

L'équilibration

Balancing

Alain Bauwens^a
Pierre-Yves Libois^b
Claire Michel^b
Justine Bogers^b
Alyssiane Röhl^b
Patrick Kalenga^b
Mathilde Libois^b
Véronique Carlier^b

^aService ORL, CHU UCL Namur, site de Dinant,
5500 Dinant, Belgique

^bCentre neurologique de réadaptation enfants-adultes
CNR542, 6110 Montigny-le-Tilleul, Belgique

RÉSUMÉ

L'équilibration permet à l'être humain de rester debout et de se déplacer malgré la gravité. L'être humain, sur ses deux jambes, ajuste constamment sa posture pour ne pas tomber. Pour y parvenir, le cerveau intègre les informations provenant des yeux, des muscles, des articulations, de la peau, de l'oreille interne, et même des viscères, et bien sûr, des mémoires. La gravité est un référentiel essentiel de l'espace. La tête et le regard sont soit stabilisés, soit réorientés afin de guider les mouvements et éviter la chute. L'équilibration est assurée par le système nerveux central (SNC) grâce à des ajustements permanents, automatiques et réflexes, qui s'adaptent aux changements de l'environnement.

© 2026 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés, y compris ceux relatifs à la fouille de textes et de données, à l'entraînement de l'intelligence artificielle et aux technologies similaires.

SUMMARY

Balance allows humans to stand upright and move around despite gravity. Humans, standing on two legs, constantly adjust their posture to avoid falling. To achieve this, the brain integrates information from the eyes, muscles, joints, skin, inner ear, and even the viscera, and of course, memories. Gravity is an essential reference point in space. The head and gaze are either stabilised or reoriented to guide movements and prevent falls. Balance is maintained by the central nervous system (CNS) through constant, automatic and reflexive adjustments that adapt to changes in the environment.

© 2026 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

LE SENS DE LA VERTICALITÉ

La fonction d'équilibration permet à l'être humain de se tenir debout et de se déplacer tout en faisant face aux lois physiques qui s'appliquent à la surface de la terre. Parmi celles-ci la gravité est le paramètre essentiel et invariable auquel il doit se référer et avec laquelle il doit composer, mais il y en a d'autres, comme les forces de friction au sol, les forces de frottement qui s'opposent au déplacement, les forces qui s'appliquent au corps en accélération ou en décélération. L'homme est le seul mammifère devenu bipède exclusif. Cette évolution a rendu

l'équilibration beaucoup plus complexe puisqu'avec elle, il a fallu relever un nouveau défi : faire en sorte que la projection du centre de masse du corps tombe dans une surface de sustentation au sol beaucoup plus petite.

Il convient de différencier l'**équilibre statique** existant lorsqu'un corps est sans mouvement, de l'**équilibre dynamique** survenant lorsqu'un corps est soit en mouvement volontaire, soit soumis à une perturbation externe. Lorsqu'un corps est en mouvement, il est dans un état de **déséquilibre transitoire**. En effet, en mouvement, l'équilibration consiste à gérer et à contrôler les sorties de la projection du centre de masse hors de la base de sustentation

MOTS CLÉS

Équilibration
Intégration sensorielle
Multimodalité
Regard
verticalité

KEYWORDS

Balance
Sensory integration
Multimodality
Perspective
verticality

Auteur correspondant :

A. Bauwens,
service ORL, CHU UCL Namur,
site de Dinant, 5500 Dinant,
Belgique.
Adresse e-mail :
alain.bauwens@chuucnamur.uclouvain.be

<https://doi.org/10.1016/j.rfo.2026.04.001>

© 2026 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés, y compris ceux relatifs à la fouille de textes et de données, à l'entraînement de l'intelligence artificielle et aux technologies similaires.

1

en raison des accélérations ou des décélérations du corps. Ce contrôle s'opère grâce au recueil des informations sensorielles qui informent par des voies parallèles le système nerveux central (SNC) des écarts de la position réelle par rapport à la position programmée, elle-même étant ajustée par rapport à l'axe gravitaire. La gravité est donc un vecteur essentiel de référence à la base du **sens de la verticalité**.

L'homme peut être comparé à un gratte-ciel monté tout en hauteur ; les contraintes qui s'appliquent à son sommet sont énormes. L'image du *pendule inversé* introduite en posturologie par Gagey [1] illustre bien la comparaison et permet de comprendre les raisons des oscillations permanentes qui animent l'équilibre du corps humain.

