

NORME
INTERNATIONALE

ISO
10227

Première édition
1996-08-01

**Essais et évaluation des chocs (chocs
simples) sur l'homme ou un substitut
d'homme — Lignes directrices concernant
les aspects techniques**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Human/human surrogate impact (single shock) testing and evaluation —
Guidance on technical aspects*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a56a0004-a52b-40ca-bbc5-4ad125039ffc/iso-10227-1996>



Numéro de référence
ISO 10227:1996(F)

Sommaire

Page

1	Domaine d'application.....	1
2	Références normatives.....	1
3	Définitions.....	1
4	Exigences de mesurage.....	2
4.1	Conditions initiales.....	2
4.2	Variables d'entrée.....	2
4.3	Paramètres du sujet.....	2
5	Instruments de mesure.....	3
5.1	Transducteurs.....	3
5.2	Enregistrement du déplacement.....	3
5.3	Acquisition de données.....	4
6	Recherche et traitement des données.....	4
6.1	Filtrage et enregistrement.....	4
6.2	Numérisation.....	4
6.3	Traitement.....	4
7	Rapport d'essai.....	4
7.1	Réponse inertielle.....	4
7.2	Transmission des forces.....	5
7.3	Déplacement.....	5
7.4	Données physiologiques.....	6
7.5	Données subjectives.....	6
7.6	Découvertes médicales.....	6
Annexe A:		
	Bibliographie.....	7

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 10227:1996](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a56a0004-a52b-40ca-bbc5-4ad125039ffc/iso-10227-1996)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a56a0004-a52b-40ca-bbc5-4ad125039ffc/iso-10227-1996>

© ISO 1996

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

La Norme internationale ISO 10227 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 108, *Vibrations et chocs mécaniques*, sous-comité SC 4, *Exposition des individus aux vibrations et chocs mécaniques*.

L'annexe A de la présente Norme internationale est donnée uniquement à titre d'information.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a56a0004-a52b-40ca-bbc5-4ad125039ffc/iso-10227-1996>

Introduction

L'environnement des véhicules, que ce soit pour les conducteurs ou les passagers, devrait non seulement offrir des possibilités de confort et d'efficacité pour la conduite et le transport, mais devrait également diminuer les lésions que les occupants peuvent subir par les forces de choc d'un accident de type collision. Les critères permettant d'étudier, de tester et d'évaluer la sécurité dans les véhicules exigent une compréhension de la réponse mécanique de l'homme, du substitut de l'homme ou analogue face aux forces de choc et d'accélération. Cette réponse est une fonction complexe du fait de l'interaction entre les forces exercées par le conducteur et celles du véhicule, de l'incidence de la position assise, de celle des systèmes de contraintes sur les forces transmises, de la position initiale et de l'orientation du sujet. Une compréhension de cette réponse implique de tester expérimentalement l'impact sur les hommes et sur les substituts de l'homme.

Au cours des expériences, la réponse de l'homme ou du substitut de l'homme ou analogue est liée à la spécificité des segments anatomiques et aux points de repères facilement identifiables; elle ne se réduit généralement pas à des mouvements purement linéaires. Pour obtenir une description analytique pertinente, il est nécessaire de disposer d'instruments de mesure et de techniques d'analyse des données précises. Un autre problème technique à résoudre est celui d'assurer une liaison convenable entre le transducteur utilisé pour recueillir les réponses et le segment anatomique en cours d'analyse. De plus, la méthode d'analyse peut altérer la mesure de la réponse entraînant des erreurs systématiques dans la relation dose/effet. Les interprétations et les conclusions concernant les mécanismes de la réponse, les modalités des blessures et les fréquences propagées devraient traduire une compréhension de ces problèmes.

