

# Manutention

## en milieu de travail

### Qu'est-ce que l'approche biomécanique

André Plamondon, IRSST

**L'approche biomécanique vise à ce que la charge supportée par les tissus d'un individu n'excède pas la capacité de son système musculosquelettique. Les critères les plus fréquents s'appuient sur les forces de compression et de cisaillement que les vertèbres lombaires doivent supporter, ainsi que sur la valeur des moments aux articulations.**

La capacité de résister aux charges externes et internes dépend notamment de l'âge, du poids et du sexe d'un individu, du niveau vertébral (lombaire, thoracique ou cervical) où s'exercent les forces, du type de chargement (compression ou cisaillement) et de la posture. L'âge et le sexe sont déterminants, la capacité des vertèbres diminuant généralement avec l'âge et les femmes ayant habituellement une capacité inférieure aux hommes.

En raison du grand nombre de facteurs qui entrent en jeu dans la résistance des vertèbres, il est très difficile de fixer une limite de chargement ou un poids limite à un contenant à manipuler. Actuellement, le seuil le mieux connu est celui de la force en compression du NIOSH, établi à 3,4 kilonewton (kN) (3 400 N ou 340 kgf<sup>1</sup>). Il protégerait la quasi-totalité des hommes (99 %) et les trois quarts des femmes (75 %). Ce seuil a été fréquemment contesté (Jagger and Luttman, 1999) parce qu'il ne tient pas compte de l'âge, comme le souligne le tableau ci-dessous.

*Effet de l'âge et du sexe sur la résistance des vertèbres à supporter des charges en compression*

| Âge | Femme<br>Charge (kN) | Homme<br>Charge (kN) |
|-----|----------------------|----------------------|
| 20  | 4,4                  | 6,0                  |
| 30  | 3,8                  | 5,0                  |
| 40  | 3,2                  | 4,0                  |
| 50  | 2,6                  | 3,0                  |
| 60  | 2,0                  | 2,0                  |

Note : Valeur limite recommandée par NIOSH : 3,4 kN (340 kgf) pour tous les âges et les deux sexes.

<sup>1</sup> Bien que l'unité de mesure de force est généralement le newton (N), on peut aussi rencontrer l'unité de kilogramme-force (1kg = 1kgf).

Toutefois, le seuil du NIOSH a l'avantage de protéger un peu plus que moins. Quant au seuil acceptable en cisaillement, il y a consensus pour le situer autour de 1,0 kN (1 000 N ou 100 kgf), bien que peu d'études documentent cette question.

**Critères acceptables :**            3 400 N en compression  
    1 000 N en cisaillement

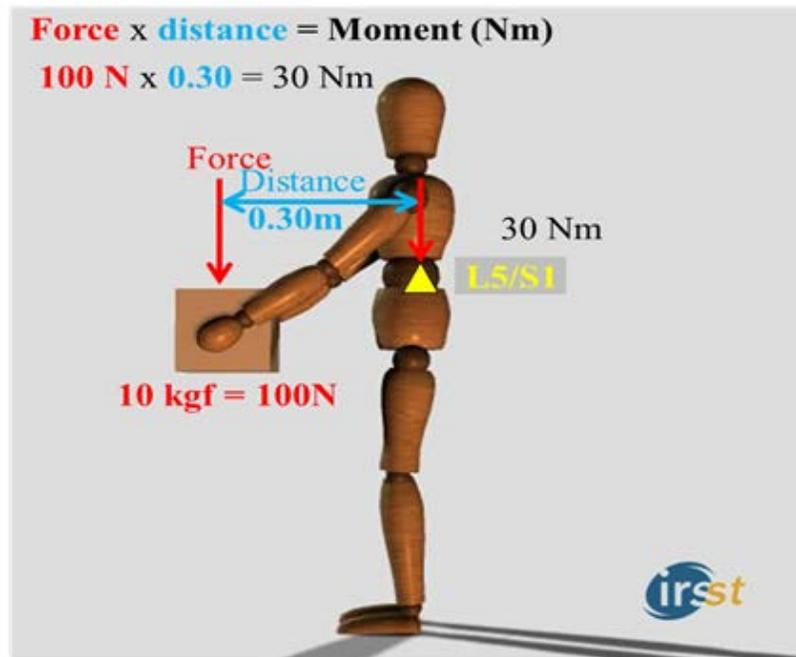
### Moment de force

**Un moment de force** se définit comme une force qui fait tourner un système autour d'un point pivot. Le produit de la force de rotation (F) par la distance (D) entre la force et le pivot s'appelle un moment de force et l'unité de référence est le newton-mètre. Il est important de noter que la force et la distance doivent être perpendiculaires (à un angle de 90°) l'un de l'autre.

