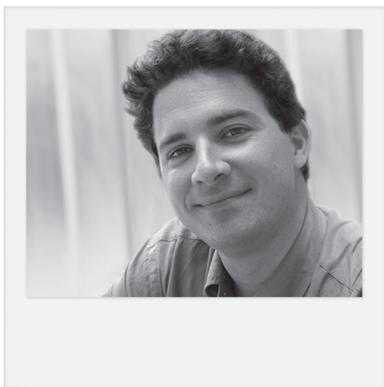


L'imagerie par le système EOS en orthopédie pédiatrique



→ R. VIALLE

Département hospitalo-universitaire "Maladies musculo-squelettiques et innovations thérapeutiques", DHU-MAMUTH, service de Chirurgie orthopédique et réparatrice de l'Enfant, hôpital Armand-Trousseau, PARIS.

Le système EOS : des radiographies de tout le squelette en position debout

Le système EOS est le produit de la collaboration étroite de plusieurs disciplines (physique des rayonnements, biomécanique, radiologie et orthopédie de l'enfant) depuis plus de 20 ans ! Sa principale caractéristique est une réduction considérable des doses de rayons X (de 8 à 10 fois moins pour la radiologie bidimensionnelle, de 800 à 1 000 fois moins pour la radiologie tridimensionnelle) grâce à l'utilisation d'un détecteur gazeux des rayons X (prix Nobel de physique attribué à Georges Charpak en 1992).

Le système EOS permet l'étude du patient en position debout en obtenant des clichés simultanés de face et de profil, du sommet de la tête jusqu'à la plante des pieds (*fig. 1*).

Cette acquisition "radiologique" permet ensuite d'obtenir des reconstructions 3D de tous les niveaux ostéo-articulaires. Cette reconstruction est aussi précise que celle obtenue par tomodynamométrie conventionnelle [1]. De plus, l'examen est effectué en position "fonctionnelle" debout ou assise, ce qui n'est possible actuellement par aucune autre méthode classique comme le scanner ou l'IRM [2, 3].

La reconstruction 3D peut être obtenue dans des délais courts de l'ordre de 30 s pour un rachis complet. Ne faisant pas double emploi avec l'IRM, même si celle-ci évolue aussi vers la position debout, EOS permet des études de la



FIG. 1 : Exemple d'une acquisition EOS de face (A) et de profil (B) pour une jeune patiente de 16 ans porteuse d'une scoliose thoracique droite. (Avec l'aimable autorisation d'EOS Imaging).

pathologie ostéo-articulaire jusque-là jamais réalisées (en particulier du rachis et des membres inférieurs) avec un examen d'ensemble de l'individu au lieu des segments fragmentés donnés jusqu'à présent par les moyens actuels, radiographies conventionnelles ou tomodynamométrie.

Principe de réalisation des radiographies par le système EOS

Les caractéristiques de cet instrument de radiologie sont fondées sur deux détecteurs linéaires de 45 cm de large permettant de transformer les photons X en électrons. Ces détecteurs sont disposés de manière orthogonale et unis de manière rigide l'un par rapport à l'autre, balayant verticalement sur une hauteur de 175 cm, de façon à permettre la prise de vue simultanée de face et de profil de toute la hauteur du squelette en position debout, avec une faible dose d'irradiation (fig. 2).



FIG. 2 : Représentation de l'acquisition simultanée des deux radiographies de face et de profil dans un système EOS. (Avec l'aimable autorisation d'EOS Imaging).

Cette dose, vérifiée par dosimétrie, est de 8 à 10 fois moindre que pour une radiographie conventionnelle pour ces examens bidimensionnels. La durée du balayage est de l'ordre de 15 s pour un adulte et, bien sûr, décroît avec la taille de l'individu. L'immobilité requise pendant la durée du balayage est cependant une certaine limitation chez les tout jeunes enfants dont certains ne réalisent pas cette immobilité.