La présente Norme internationale a pour but de donner des directives pour la formulation des protocoles d'expérimentation et pour le rapport des résultats de ces expérimentations, ceci pour faciliter les comparaisons entre différents efforts de recherche. Ce document n'a pas pour but de limiter soit le domaine d'application des protocoles d'expérimentation, soit les niveaux d'exposition auxquels les hommes ou substituts de l'homme doivent être confrontés. Il ne limite pas et/ou ne recommande pas des situations d'accélération lorsqu'elles sont en relation avec le confort, l'efficacité au travail, la santé et la sécurité.

Essais et évaluation des chocs (chocs simples) sur l'homme ou un substitut d'homme — Lignes directrices concernant les aspects techniques

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les aspects techniques des expériences effectuées sur des hommes ou substituts de l'homme ainsi que les méthodes pour collecter et rapporter les données biomécaniques. Les pratiques conseillées en ce qui concerne les mesurages, les instruments de mesure et la prise en compte des résultats sont indiquées. Ces méthodes recommandées sont données sous forme de directives destinées à faciliter l'interprétation et la comparaison des renseignements parmi les différents travaux des organismes.

La présente Norme internationale se limite à des expérimentations sur des chocs indirects (inertiels); elle ne s'applique pas aux chocs directs avec les surfaces du véhicule ou à l'usage de systèmes de type «airbag» des dispositifs de maintien actifs.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 5805:—¹⁾, *Chocs et vibrations mécaniques — Vocabulaire*.

ISO 8727:—²⁾, *Vibrations et chocs mécaniques — Exposition de l'individu — Systèmes de coordonnées biodynamiques*.

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 5805, ainsi que les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 sujet d'expérience: Homme ou substitut de l'homme (par exemple cadavre, animal, mannequin) qui a fonction d'occupant d'essai du véhicule.

3.2 système de coordonnées du sujet d'expérience: Système de coordonnées orthogonales pour droitier (x , y , z) conformément à l'ISO 8727, utilisé pour localiser la position des segments du sujet d'expérience sur lesquels les instruments de mesure sont implantés.

3.3 véhicule: Structure sur laquelle la force de conduite ou le choc est dirigé. Celle-ci comprend tous les éléments du système transmettant des forces au sujet d'expérience, y compris les supports ou sièges intégrés et le dispositif de maintien.

3.4 système de coordonnées du véhicule: Système de coordonnées orthogonales pour droitier (x , y , z) utilisé pour localiser la position de l'occupant et la configuration de la surface de maintien ou celle du choc. Il convient de définir son origine par rapport à une structure rigide du véhicule (structure qui ne subit pas de déformation notable pendant l'essai).

1) À publier. (Révision de l'ISO 5805:1981.)

2) À publier.

4 Exigences de mesurage

4.1 Conditions initiales

Tous les mesurages de position et d'orientation doivent pouvoir normalement se rapporter au système de coordonnées du véhicule.

4.1.1 Le nombre, les positions étudiées, les orientations, les caractéristiques de montage et de couplage de tous les transducteurs et cibles photométriques doivent être rapportés.

4.1.2 La configuration initiale de la position du sujet d'expérience, du maintien et du support ou du siège doit normalement être décrite le plus complètement possible. La description du dispositif de maintien doit comprendre les éléments suivants:

- a) lieu et orientation des points d'ancrage;
- b) angles formés par la ceinture de sécurité par rapport aux points de contact sur le corps et aux points d'ancrage de la ceinture;
- c) distances le long de la sangle depuis les points d'ancrage jusqu'aux points où les ceintures sont en contact avec l'occupant;
- d) caractéristiques de la sangle, dimensions et type de matériel;
- e) caractéristiques du système de rétraction de la sangle;
- f) caractéristiques des connecteurs de sangle;
- g) précharges des composants de maintien;
- h) propriétés force/élongation de la sangle.

La description de la fixation du support ou du siège doit normalement inclure les éléments suivants:

- a) forme géométrique et matériaux appropriés pour établir les caractéristiques de la déformation et de la friction de la surface du support ou du siège;
- b) dimensions et orientations par rapport au système de coordonnées du véhicule;
- c) absorption d'énergie ou caractéristiques de déformation des structures de support entre l'origine du système de coordonnées du véhicule et l'occupant, selon le cas;
- d) emplacement du point d'impact.