D'une manière synthétique, on peut considérer que la base de l'édifice se stabilise grâce à un ancrage au sol, toujours fiable et source de sécurité, par la somesthésie, tandis que le haut de l'édifice doit s'ancrer dans l'espace, par la vision périphérique et le signal otolithique, ce qui constitue physiologiquement la plus grosse difficulté.

- La Fig. 1 représente la façon dont le corps humain utilise les différentes ressources sensorielles à sa disposition pour le maintien de son équilibre en fonction du niveau de hauteur par rapport au sol.

Soulignons que l'activité humaine, toujours régie par des mécanismes d'équilibration réflexes ou automatiques, autorise fort heureusement une totale indépendance de l'extrémité céphalique par rapport au corps. Ceci sous-entend que la tête doit pouvoir assurer sa propre stabilité dans l'espace quels que soient la position ou le mouvement du corps. Cette liberté d'action fait de la tête une véritable plateforme de contrôle de l'activité humaine. Servant de support au regard,

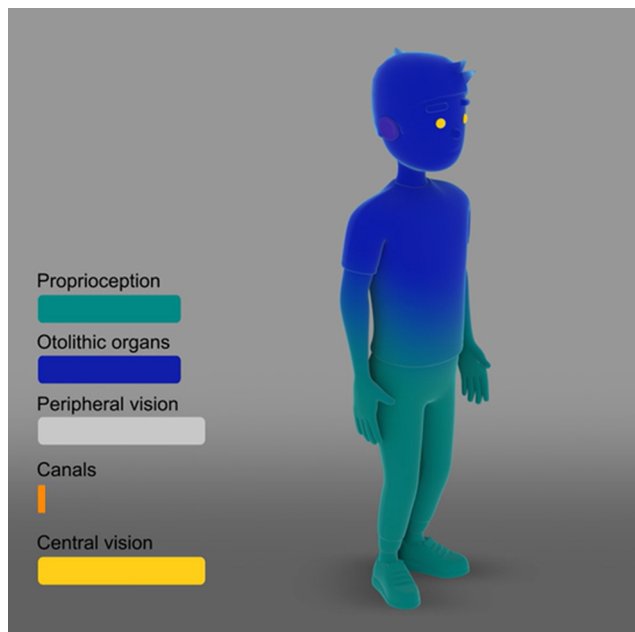


Figure 1. Équilibration stable. Le corps humain utilise les différentes ressources sensorielles à sa disposition pour le maintien de son équilibre en fonction du niveau de hauteur par rapport au sol. En vert : la somesthésie ; en bleu : l'information otolithique ; en gris clair : la vision périphérique (espace) ; en jaune : la vision centrale (un détail dans l'espace).

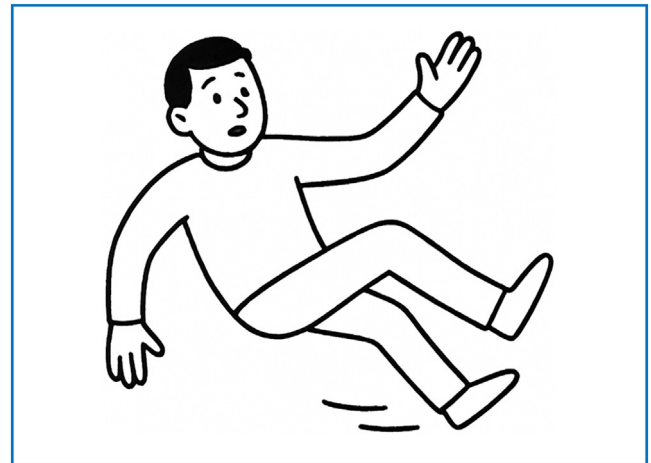


Figure 2. Chute en cas de déséquilibre ou de chute, la tête reste stabilisée dans l'espace afin d'éviter qu'elle ne rentre en contact avec le sol.

elle guide la motricité, de la locomotion au geste le plus précis.

