entre les sexes dans les courbures cervicales [6].

### La statique cervicale est conditionnée par celle du rachis thoracolombaire (et du bassin)

#### Du bassin au rachis lombaire et thoracique [7, 12]

- La statique du rachis lombaire est conditionnée par celle du bassin avec des dimensions propres à chaque individu (**fig. 4a**).
- Un bassin dont la taille antéro-postérieure est étroite et donc l'incidence pelvienne faible, est verticalisé, rétroversé avec un plateau sacré relativement horizontal et une pente sacrée faible. Pour maintenir autant que possible le centre de gravité de la tête au-dessus du



**Fig. 4** : (a) **Les trois angles de la triade pelvienne** : Incidence pelvienne (IP), pente sacrée (PS) et version pelvienne (VP) avec  $IP = PS + VP$ . (b) : **La triade de la jonction cervico-thoracique** : pente de T1 (PT1), incidence d'entrée thoracique (IET) et version du cou (VC) avec  $IET = PT1 + VC$ . La pente de T1 est l'angle formé par l'horizontale et le plateau supérieur de T1. L'incidence d'entrée thoracique est l'angle formé par la droite reliant le centre du plateau supérieur de T1 et l'extrémité supérieure du sternum et la droite perpendiculaire au milieu du plateau supérieur de T1. L'angle de version du cou est l'angle formé par la verticale passant par l'extrémité supérieure du sternum et la droite reliant le centre du plateau supérieur de T1 et l'extrémité supérieure du sternum.

pelvis, sur ce plateau sacré horizontalisé, la lordose lombaire et la cyphose dorsale seront faibles (**fig. 5b**).

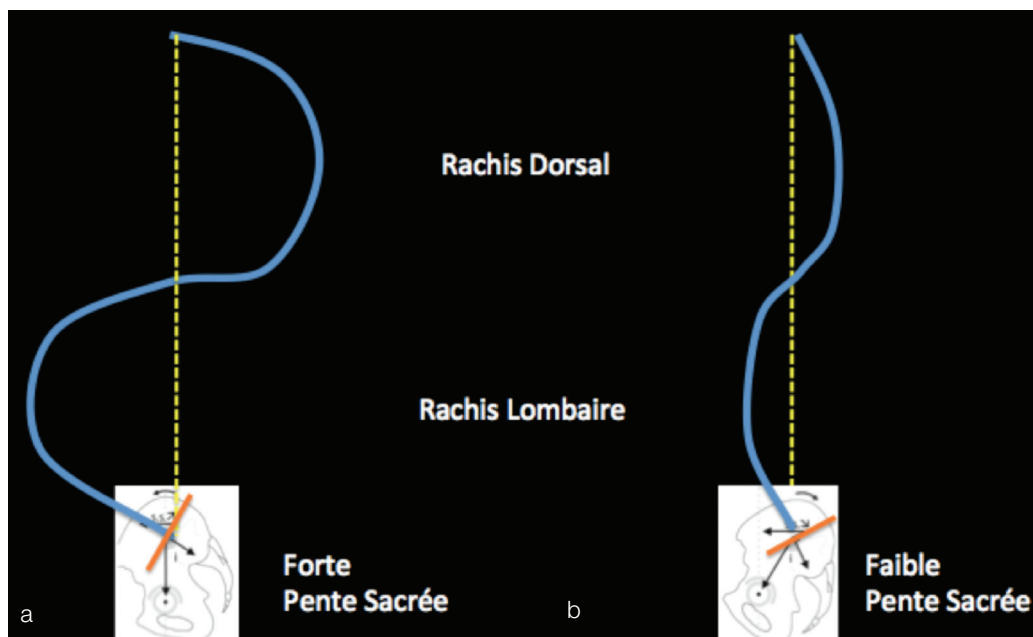
- A l'inverse, un bassin dont la taille antéro-postérieure est large et donc l'incidence pelvienne forte, est plutôt horizontalisé, antéversé avec un plateau sacré relativement vertical et une pente sacrée forte. Pour maintenir le centre de gravité de la tête au-dessus du pelvis, sur ce plateau sacré vertical, la lordose lombaire et la cyphose dorsale devront être importantes (**Fig. 5a**).