4.1.3 Il convient de consigner les facteurs d'environnement susceptibles d'affecter les résultats de l'expérience.

4.2 Variables d'entrée

Les variables d'entrée comprennent le déplacement, la vitesse, l'accélération et la force en fonction du temps. Tous les mesurages des variables doivent pouvoir normalement se rapporter au système de coordonnées du véhicule et s'effectuer selon un

nombre de degrés de liberté coïncidant avec ceux inclus dans les mesures de la réponse. Les historiques types de l'amplitude des entrées en fonction du temps sont souhaitables; dans le cas contraire, l'indication de la méthodologie employée pour mesurer ces variables devrait être rapportée.

4.3 Paramètres du sujet

Le mesurage des dimensions du corps est déterminant pour la description du sujet d'expérience et l'estimation des caractéristiques de répartition de la masse. Ces caractéristiques appliquées à l'ensemble du corps et à des segments anatomiques peuvent être obtenues directement par la recherche sur les cadavres mais elles doivent être estimées pour les sujets volontaires vivants. Des paramètres biomécaniques tels que masse, centre de gravité, moment d'inertie du segment, etc. peuvent être utilisés en extrapolant les résultats sur des populations représentatives.

4.3.1 Mesures anthropométriques

Les mesures doivent comprendre, sans s'y limiter, les éléments suivants:

- a) masse;
- b) stature;
- c) hauteur en position assise;
- d) hauteur de l'épaule;
- e) hauteur de la tête;
- f) largeur de la tête;
- g) longueur de la tête;
- h) périmètre de la tête;
- i) périmètre du cou;
- j) largeur de l'épaule;
- k) distance de l'épaule au coude;
- l) hauteur du coude au repos;
- m) distance du coude à l'extrémité du doigt;
- n) périmètre de la poitrine;
- o) épaisseur thoracique;
- p) hauteur du jarret;
- q) distance de la fesse au genou;
- r) hauteur du genou (en position assise).

4.3.2 Condition et historique

Pour les sujets vivants, il convient de posséder un historique médical complet, comprenant l'âge et le sexe, et de noter toutes les anomalies. Des informations similaires, dans la mesure du possible, doivent être normalement fournies pour des cadavres. Il convient d'effectuer les expériences sur les cadavres avec des spécimens n'ayant subi aucune lésion, blessure ou

toute autre anomalie susceptible d'interférer avec la conduite de l'essai ou l'interprétation des résultats. Il est souhaitable que les cadavres soient aussi récents que possible et que les procédés d'embaumement soient décrits avec précision. Il convient également de décrire les conditions de conservation du cadavre jusqu'au moment de l'expérimentation. On devra définir avec précision tous les modes opératoires annexes tels qu'une intraveineuse ou le contrôle du volume thoracique.

Quel que soit le sujet des expériences (homme ou substitut de l'homme), il est conseillé d'identifier, de marquer et de mesurer des points de repères anatomiques par rapport aux systèmes de coordonnées anatomiques définis (conformément à l'ISO 8727). Si possible, il convient de réaliser des clichés radiographiques des sujets en y intégrant les supports des instruments de mesure et les échelles de mesurage. Les points de repères anatomiques insuffisamment visibles doivent normalement être mis en évidence par l'usage de sphères radio-opaques. S'il n'est pas possible d'obtenir des clichés radiographiques, il est souhaitable de conserver des photographies ou des schémas sur lesquels on portera les dimensions mesurées.

iTech STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

5 Instruments de mesure

5.1 Transducteurs

Les données collectées par les transducteurs placés sur le sujet, à l'intérieur du siège, sur les dispositifs de maintien ou sur toute autre structure transmettant une force ainsi que celles des capteurs physiologiques sont utilisées pour mesurer à la fois le caractère rigoureux de l'essai et, en même temps, les réponses locales de la structure anatomique aux chocs et aux forces d'impact. Ces données servent également à définir les caractéristiques de transmission et les fonctions de transfert des segments anatomiques. Les paragraphes 5.1.1 à 5.1.6 précisent les caractéristiques requises des transducteurs.