Le newton (N) se définit comme suit :  $F = ma$  (Force = masse x accélération)

Exemple :  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$

Une force de 1 N appliquée sur une masse de 1 kg produit une accélération de  $1 \text{ m/s}^2$ . Le poids d'un objet sur Terre subit une accélération de  $9,81 \text{ m/s}^2$  en raison de la gravité. Par conséquent, une masse de 1 kg subit une force gravitationnelle de près de 10 N, soit  $1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$ .

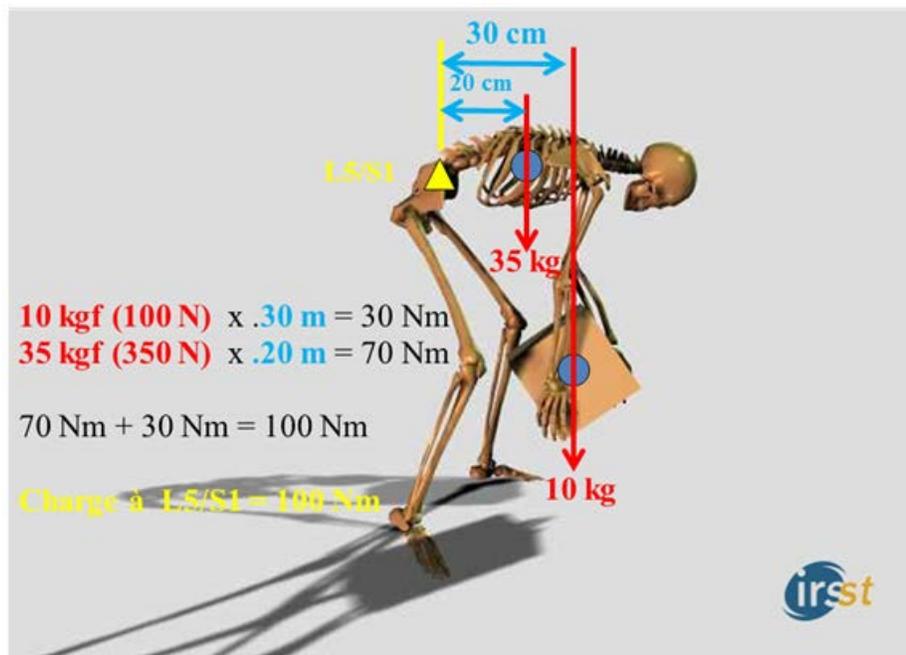


Un travailleur qui tient une charge de 10 kg (10 kgf ou 100 N) à une distance de 0,30 m produira un moment de force de 30 Nm à l'articulation lombo-sacrée (L5/S1).

La force maximale des manutentionnaires peut varier grandement, mais celle des sujets qui ont été évalués dans notre laboratoire ([pour la recherche comparant les façons de faire des experts et des novices](#)) s'élevait en moyenne à 335 Nm. Une charge de 42 Nm ne représente donc que 13 % de leur force maximale dans une position debout statique.

Plus la charge à supporter et plus la distance sont élevées, plus le moment de force et le chargement lombaire sont grands. Ce n'est pas un hasard si l'un des principes de manutention les plus connus consiste à réduire la distance entre la charge et la colonne vertébrale (L5/S1).

La situation se complexifie lorsqu'un manutentionnaire se penche vers l'avant. Le poids du tronc étant une composante importante du chargement au dos, il faut toujours en tenir compte. Dans l'exemple ci-dessous, le poids du tronc ajoute 70 Nm à la charge de 30 Nm pour un total de 100 Nm.