Les clichés obtenus sont numériques, non distordus (puisque le rayon est toujours perpendiculaire à l'objet). Ils peuvent

être traités numériquement pour avoir un effet d'agrandissement sur une articulation précise par exemple. Ces images sont stockées informatiquement avec facilité et peuvent être délivrées sur des films après un éventuel traitement de certaines zones en fonction de la pénétration des rayons. Cette étape évite la répétition des clichés et permet d'utiliser au maximum la même acquisition radiologique.

Des images dans toutes les dimensions

Grâce aux logiciels de reconstruction tridimensionnelle mis au point à l'école nationale supérieure des Arts et Métiers (ENSAM-ParisTech) en collaboration avec le laboratoire d'Ingénierie orthopédique de Montréal, une reconstruction 3D surfacique semi-automatique de toutes les pièces squelettiques peut être effectuée. La précision de ces reconstructions est tout à fait comparable à celles réalisées au moyen d'un scanner [4].

Par rapport au scanner, l'imagerie 3D EOS offre deux avantages considérables : – la reconstruction tridimensionnelle s'obtient à partir des seuls clichés initiaux de face et de profil avec l'avantage d'une diminution considérable des doses d'irradiation (de l'ordre de 800 à 1000 fois moins que les reconstructions 3D scanner) ; – l'examen est réalisé en position debout, ce qui permet d'apprécier la réalité de l'appareil locomoteur en position "fonctionnelle" en tenant compte des contraintes liées à la gravité. Il s'agit en effet de données fort précieuses dans l'étude des déformations des membres et du tronc qui sont très souvent modifiées et aggravées en position debout.

Quelles applications pratiques ?

La première application pratique concerne la réalisation de radiographies

bidimensionnelles "de routine" de la colonne vertébrale ou des membres inférieurs. L'acquisition EOS permet en effet, en un seul passage, d'avoir les mêmes renseignements sur tout le squelette que la radiographie conventionnelle habituellement effectuée par de multiples clichés. La réduction de la dose d'irradiation est importante (de 8 à 10 fois en moyenne) et peut encore être réduite par l'utilisation de protocoles de type "microdose" pour les clichés de surveillance, par exemple d'une déformation de la colonne vertébrale (scoliose, cyphose) ou des membres inférieurs [5].

Les reconstructions 3D de la colonne vertébrale, de la cage thoracique et des membres inférieurs peuvent être réalisées d'emblée ou secondairement à partir des clichés "natifs" préalablement stockés. Cette analyse tridimensionnelle du squelette en position fonctionnelle debout est réalisée de façon semi-automatique à partir de modèles génériques provenant de banques de données anatomiques et radiographiques. Le système EOS est, à ce titre, le seul appareil de radiographie qui permet actuellement d'étudier la situation spatiale 3D d'une articulation par rapport à l'autre et par rapport à l'ensemble du squelette debout. Il permet d'avoir une représentation de l'ensemble du squelette avec une "vue d'en haut" (vue d'avion) (fig. 3) qui est la seule manière actuellement d'obtenir une vision réelle du plan horizontal (axial) dans l'espace, c'est-à-dire de l'empilement des composants squelettiques depuis la plante du pied jusqu'au crâne [6].

Le système EOS donne désormais accès à la "réalité" volumétrique du squelette et à une visualisation en position de fonction du tronc et des membres.

Ces images précises, fiables tout en restant "mini-invasives", permettent de détecter et surveiller les principales anomalies orthopédiques que sont :