- **La position de la tête dans l'espace reste l'élément capital de l'équilibration** et le maintien d'une position « tête droite » constitue, à ce titre, une priorité, essentiellement afin d'être préservée en cas de chute. Ainsi, en cas de glissade après avoir posé le pied sur une plaque de verglas, la tête reste stabilisée dans l'espace (Fig. 2) ; ceci afin d'éviter qu'elle ne rentre en contact avec le sol ou de minimiser l'importance de l'impact éventuel.
- De même, **lors de la course ou d'une activité physique quelconque, le maintien de la tête et du regard dans le plan horizontal de l'espace est impressionnant.** C'est bien le regard qui contrôle l'action et son bon déroulement (Fig. 3), et qui permet l'anticipation du mouvement et la programmation du geste.
- La liberté d'action et l'indépendance de la tête par rapport au corps supposent qu'elle peut pivoter, s'incliner, vers l'avant, vers l'arrière ou sur le côté, avec l'intention ou non de réorienter la direction du regard. Cette **coordination œil-tête** hautement complexe fait intervenir essentiellement l'appareil vestibulaire (canales et otolithique) et la commande saccadique sous le contrôle cérébelleux [2]. Le vestibule montre ici sa fonction essentielle dédiée au pilotage et à la stabilisation du regard, toujours en référence à la gravité mais aussi au référentiel égocentré dénommé « droit devant ». Lors d'une réorientation du regard (Fig. 4), l'œil, toujours plus rapide, démarre avant la tête pour accomplir sa saccade alors que la tête, avec un peu de retard, achève le mouvement saccadique tout en permettant d'en augmenter l'amplitude. Au cours de cette saccade, la vision n'est plus disponible (éclipse visuelle). La *stabilité perceptive*, la conservation des référentiels subjectifs égocentrés que sont les *sens de la verticalité* et du *droit devant* font en sorte que la mobilisation des yeux dans leur orbite, de la tête sur les épaules et du regard dans l'espace se réalisent sans mauvaise interprétation du mouvement. Ainsi, **le SNC fait la différence entre un mouvement du corps propre et celui de la scène visuelle lors des brefs instants de glissement rétinien.**

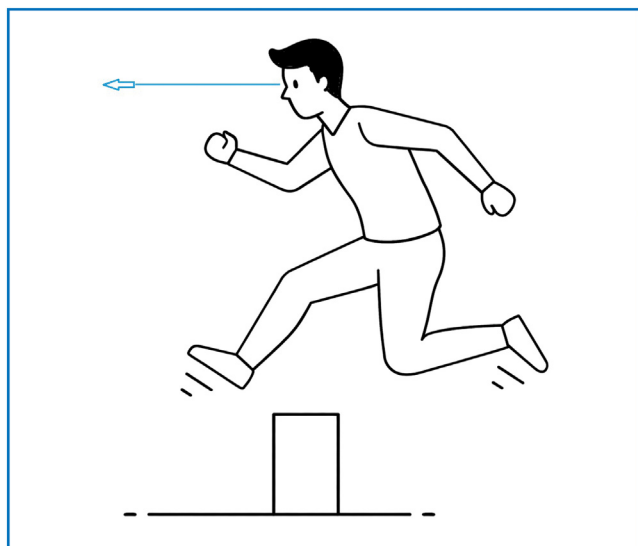


Figure 3. **Équilibration en activité physique** lors de la course ou d'une activité physique, la tête et le regard sont stabilisés dans l'espace avec une grande précision dans le plan horizontal. Le regard contrôle l'action et son bon déroulement.

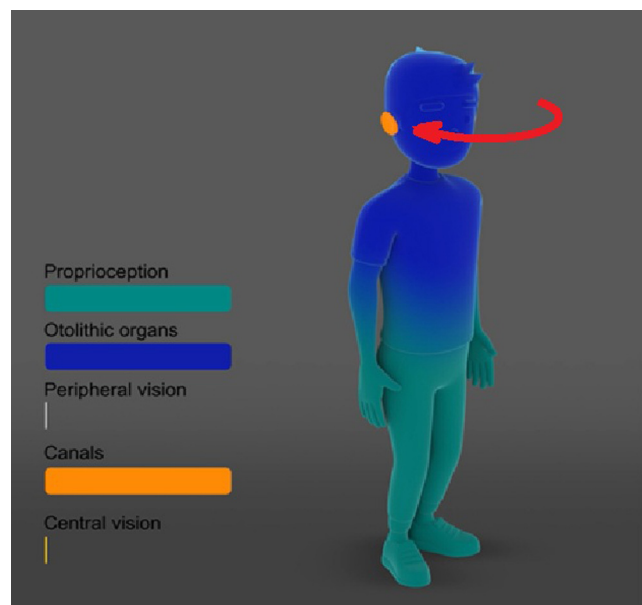


Figure 4. **Équilibration, réorientation regard** lors d'une réorientation du regard, l'œil, toujours plus rapide, démarre avant la tête pour accomplir sa saccade alors que la tête, avec un peu de retard, achève le mouvement saccadique tout en permettant d'en augmenter l'amplitude. Au cours de cette saccade, la vision n'est plus disponible (éclipse visuelle).