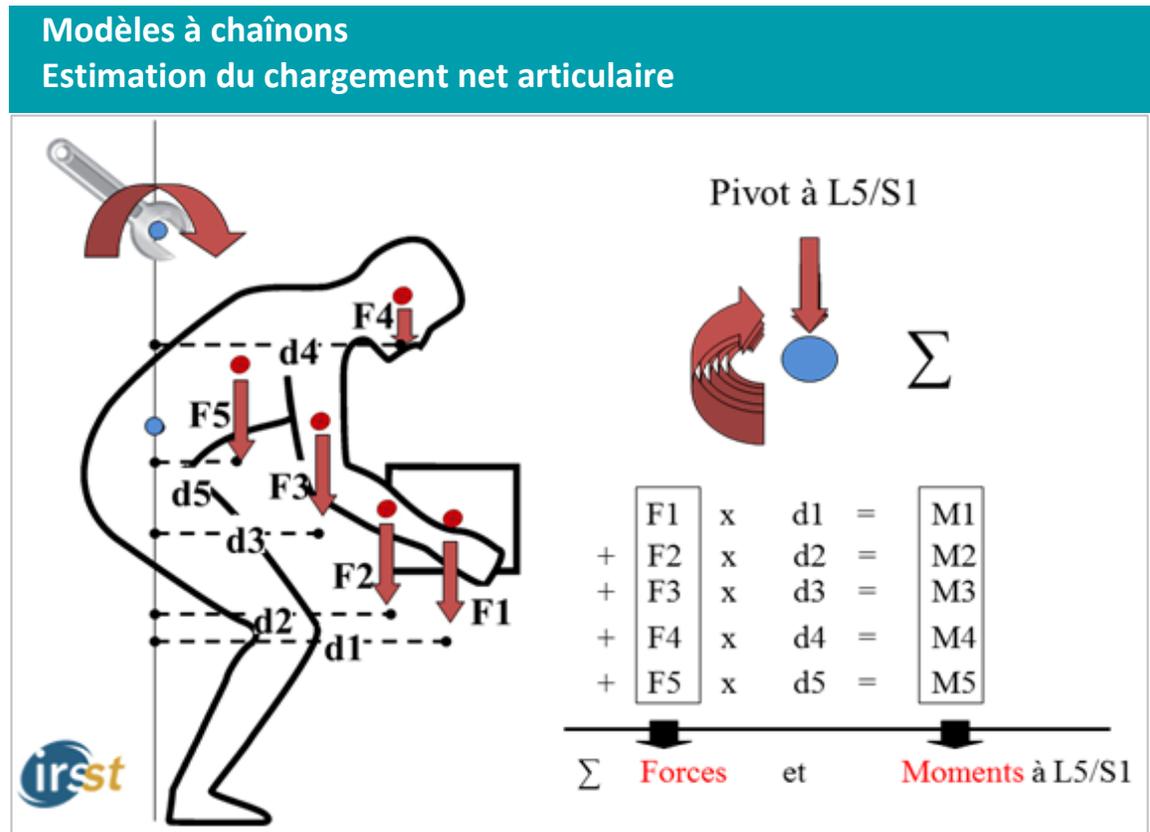
Dans cet exemple, la ligne bleue indique la valeur du moment de force à L5/S1. Au début, on constate que le moment de force est élevé près du sol en raison de la distance de la caisse et de l'inclinaison du tronc. Par la suite, le moment de force diminue au fur et à mesure que la caisse s'élève et se rapproche du tronc et que ce dernier se redresse. Lorsque le manutentionnaire éloigne la caisse de nouveau (à l'horizontale), on peut voir que le moment de force s'accroît.



[Voir la vidéo](#)

Qu'est-ce que l'approche biomécanique

En fait, tous les segments situés au-dessus de L5/S1 sont importants, mais en raison de leur poids moindre, ils sont souvent négligés dans l'estimation du moment de force à L5/S1. Ce type de modèle est à la base de l'estimation des forces de compression et de cisaillement à L5/S1.