EPU DE L'HÔPITAL ARMAND-TROUSSEAU

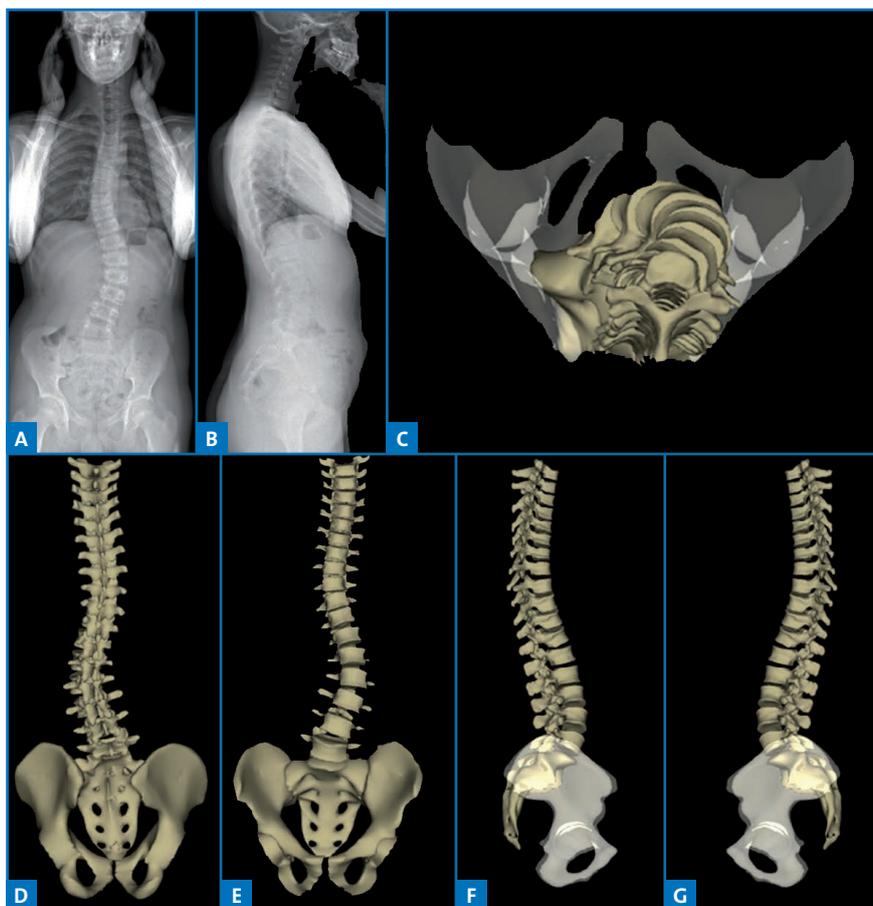


Fig. 3 : Acquisition EOS de face (A) et de profil (B) chez une jeune patiente porteuse d'une scoliose thoracique droite et lombaire gauche. Reconstitutions en vue supérieure (C), postérieure (D), antérieure (E), latérale droite (F) et latérale gauche (G). (Avec l'aimable autorisation du Dr Courvoisier, Grenoble).

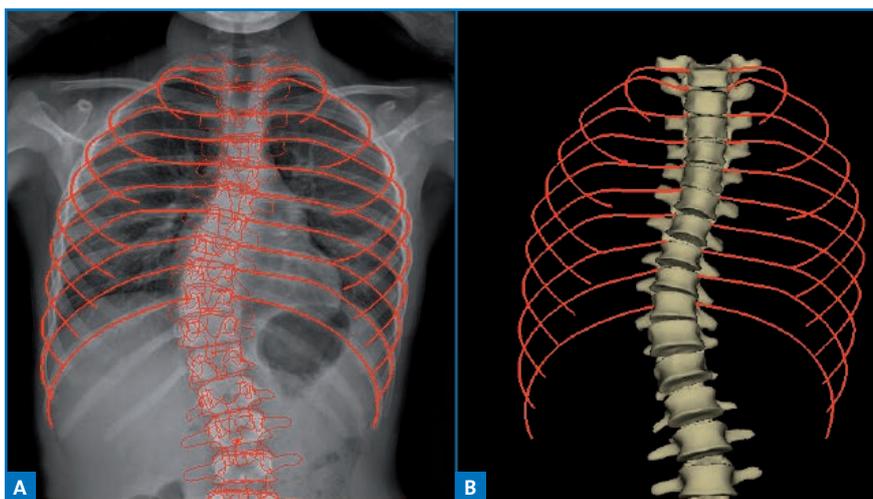


Fig. 4 : Reconstitutions semi-automatisées de la colonne vertébrale et des côtes chez une jeune patiente porteuse d'une scoliose thoracique droite. A: aspect avec superposition de l'image radiologique. B: aspect final en reconstruction 3D. (Avec l'aimable autorisation du Dr Courvoisier, Grenoble).