5.1.1 Les transducteurs et autres capteurs placés sur le sujet doivent normalement avoir une masse faible afin que les réponses du segment anatomique soumis à l'analyse soient peu affectées.

5.1.2 Les transducteurs et autres capteurs placés sur le sujet doivent normalement être fixés aussi solidement que possible sur des structures anatomiques bien définies par rapport au squelette de sorte que les résultats ne soient pas affectés par l'artefact du déplacement relatif. Si un point de fixation solide n'est pas possible (comme cela peut être le cas lors d'expériences sur des êtres vivants), il convient de fournir une description complète de la méthode de fixation.

5.1.3 Les transducteurs et les capteurs doivent normalement posséder une réponse en fréquence appropriée en rapport avec les phénomènes prévus que l'on se propose de mesurer. Si on ne connaît pas les caractéristiques de la fréquence du segment du corps, il est recommandé d'essayer le mesurage en fréquence à large bande suivi d'analyses destinées à identifier la composition en fréquences utiles du signal.

5.1.4 Tout transducteur et tout autre capteur placés sur le sujet doivent normalement être étudiés suivant le système de coordonnées du système anatomique du segment anatomique particulier. Si une transposition à d'autres points significatifs est recherchée, on doit alors analyser à la fois les réponses linéaires et les réponses angulaires.

5.1.5 Les transducteurs montés à l'intérieur du siège, sur le dispositif de maintien ou sur toute autre structure transmettant une force doivent normalement être étudiés par rapport au système de coordonnées du véhicule.

5.1.6 Les transducteurs et les capteurs doivent normalement avoir été récemment étalonnés. Il convient d'étalonner également chaque voie de données pour évaluer les effets des facteurs de l'environnement tels que la dérive du signal de données, etc.

5.2 Enregistrement du déplacement

Les données fournies par les cibles placées en surface sont utilisées pour mesurer les réponses en déplacement du système anatomique en fonction des chocs et des forces d'impact. On peut utiliser des appareils photo ou des caméras vidéo et des cibles ainsi que des dispositifs d'enregistrement de cibles à l'état solide. Les paragraphes 5.2.1 à 5.2.5 précisent les exigences relatives à l'enregistrement de ce déplacement.

5.2.1 Les exigences données en 5.1.1, 5.1.2 et 5.1.4 s'appliquent ici en remplaçant les «transducteurs et autres capteurs» par «cibles».

5.2.2 Si le déplacement est limité à un seul plan et si une caméra peut être placée sur un axe perpendiculaire à ce plan, une seule caméra est alors requise. Dans les autres cas, il est nécessaire de disposer d'au moins deux caméras.

5.2.3 La position de la caméra et son orientation doivent normalement être mesurées par rapport à la cible et aux autres caméras, dans le système de coordonnées du véhicule.

5.2.4 Si des mesurages dépendant du temps sont effectués à partir des données du déplacement, il faut alors synchroniser avec précision une source de chronométrage précise avec le dispositif d'enregistrement du déplacement. Il convient aussi d'indiquer le niveau

de précision du signal de chronométrage et les techniques de mesurage des vitesses de trame.

5.2.5 Selon le cas, le type des lentilles, la distance focale et l'ouverture du diaphragme doivent normalement être décrits et étalonnés tels qu'ils sont utilisés pendant l'essai.

5.3 Acquisition de données

Le canal des données couvre la totalité du parcours du signal, depuis le transducteur jusqu'au dispositif d'enregistrement. Il convient de documenter tous les modes opératoires mettant en œuvre les exigences données en 5.3.1 à 5.3.6.