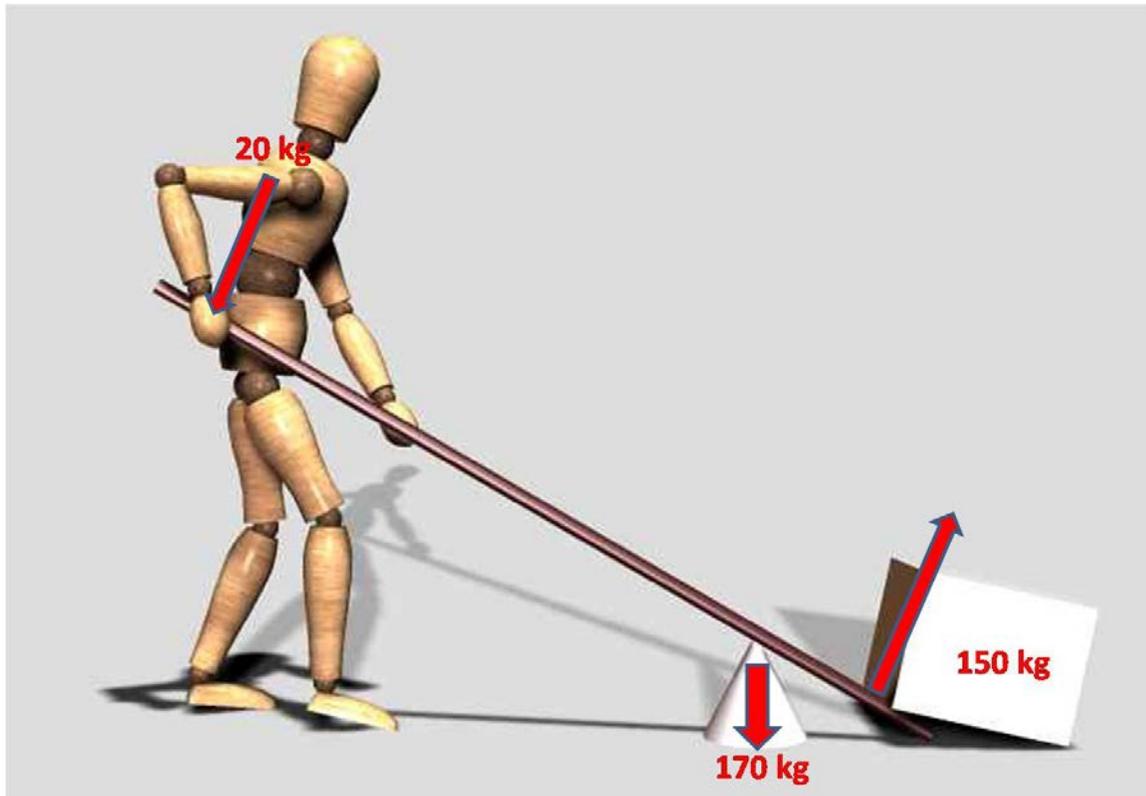


Dans cette figure, tous les segments du haut du corps sont inclus dans le calcul du moment à L5/S1. Il suffit pour l'obtenir d'effectuer la somme des moments générés par chacun des segments par rapport à L5/S1.

### Force de compression

La littérature scientifique fait souvent état de l'importance des moments de force dans l'incidence des lésions au dos, mais tout autant des forces de compression et de cisaillement appliquées sur les vertèbres lombaires et plus particulièrement sur la 5<sup>ème</sup> vertèbre lombaire.