### Du rachis thoracique au rachis cervical, la pente de T1 [7,8]

**L'orifice supérieur du thorax (OSP, thoracique inlet) :** C'est un cercle osseux constitué du corps vertébral de T1, des deux premières côtes et du manubrium sternal en avant. Il fait partie de la **jonction thoraco-cervicale (CTJ)** qui regroupe aussi C7 et T1, le disque C7-T1 et les ligaments associés. D'un point de vue biomécanique, la CTJ est la zone de transition entre le rachis cervical mobile qui supporte le poids de la tête (environ 4,5kg) et le rachis thoracique plutôt rigide dont la mobilité est diminuée par la cage thoracique. Des contraintes importantes se concentrent sur cette jonction.

Par analogie aux trois paramètres pelviens, incidence pelvienne/pente sacrée et version pelvienne (**fig. 4a**), on peut distinguer trois paramètres angulaires qui caractérisent cet orifice supérieur du thorax (**fig. 4b**) [7] :

1. La **pente de T1**, angle entre le plateau supérieur de T1 et l'horizontale, reflète l'orientation de l'orifice supérieur du thorax, comme la pente sacrée au bassin. Sa **valeur normale moyenne est de 20°**. La pente de T1 est intimement liée à la lordose cervicale et joue un grand rôle dans la classification des déformations cervicales. **Plus la pente de T1 sera forte, plus la lordose cervicale sera accentuée.** On peut faire un parallèle avec le lien qui existe entre la pente sacrée et la lordose lombaire.
2. La **version cervicale, (neck tilt)**, homologue de la version pelvienne. Par similitude avec la version pelvienne, c'est l'angle formé par la verticale et une ligne joignant le centre du plateau supérieur de T1 et le bord supérieur du manubrium sternal. La version cervicale normale moyenne est d'environ 44° qui est la valeur la plus économique en termes d'énergie développée par les muscles du cou.
3. **L'incidence d'entrée thoracique** par analogie avec l'incidence pelvienne à la jonction lombo-sacrée, est l'angle formé par ligne joignant le milieu du plateau supérieur de T1 et le bord supérieur du manubrium et la perpendiculaire au plateau de T1.



**Fig. 5 : Du bassin au rachis lombaire et thoracique.** (a) Un bassin dont la taille antéro-postérieure est large et donc l'incidence pelvienne forte, est plutôt horizontalisé, antéversé avec un plateau sacré relativement vertical et une pente sacrée forte. Pour maintenir le centre de gravité de la tête au-dessus du pelvis, sur ce plateau sacré vertical, la lordose lombaire et la cyphose dorsale devront être importantes.

(b) A l'inverse, un bassin dont la taille antéro-postérieure est étroite et donc l'incidence pelvienne faible, est verticalisé, rétroversé avec un plateau sacré relativement horizontal et une pente sacrée faible. Pour maintenir autant que possible le centre de gravité de la tête au-dessus du pelvis, sur ce plateau sacré horizontalisé, la lordose lombaire et la cyphose dorsale seront faibles.

Il existe entre ces trois angles un rapport identique à celui qui relie l'incidence pelvienne à la pente sacrée et à la version pelvienne (**fig. 9 et 10**) :

$$\text{Incidence d'entrée thoracique} = \text{pente de T1} + \text{angle de version cervicale}$$

La pente de T1 est elle-même le résultat de la combinaison de trois paramètres :

1. **L'incidence d'entrée thoracique** paramètre invariable, propre à chaque individu, comme l'incidence pelvienne.  
Les deux autres paramètres sont conditionnés par la statique thoracolombaire et varient au cours de la vie sous l'effet du vieillissement du rachis et des déséquilibres pathologiques :
2. **La cyphose thoracique** qui conditionne la pente de T1. Une augmentation de la cyphose thoracique aura pour conséquence l'augmentation de la pente de T1 (**fig. 6**). Même sur un rachis non pathologique, la cyphose thoracique haute se majore avec l'âge, notamment après 65 ans et on observera une augmentation de la pente de T1 [9].
3. **La gîte en T1 (ou en C7)**, elle-même conditionnée par l'équilibre sagittal du rachis thoraco-lombaire qui va faire que la verticale abaissée de T1 (ou C7) va se projeter, selon les cas, en avant ou en arrière du centre des têtes fémorales.