5.3.1 Chaque canal de données doit être étalonné par rapport à un signal de référence que l'on peut retrouver dans des normes connues.

5.3.2 Il convient d'étalonner la totalité du canal de données en tant qu'unité. Une alternative moins souhaitable consiste à étalonner individuellement chaque sous-système sur le parcours du canal des données et de calculer l'exactitude globale du canal à partir de ces résultats.

5.3.3 Lorsqu'on l'utilise dans l'analyse des données, l'erreur de linéarité de chaque canal de données doit normalement être déterminée.

5.3.4 Il convient également de déterminer et de consigner pour chaque canal les réponses en amplitude et en phase en fonction de la fréquence, les caractéristiques d'humidité, la raideur de la coupure et le retard de phase. La fréquence de coupure devrait être compatible avec la réponse en fréquence prévue du segment anatomique étudié.

5.3.5 Il convient de déterminer la sensibilité à axes croisés de chaque transducteur.

5.3.6 Il convient de déterminer le coefficient de sensibilité de chaque transducteur. La méthode préconisée pour le déterminer consiste à effectuer le calcul linéaire des moindres carrés en se basant sur les données de l'étalonnage.

6 Recherche et traitement des données

Le présent article traite du stockage, de la recherche et du traitement des données. Les directives données doivent normalement être considérées comme les exigences minimales.

6.1 Filtrage et enregistrement

Il est souhaitable que le canal des données (voir 5.4.3) pour le filtrage soit compatible avec la plage dynamique de l'enregistreur en excluant la saturation à haute

fréquence de l'enregistreur ou l'erreur de repliement dans le processus de numérisation.

6.2 Numérisation

6.2.1 Dans le cas d'un signal analogique numérisé, la résolution en amplitude devrait être au minimum de 10 bits. Une résolution à 12 bits ou supérieure est préférable afin de diminuer l'erreur de numérisation lors de la conversion analogique/numérique.

6.2.2 La fréquence d'échantillonnage utilisée doit normalement être compatible avec la fréquence de coupure et la raideur de la coupure afin de réduire les erreurs de repliement liées aux signaux limités hors bande.

6.3 Traitement

Il convient de consigner chaque filtrage de données enregistrées au niveau de la réponse en amplitude, de la fréquence de coupure, des caractéristiques de mise en route et du déphasage. La fréquence de coupure doit normalement être compatible avec la réponse en fréquence prévue du segment anatomique étudié.

7 Rapport d'essai

7.1 Réponse inertielle

Les réponses inertielle utilisées pour quantifier à la fois la difficulté de l'essai, les réponses locales et les caractéristiques de transfert du système anatomique face aux chocs et aux forces d'impact doivent normalement inclure les résultats décrits en 7.1.1 à 7.1.5. Il est conseillé de transposer ces résultats sur des points de référence liés à l'anatomie afin de constituer une base de comparaison entre les sujets.

7.1.1 Réponse inertielle de la tête

Les résultats doivent normalement inclure

- les composantes orthogonales de l'accélération linéaire au centre de gravité de la tête, le long des axes du système de coordonnées anatomique de la tête, et
- l'accélération ou la vitesse angulaire autour des axes du système anatomique de la tête.

7.1.2 Réponse inertielle du cou

La réponse du cou peut être représentée par la relation entre les accélérations mesurées à T1 (première vertèbre thoracique de la colonne) et celles du point occipital condylien calculées à partir de la réponse inertielle de la tête. Les forces d'arrachement, les forces axiales ainsi que celles de torsion aux condyles occipitaux peuvent être calculées à l'aide des résultats qui doivent normalement inclure

- a) les accélérations linéaires et angulaires de la tête transposées au point occipital condylien,
- b) les composantes orthogonales de l'accélération linéaire à l'origine et le long des axes du système de coordonnées anatomique de T1, et
- c) l'accélération ou la vitesse angulaire autour des axes du système anatomique de T1.