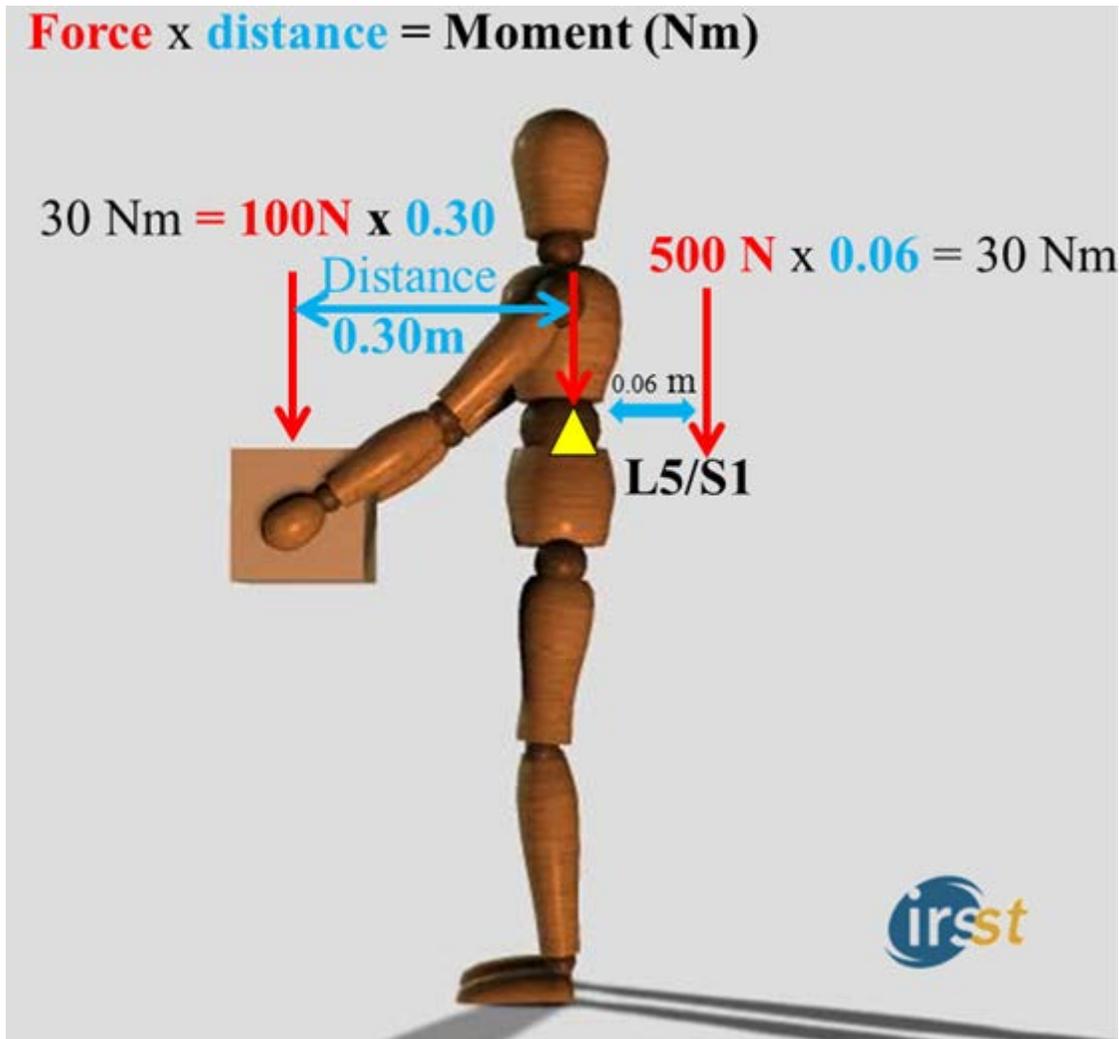
D'où viennent ces forces de compression et de cisaillement?



Prenez le travailleur ci-dessus qui déplace une pierre avec un levier. Les moments de force de part et d'autre du pivot sont égaux, mais pas les forces. Ainsi, plus la distance entre la prise des mains et le pivot est élevée, moins le travailleur aura à appliquer de force pour déplacer la pierre. Dans cet exemple, le travailleur applique 200 N (20 kgf) de force pour soulever une pierre de 1500 N (150 kgf). La force appliquée sur le pivot (force de compression) est constituée de la force appliquée par le travailleur, soit 200 N (20 kgf), additionnée à celle du poids de la pierre, soit 1500 N (150 kgf), pour un total de 1700 N (170 kgf). Toute personne qui a déjà utilisé un levier sait combien il est important que le sol soit solide pour supporter la charge totale du système. Un pivot placé sur une surface gazonnée aura tôt fait de s'enfoncer dans le sol à cause de l'ampleur de la force de compression appliquée sur le pivot.