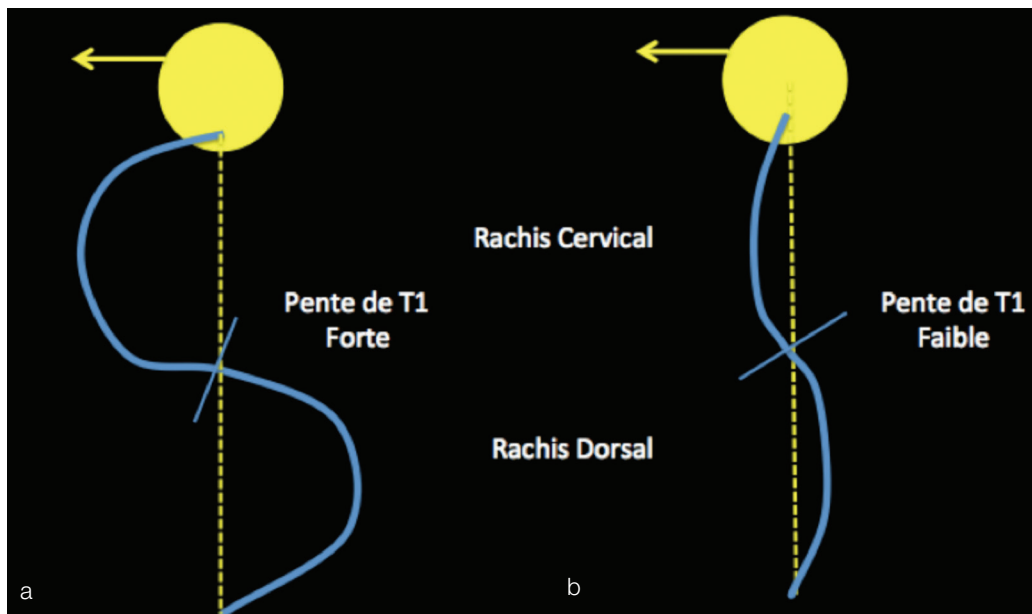
Comme la pente sacrée à l'étage lombo-pelvien, la pente de T1 va influencer l'alignement sagittal du rachis cervical et du crâne afin de maintenir la tête droite, le regard horizontal et une version économique du cou. Ainsi:

- Plus la pente de T1 est faible et plus la lordose cervicale nécessaire pour maintenir le centre de gravité de la tête dans une position équilibrée et un regard horizontal est faible (**fig. 6b**).
- Inversement, plus la pente de T1 est forte et plus la lordose cervicale nécessaire pour maintenir le centre de gravité de la tête dans une position équilibrée et un regard horizontal sera importante (**fig. 6a**) [7].

## L'effet du vieillissement

### L'effet du vieillissement sur l'équilibre du rachis thoraco-lombaire [10-12]

- Sur un rachis bien équilibré de profil, économique, la gîte de C7 passe à proximité de l'angle postéro-supérieur de S1 et en arrière du centre des têtes fémorales (**fig. 7a**).
- Avec le vieillissement, les disques lombaires vont perdre progressivement de l'épaisseur induisant une diminution de la lordose lombaire. En compensation, une rétroversion du bassin avec une apparente flexion des hanches (qui est en réalité une extension) et une