Les mécanismes qui régissent la locomotion ne seront pas développés ici. Seuls les aspects sensoriels impliqués dans la bonne gestion de l'équilibration seront abordés de manière à rendre compte de l'importance des rôles dévolus à chaque canal sensoriel et à l'intermodalité.

CADRE THÉORIQUE : INTÉGRATION DES SYSTÈMES SENSORIELS ET DYNAMIQUE TONIQUE-PHASIQUE

L'organisation fonctionnelle du système nerveux central repose sur l'intégration hiérarchisée de multiples afférences sensorielles, dont la finalité commune est d'assurer une orientation efficace dans l'espace, une identification pertinente de l'environnement et une stabilité posturale adaptative. Ces fonctions émergent de l'interaction dynamique entre les systèmes visuel, somesthésique, auditif, vestibulaire et végétatif, chacun contribuant selon des modalités spécifiques et complémentaires.

RÔLE DIFFÉRENCIÉ DES SYSTÈMES SENSORIELS

- Le **système visuel** occupe une position singulière au sein de cette organisation. Il participe simultanément aux processus d'orientation spatiale et d'identification des objets, ce qui en fait une fonction sensorielle particulièrement aboutie. Doté d'une relative autonomie fonctionnelle, le système visuel peut, à lui seul, guider le déplacement et l'orientation dans l'espace. Toutefois, son efficacité maximale dépend de son intégration avec les autres afférences sensorielles, notamment vestibulaires et somesthésiques, qui fournissent des informations complémentaires sur la position du corps et les accélérations. L'information visuelle la plus rapide, issue des basses fréquences (BF) spatiales (voies magnocellulaires), fournit un aperçu global de la structure de l'image et permet une première catégorisation perceptive. Les informations précises et détaillées issues des hautes fréquences (HF) spatiales dont l'extraction est plus tardive (voies parvocellulaires) affinent la construction de l'image. La voie magnocellulaire constitue ainsi le canal sensoriel visuel le plus performant pour une voie rapide.
- La **somesthésie** peut également fonctionner de manière relativement indépendante de la vision. En l'absence de repères visuels, un sujet peut s'orienter et se déplacer grâce aux informations proprioceptives et cutanées. De la même manière, la vision peut partiellement compenser une altération somesthésique. Néanmoins, le rendement fonctionnel de chacun de ces systèmes est nettement optimisé lorsqu'ils fonctionnent en synergie, illustrant le caractère fondamentalement intégratif du contrôle postural et moteur.
- Le **système auditif**, en revanche, se distingue par une implication moindre dans les mécanismes d'orientation posturale. Son rôle est principalement orienté vers l'identification des événements de l'environnement, notamment par la localisation spatiale des sources sonores. À l'inverse, la somesthésie est davantage impliquée dans l'orientation que dans l'identification. Le système visuel, quant à lui, constitue le point de convergence de ces deux fonctions, participant activement à l'orientation et à l'identification.
- Les **systèmes vestibulaire et végétatif** se caractérisent par une faible autonomie fonctionnelle. Ils ne disposent pas d'aires corticales primaires dédiées et projettent directement vers des structures associatives et sous-corticales. Leur rôle est fondamentalement intégratif et régulateur, participant à l'ajustement rapide et réflexe des réponses posturales,

oculomotrices et neurovégétatives face aux perturbations inattendues de l'équilibre.

ONTOGÉNÈSE ET CONSTRUCTION MULTISENSORIALE

D'un point de vue ontogénique, la fonction visuelle se développe rapidement mais demeure la plus tardive à atteindre sa maturité fonctionnelle complète. Cette maturation progressive impose au nouveau-né une succession d'étapes spécifiques, notamment au niveau des fonctions oculomotrices et visuelles, conditionnant l'accès à l'autonomie et aux apprentissages. Le système neurovisuel se construit ainsi sous l'influence continue de stimuli multisensoriels, dont l'intégration est indispensable au développement harmonieux des fonctions perceptivo-motrices.

Les données expérimentales issues de modèles animaux illustrent l'importance de cette intégration précoce : une privation sensorielle, même transitoire, peut entraîner des altérations durables, voire irréversibles, du développement sensorimoteur. Ces observations soulignent le caractère plastique mais vulnérable des mécanismes d'intégration multisensorielle.