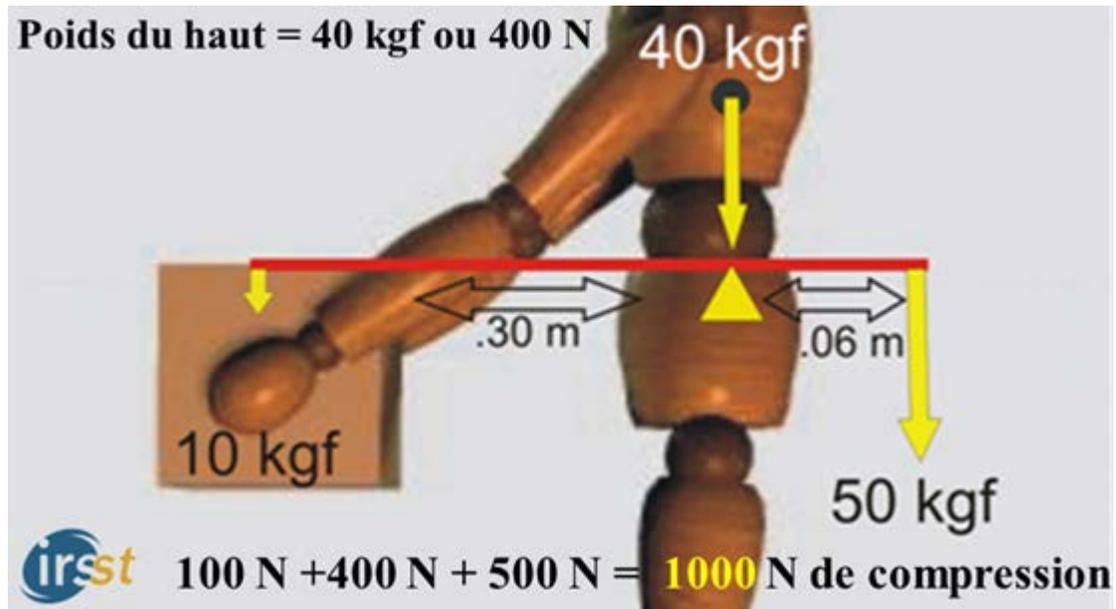
Quel rapport avec la colonne vertébrale ?

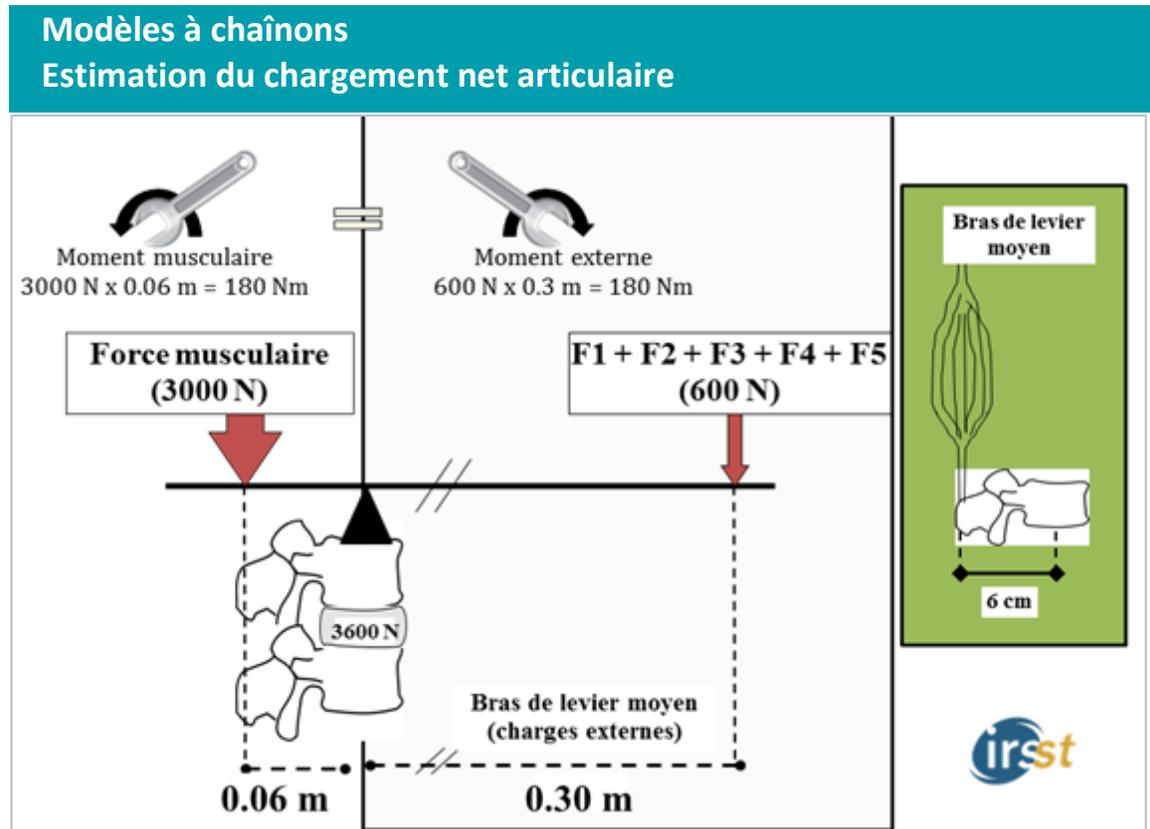
Le même principe s'applique à la colonne vertébrale. Dans la figure qui suit, le moment de la charge par rapport à L5/S1 est de 30 Nm. Pour équilibrer ce moment, les muscles du dos doivent exercer un moment équivalent, soit 30 Nm. Comme la distance des muscles du dos est très petite (6 cm), la force des muscles doit être très élevée. Dans ce cas-ci, 500 N de force sont nécessaires. La somme des forces de la charge (100 N) additionnée à celle des muscles (500 N) constitue la force de compression qui sera appliquée sur la vertèbre lombaire, soit 600 N.