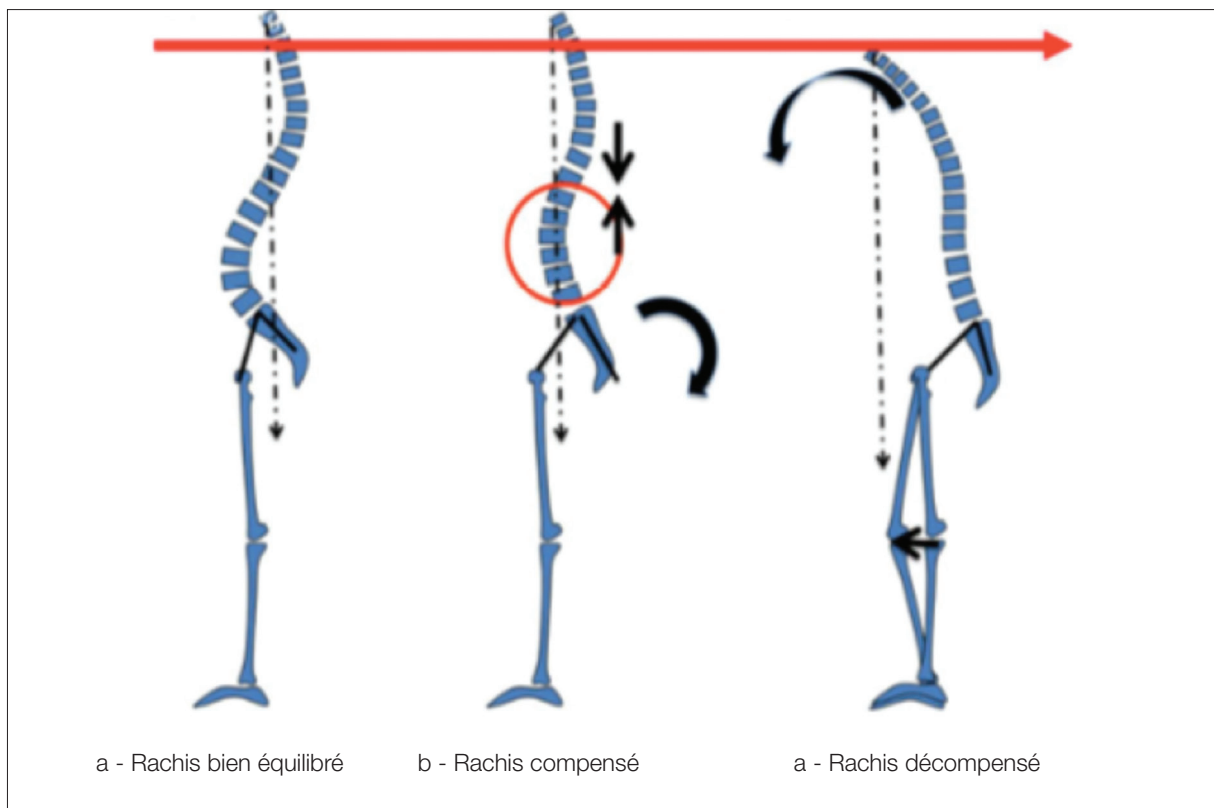
**Fig. 6 :** (a) **La cyphose thoracique** conditionne la pente de T1. Une augmentation de la cyphose thoracique aura pour conséquence l'augmentation de la pente de T1. Comme la pente sacrée à l'étage lombo-pelvien, la **pente de T1 va influencer l'alignement sagittal du rachis cervical** et du crâne afin de maintenir la tête droite, le regard horizontal et une version économique du cou. Ainsi, plus la pente de T1 est forte et plus la lordose cervicale nécessaire sera importante. (b) Inversement, plus la pente de T1 est faible et plus la lordose cervicale nécessaire est faible.

diminution de la pente sacrée va s'observer grâce à une contraction des muscles paravertébraux postérieurs afin de maintenir l'équilibre sagittal du rachis et la gîte de C7 en arrière du centre des têtes fémorales. L'équilibre sagittal du rachis reste compensé, jusqu'à une certaine limite (**fig. 7b**).

- Si la cyphose progresse, la rétroversion du bassin atteint son maximum de réserve et le patient va devoir fléchir les genoux et mettre ses chevilles en dorsiflexion. Ce n'est pas économique car cela nécessite une contraction musculaire des quadriceps et des muscles paravertébraux postérieurs. Progressivement, le rachis se déséquilibre vers l'avant avec une gîte antérieure de C7 qui passe en avant du centre des têtes fémorales quand les mécanismes de compensation sont dépassés. C'est un rachis décompensé (**fig. 7c**).

### L'effet du vieillissement sur le rachis cervical (pincements discaux, uncarthrose, arthrose postérieure, sténose foraminale)

- Au cours du vieillissement, l'augmentation de la cyphose thoracique haute va à son tour augmenter la pente de T1 et tendre à faire plonger le regard vers le bas. Elle va donc nécessiter une augmentation adaptative de la lordose cervicale afin de maintenir au maximum le regard horizontal (**fig. 6a**).
- L'augmentation adaptative de la lordose cervicale va entraîner à son tour une hyperpression sur les articulaires postérieures qui supportent deux tiers du poids de la tête et sur la partie postérieure des disques et notamment les uncus à l'origine d'une uncarthrose et d'une arthrose postérieure qui vont être responsables de sténose foraminale ou centrale.