ÉTATS FONCTIONNELS TONIQUE ET PHASIQUE

L'intégration multisensorielle s'organise selon une dynamique physiologique que l'on peut décrire à travers deux états fonctionnels complémentaires : un état tonique et un état phasique.

- **L'état tonique** correspond à une situation d'homéostasie fonctionnelle, dans laquelle l'ensemble des afférences sensorielles converge de manière cohérente afin de maintenir un équilibre optimal. La station debout, yeux ouverts, sur une plateforme de forces constitue un exemple paradigmatique de cet état. Le stabilogramme, qui représente le déplacement du centre de pression au cours du temps, est une expression objective de cet état tonique. Bien que qualifié de « tonique », cet état n'est en rien statique : il s'agit d'un système dynamique adaptatif, caractérisé par des oscillations permanentes dans les trois plans de l'espace. Ces oscillations évoluent en fonction des perturbations sensorielles. Toute modification des afférences visuelles, somesthésiques, auditives ou vestibulaires entraîne une réorganisation adaptative du contrôle postural, se traduisant par des changements dans la fréquence, l'amplitude et la distribution des oscillations. De manière analogue, des facteurs attentionnels ou émotionnels peuvent également influencer l'état tonique : un stress aigu tend à induire une rigidification posturale (*freezing*), tandis qu'un état de détente modifie la surface et la variabilité des oscillations.
- **L'état phasique** constitue un système d'alerte et de protection de l'état tonique. Il informe en permanence le système nerveux central de toute modification sensorielle susceptible de menacer l'équilibre. L'intensité de la perturbation détermine un gradient de réponses adaptatives, allant de réponses réflexes inconscientes, sous-corticales, à des réponses conscientes impliquant les structures corticales. Les réflexes myotatiques, les ajustements posturaux anticipés et les réflexes vestibulo-oculaires s'inscrivent dans ces réponses phasiques précoces.

Lorsque ces premières lignes de défense sont dépassées, les mécanismes d'intégration multisensorielle corticale sont sollicités afin d'élaborer consciemment une stratégie de rééquilibration. L'état phasique joue ainsi un rôle central dans la transition adaptative entre perturbation et retour à un état tonique stable.

HIÉRARCHISATION TEMPORELLE DES AFFÉRENCES SENSORIELLES

Les afférences sensorielles ne parviennent pas simultanément aux structures intégratives. Elles respectent une chronologie temporelle précise, déterminée par la nature des systèmes afférents. Les afférences vestibulaires, dépourvues de relais cortical primaire, diffusent rapidement l'information vers les structures associatives et sous-corticales. Leur rôle essentiellement phasique permet une prédétermination rapide de l'orientation, associée à une activation végétative et à une pré-activation des systèmes auditif, somesthésique et visuel. Les afférences somesthésiques enrichissent ensuite l'intégration orientative, contribuant principalement à la voie dorsale impliquée dans l'orientation spatiale. Le système visuel, quant à lui, présente une organisation duale : les voies magnocellulaires, issues de la rétine périphérique, véhiculent des informations d'alerte à faible latence, privilégiant l'orientation, tandis que les voies parvocellulaires, issues de la fovéa, participent plus tardivement à l'identification et à la stabilisation tonique de l'intégration multisensorielle.

Cette hiérarchisation temporelle et fonctionnelle confère au système visuel un rôle pivot, capable d'articuler efficacement les dimensions phasiques et toniques de l'intégration sensorielle.

CONCLUSION

L'équilibration, souvent réduite de manière caricaturale à l'intégration de trois piliers sensoriels, ne peut être comprise ni comme une simple combinaison d'entrées proprioceptives, visuelles et vestibulaires, ni comme un mécanisme de stabilisation automatique. Elle s'exprime au contraire comme une dynamique fonctionnelle complexe, articulée autour de deux états complémentaires, qui rend possibles l'action humaine, la mobilité, la locomotion et, surtout, la préservation de la liberté du regard dans l'espace.

Déclaration de liens d'intérêts

L'auteur déclare ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Gagey PM, Weber B. Posturologie, régulation et dérèglements de la station debout, 3^e éd. Paris: Masson; 2004.
- [2] Daye PM, Roberts DC, Zee DS, Optican LM. Vestibulo-ocular reflex suppression during head-fixed saccades reveals gaze feedback control. J Neurosci 2015;35:1192–8. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3875-14.2015> [PMID: 25609633; PMCID: PMC4300324].