Qu'est-ce que l'approche biomécanique

Toutefois, il ne faut pas négliger le poids du haut du corps qui exerce également une force de compression sur la vertèbre lombaire. Si l'on additionne la force de la caisse (100 N), celle des muscles (500 N) et celle du poids du torse (400 N), on obtient une force de compression totale de 1000 N.



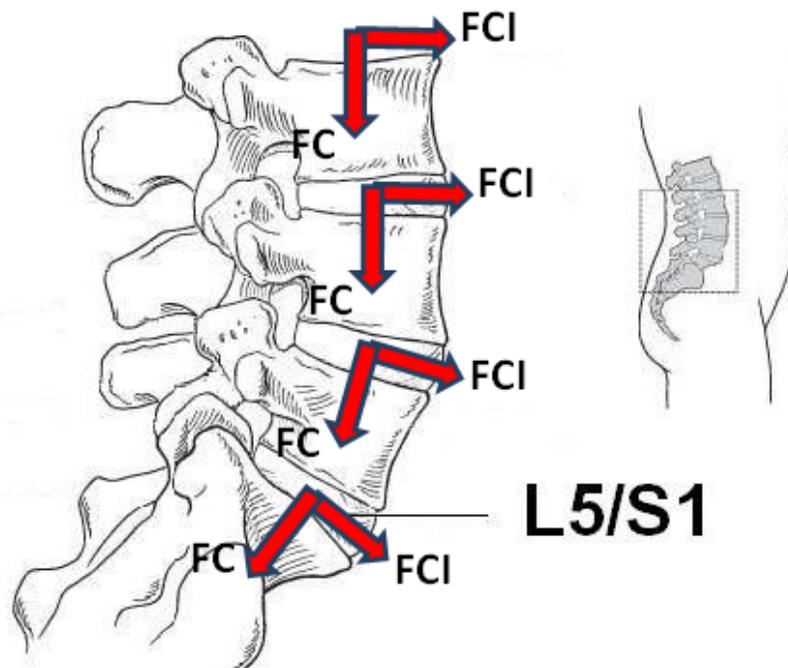


Cet autre exemple illustre l'équilibre entre le moment externe (180 Nm) de la charge et du poids des segments du modèle à chaînon (voir plus haut), celle des muscles (180 Nm) et la force de compression de 3600 Nm (en négligeant la contribution du poids du haut du corps).

Enfin cette vidéo illustre l'importance des muscles et du moment externe sur les forces de compression. [Voir la vidéo](#)

### Force de cisaillement

Une force de cisaillement est une force appliquée de manière parallèle ou tangentielle à une face d'un matériau, par opposition aux forces de compression normales qui sont appliquées de manière perpendiculaire. Dans le cas d'une vertèbre, cette force agit en parallèle au plateau vertébral. On distingue une force de cisaillement antéro-postérieure et une force de cisaillement medio-latérale. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, l'orientation des forces de compression et de cisaillement n'est pas identique le long de la colonne lombaire.