**Fig. 7 : L'effet du vieillissement sur l'équilibre du rachis thoraco-lombaire.**

(a) : Sur un rachis bien équilibré de profil, économique, la gîte de C7 passe à proximité de l'angle postéro-supérieur de S1 et en arrière du centre des têtes fémorales. (b) Avec le vieillissement, les disques lombaires vont perdre progressivement de l'épaisseur induisant une diminution de la lordose lombaire. En compensation, une rétroversion du bassin avec une apparente flexion des hanches (qui est en réalité une extension) et une diminution de la pente sacrée va s'observer afin de maintenir l'équilibre sagittal du rachis et la gîte de C7 en arrière du centre des têtes fémorales. **L'équilibre sagittal du rachis reste compensé, jusqu'à une certaine limite.** (c) Si la cyphose progresse, la rétroversion du bassin atteint son maximum de réserve et le patient va devoir fléchir les genoux et mettre ses chevilles en dorsiflexion. Ce n'est pas économique car cela nécessite une contraction musculaire des quadriceps et des muscles paravertébraux postérieurs. Progressivement, le rachis se déséquilibre vers l'avant avec une gîte antérieure de C7 qui passe en avant du centre des têtes fémorales quand les mécanismes de compensation sont dépassés. **C'est un rachis décompensé.** J.C. Le Huec, R. Saddiki, J. Franke, J. Rigal, Aunoble. *Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics Eur Spine J (2011) 20 (Suppl 5):S558-S563.*

## Les déformations cervicales primaires et secondaires

Elles peuvent être :

- primaires, essentiellement congénitales,
- secondaires, iatrogènes ou liées à un rhumatisme axial responsable d'une ankylose. Il s'agit essentiellement d'une **cyphose cervicale**. Elles peuvent encore être secondaires à un trouble statique thoracique, lombaire ou pelvien.

## L'impact de la statique cervicale sur la chirurgie

L'objectif de la chirurgie du rachis cervical dégénératif est de corriger les rétrécissements canaux et foraminaux symptomatiques mais aussi, dans la mesure du possible, de restaurer une statique cervicale plus adaptée.

**Quand seulement un ou deux étages intervertébraux** doivent être décomprimés, un abord antérieur est le plus souvent choisi, quel que soit la statique, car c'est un acte chirurgical moins lourd avec des suites opératoires plus simples que l'abord postérieur. De plus par voie antérieure, il est souvent possible, dans une certaine mesure, de corriger partiellement le trouble statique en jouant sur la hauteur des greffons osseux ou des cages intersomatiques et en restaurant une lordose locale

**Quand une libération étendue sur 3 étages** ou plus est nécessaire, Une voie d'abord postérieure parfois associée à un temps antérieur complémentaire sera choisie par la majorité des équipes en tenant compte du trouble statique :

- *Si le rachis est en lordose ou en équilibre neutre*, la grande majorité des équipes privilégie une voie postérieure avec, selon les cas, une laminectomie isolée, une laminectomie avec arthrodèse s'il existe une instabilité, ou une laminoplastie.
- Si à la symptomatologie médullaire s'ajoutent des signes radiculaires, un geste antérieur (foraminotomie et unectomie) est associé.
- *En présence d'une cyphose cervicale*, il y a un risque important que la décompression chirurgicale décompense la cyphose. Un geste d'arthrodèse devient nécessaire soit par voie antérieure ou par voie postérieure. Le geste circonférentiel diminue le risque de démontage et accroît les possibilités de correction de la statique

## Les mesures d'angle utiles à l'étage cervical

- Angle C2-C7 (**fig. 3b**)
- Angle occipito-cervical C0-C2 (**fig. 3a**)
- Pente de T1 (**fig. 4b**)
- **L'offset cervical C2-C7 SVA (sagittal vertical axis) (fig. 8)**
  - Le **C2-C7 SVA normal mesure en moyenne 20 mm**, entre les verticales abaissées de C2 et C7.
  - Il est très bien corrélé à la tolérance clinique et à l'index de qualité de vie HRQOL (*Health Related Quality of Life*) : une augmentation du cSVA est corrélé à une diminution du HRQOL. Plus précisément, un cSVA > 4cm est associée à une dégradation de la qualité de vie [13].