7.1.3 Réponse inertielle du thorax

Il est difficile d'implanter des instruments de mesure sur le thorax de sujets vivants en raison de son manque de rigidité; le mesurage est donc sujet à des inexactitudes. Des méthodes d'incision ont été employées dans le cas de substituts de l'homme afin d'améliorer le couplage entre le transducteur et le point de repère anatomique de l'os. Comme les propriétés des tissus et celles des os peuvent être affectées, les données qui en résultent peuvent être moins exactes que celles obtenues sur des segments anatomiques rigides tels que la tête. Des modes opératoires documentés devraient être utilisés pour diminuer ces effets. Il convient d'inclure aux résultats les composantes orthogonales des accélérations linéaires aux emplacements anatomiques choisis.

7.1.4 Réponse inertielle du bassin

Le bassin, bien que rigide, pose des problèmes pour la fixation des transducteurs du fait de ses interactions complexes avec le siège et le dispositif de maintien. Ces interactions peuvent entraîner des dégradations importantes dans le couplage mécanique entre les transducteurs et le système anatomique de l'os et introduire ainsi des erreurs dans le mesurage. Il convient d'utiliser des modes opératoires documentés pour diminuer ces effets.

Des méthodes d'incision et des transducteurs fixés de manière rigide, destinés à relever les caractéristiques anatomiques des os, ont été employés dans le cas d'expériences effectués sur des substituts de l'homme. Il convient d'inclure aux résultats

- a) les composantes orthogonales des accélérations linéaires à l'origine et le long des axes d'un système de coordonnées anatomique bien défini, et
- b) les accélérations ou les vitesses angulaires autour de l'axe y servant à définir l'interaction entre la ceinture, le bassin et le genou (possibilité de passer en dessous, etc.).

7.1.5 Autres réponses inertielles

Il convient de compléter la réponse inertielle de segments du corps autres que ceux de la tête, du cou, du thorax ou du bassin par

- a) les composantes orthogonales des accélérations linéaires à l'origine et le long des axes d'un système de coordonnées anatomique bien défini, et

- b) selon le cas, les accélérations ou les vitesses angulaires autour d'axes anatomiques bien définis.

7.2 Transmission des forces

Lorsqu'on mesure la transmission des forces à travers le dispositif de maintien, le siège et les autres structures de support, il convient de compléter les données par les composantes de la force par rapport au système de coordonnées du véhicule.

7.3 Déplacement

Si les résultats du déplacement sont consignés, les considérations relatives au placement du transducteur évoquées en 7.1.1 à 7.1.4 s'appliquent également au placement des cibles.

7.3.1 Déplacement de la tête

Il convient d'inclure aux résultats

- a) les composantes orthogonales du déplacement linéaire par rapport à la position initiale du système de coordonnées anatomique de la tête, et
- b) le déplacement angulaire autour de la position initiale des axes du système anatomique de la tête.

7.3.2 Déplacement du cou

Le déplacement du cou peut être caractérisé par le déplacement relatif entre T1 et le point occipital condylien. Il convient d'inclure aux résultats

- a) les déplacements linéaires et angulaires de la tête (voir 7.3.1) transposés au point occipital condylien par rapport à la position initiale du système de coordonnées anatomique de T1, et
- b) les composantes orthogonales des déplacements linéaires et angulaires du système de coordonnées anatomique de T1 par rapport à sa position initiale.

7.3.3 Déplacement du thorax

Il convient d'inclure aux résultats les composantes orthogonales des déplacements linéaires à des positions choisies du système anatomique par rapport aux positions initiales de systèmes de coordonnées anatomiques bien définis.

7.3.4 Déplacement du bassin

Il convient d'inclure aux résultats

- a) les composantes orthogonales des déplacements linéaires par rapport à la position initiale et le long des axes d'un système de coordonnées anatomique bien défini, et
- b) les déplacements angulaires autour de la position initiale de l'axe y, utilisés pour définir l'interaction