**FC = Force de compression**

**FCI = Force de cisaillement antéro-postérieure**

La colonne vertébrale est construite de manière à mieux supporter les forces de compression que les forces de cisaillement, probablement en raison de la très grande contribution des muscles du dos à cette force de compression. Il en résulte que la limite acceptable des forces de cisaillement est beaucoup moins élevée que celle de la force de compression.

### **Comment déterminer une limite acceptable**

Pour déterminer si une tâche se situe dans des limites acceptables, on utilise des modèles biomécaniques qui, dans un premier temps, évaluent le chargement externe du moment net à L5/S1 et, dans un second temps, le chargement interne des forces de compression et de cisaillement sur les vertèbres. Par la suite, on vérifie les conditions dans lesquelles le chargement (externe ou interne) demeure dans une limite acceptable, par exemple 3 400 N en force de compression.

Les modèles biomécaniques varient en complexité, mais les calculs du chargement externe peuvent se résumer à quatre facteurs (Hof, 1992b) :

- les forces externes qui agissent sur le corps (le poids de l'objet et son éloignement du dos) ;
- les poids segmentaires (liés à la posture du corps) ;
- les accélérations linéaires au centre de masse ;
- les accélérations angulaires segmentaires (la vitesse d'exécution).

Cette approche permet d'évaluer l'importance de chacun des quatre facteurs dans le chargement au dos. Ainsi, le chargement à l'articulation L5/S1 est élevé si la charge externe est grande (poids de la caisse), si les masses segmentaires, par exemple les bras, sont éloignées de L5/S1 et si les composantes inertielles ou les accélérations angulaires sont élevées.

Les nombreuses études qui ont évalué cette approche confirment l'influence de ces facteurs sur le chargement au dos. Pour chacun d'entre eux, on a observé que le chargement lombaire pour le moment résultant à L5/S1 augmentait avec un accroissement de la charge (Schipplein et coll., 1990 ; Lavender et coll., 2003 ; Granata and Marras, 1999), de la vitesse d'exécution (Buseck et coll., 1988 ; Bush-Joseph et coll., 1988 ; Granata and Marras, 1999) ou de la distance verticale et horizontale de la charge (Schipplein et coll., 1995 ; Lavender et coll., 2003).

Il existe des versions simplifiées des modèles biomécaniques qui permettent d'évaluer approximativement le risque au dos. La plupart de ces versions tiennent compte des quatre facteurs de Hof (1992). Comme ceux-ci sont directement associés aux forces de compression et de cisaillement, ces modèles simplifiés peuvent fournir une mesure adéquate du chargement au dos et favoriser une intervention, si nécessaire, pour réduire le niveau de risque de blessure.

### **La stabilité de la colonne vertébrale**

On présume qu'une grande partie des blessures au dos serait le résultat d'efforts excessifs, mais ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, comment expliquer qu'une personne se blesse au dos en ramassant un crayon au sol ?

Une nouvelle hypothèse de recherche pourrait élucider cette problématique en tenant compte de la stabilité de la colonne vertébrale. En soi, la colonne vertébrale est instable et s'affaisse facilement sans l'apport des muscles. Sa rigidité est donc assurée par la contraction des muscles qui l'entourent. On suppose qu'une blessure peut se produire lorsque le recrutement musculaire se fait incorrectement, perturbant la stabilité de la colonne et causant des déplacements vertébraux qui entraînent des lésions aux tissus. Ainsi, une personne dont le temps de réponse réflexe musculaire serait plus lent qu'une autre pourrait être plus à risque de blessure au dos.

Il n'existe pas encore à notre connaissance de critères pratiques permettant de savoir si une personne est à risque d'être instable. Toutefois, on peut logiquement penser qu'un manutentionnaire en état de fatigue élevée a plus de chance d'effectuer un geste moteur erroné qui mettra à risque la stabilité de sa colonne vertébrale. Une mesure de prévention possible consiste donc à respecter les critères décrits dans l'approche physiologique.