**Fig. 8** : Mesure de la translation antéro-postérieure du rachis cervical : l'axe sagittal vertical cervical C2-C7 ( C2-C7 sagittal vertical axis SVA). C'est la distance entre la verticale à l'aplomb du centre de C2 et l'angle postéro-supérieur du corps vertébral de C7.

## Les autres examens d'imagerie utiles

- Un **examen EOS** rachis entier ou corps entier permet d'évaluer les anomalies statiques de l'ensemble des segments du rachis qui sont intriquées et interdépendantes.
- Des **radiographies dynamiques du rachis cervical de profil** en flexion/extension permettent de rechercher une instabilité atlanto-axoïdienne et d'évaluer la souplesse du rachis cervical.
- Le scanner permet :
  - D'obtenir des repères osseux pour la planification pré-opératoire de l'instrumentation
  - Dans les déformations fixées, de préciser l'exten-

sion de l'ankylose des articulaires postérieures et des ponts ostéophytiques discaux afin de déterminer si une ostéotomie uniquement antérieure ou antérieure et postérieure est nécessaire.

- **L'IRM** permet d'évaluer le retentissement médullaire. Les anomalies de la statique du rachis cervical et notamment une cyphose importante peuvent être responsables d'une myélopathie même en l'absence de canal cervical rétréci : en effet, la cyphose augmente la tension sur le cordon médullaire ce qui peut entraîner un amincissement de la moelle, une augmentation de la pression intramédullaire, une compression de l'apport vasculaire et enfin une ischémie et une démyélinisation [14, 15].

## Bibliographie

1. Scheer JK, Lau D, Ames CP. Sagittal balance of the cervical spine. *Journal of Orthopaedic Surgery* 2021; 29(IS) : 47S-58S.
2. Gay RE. The curve of the cervical spine: variations and significance. *J Manipulative Physiol Ther* 1993; 15: 591-594.
3. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, *et al.* Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine* (Phila Pa 1976) 1997; 22: 1472-80; discussion 80.
4. Jackson RP and Mc Manus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine* (Phila Pa 1976) 1994; 19: 1611-8.
5. Roussouty P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 2005; 30: 346-53
6. Gore DR, Sepic SB and Gardner GM. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine* (Phila PA 1976) 1986; 11: 521-4.
7. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, *et al.* Cervical Radiographical Alignment. Influence of spinla deformity on management and outcome of cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 2013; 38(22S): 149-60
8. Scheer JK, Tang JA, Smith JS, *et al.* Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications. *J Neurosurg Spine* 2013 ; 19 : 141-159.
9. Charles YP, Prost S, Pesenti S, *et al.* Variation of cervical sagittal alignment parameters according to gender, pelvic incidence and age. *Eur Spine J* 2022 janv.
10. Le Huec JC, Leijssen P, Duarte M, Aunoble S. Thoraco-lumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique. *Eur Spine J* 2011; 19(Suppl 3):S233-S364.
11. Le Huec JC, Charosky S, Barrey C. Sagittal imbalance cascade for simple degenerative spine and consequences: algorithm of decision for appropriate treatment *Eur Spine J* (2011) 20 (Suppl 5):S699-703.
12. Le Huec JC, Saddiki R, Franke J, Rigal J, Aunoble S. Equilibrium of the human body and the gravity line: the basics. *Eur Spine J* (2011) 20 (Suppl 5): S558-63
13. Tang JA, Scheer JK, Smith HJ, *et al.* Comparison of best versus worst clinical outcomes for adult cervical deformity surgery. *Global Spine J* 2019; 9 :303-14.
14. Tachibana S, Kitahara Y, Iida H, *et al.* Spinal cord intramedullary pressure. A possible factor in syrinx growth. *Spine* (Phila Pa 1976) 1994 ; 19 : 2174-8 ; discussion 8-9.
15. Shimizu K, Nakamura M, Nishikawa T, *et al.* Spinal kyphosis causes demyelination and neuronal loss in the spinal cord: a new model of kyphotic deformity using juvenile Japanese small game fowls. *Spine* (Phila Pa 1976) 2005; 30: 2388-92.