- les déformations rachidiennes, scolioses, cyphoses [5];
- les déformations thoraciques et leurs conséquences respiratoires [7];
- les effets favorables ou délétères des corsets orthopédiques [8];
- les déformations du bassin et des membres inférieurs [5].

Le système EOS donne également accès à la 4^e dimension de ces affections de l'appareil locomoteur, c'est-à-dire leur suivi longitudinal au cours de la croissance et durant les différentes étapes du vieillissement (dimension temporelle).

Le suivi évolutif des déformations orthopédiques est en effet réalisé de façon idéale avec le système EOS du fait de la grande qualité des images obtenues mais également de la faible irradiation, idéale lors de la répétition de nombreux clichés au fil du temps et du suivi.

Un outil de recherche, au service des cliniciens

Le système EOS est actuellement accessible en pratique clinique quotidienne. Il reste cependant un outil de pointe, appelé à des développements constants et à une intense utilisation en recherche clinique et translationnelle. Portés par le département hospitalo-universitaire "Maladies musculo-squelettiques et Innovations thérapeutiques" (DHU-MAMUTH), plusieurs projets de recherche sont actuellement menés afin d'offrir toujours plus de portées cliniques à l'analyse des images EOS. Ainsi, l'analyse du couplage entre la morphologie de la cage thoracique et la fonction respiratoire "réelle" du patient est à l'étude (fig. 4), tout comme l'analyse radiologique de la colonne vertébrale et des hanches des enfants et adolescents polyhandicapés, au moyen d'un nouveau système permettant de réaliser l'acquisition des images EOS en position assise et non plus debout.

Le système EOS est aujourd'hui un outil incontournable qui permet une analyse exhaustive du squelette avec une dose d'irradiation très réduite. Il permet de remplacer l'imagerie "morphologique" conventionnelle au plus près de la "fonction ostéo-articulaire" au moyen d'images très précises et réalisées en position fonctionnelle. Ces images, en trois dimensions, sont exploitables au travers d'une 4^e dimension, temporelle, indispensable au suivi de l'ensemble des pathologies squelettiques de l'enfant et de l'adulte.

Remerciements :

L'auteur remercie les docteurs Aurélien Courvoisier et Jean Dubousset ainsi que la société EOS Imaging pour leur aimable contribution à la rédaction et à l'illustration de cet article.

Bibliographie

1. GLASER DA, DOAN J, NEWTON PO. Comparison of 3-dimensional spinal reconstruction accuracy: biplanar radiographs with EOS versus computed tomography. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012;37:1391-1397. doi:10.1097/BRS.0b013e3182518a15
2. DUBOUSSET J, CHARPAK G, SKALLI W *et al.* EOS stereo-radiography system: whole-body simultaneous anteroposterior and lateral radiographs with very low radiation dose. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 2007;93:141-143. doi:MDOI-RCO-10-2007-93-S6-0035-1040-101019-200520011 [pii]
3. DUBOUSSET J, CHARPAK G, DORION I *et al.* A new 2D and 3D imaging approach to musculoskeletal physiology and pathology with low-dose radiation and the standing position: the EOS system. *Bull Acad Natl Med*, 2005; 189:287-297; discussion 297-300
4. HUMBERT L, DE GUISE JA, AUBERT B *et al.* 3D reconstruction of the spine from biplanar X-rays using parametric models based on transversal and longitudinal inferences. *Med Eng Phys*, 2009;31:681-687. doi:10.1016/j.medengphy.2009.01.003 S1350-4533(09)00037-X [pii]
5. DUBOUSSET J, CHARPAK G, SKALLI W *et al.* Skeletal and spinal imaging with EOS system]. *Arch Pediatr*, 2008;15:665-666. doi:10.1016/S0929-693X(08)71868-2 S0929-693X(08)71868-2 [pii]
6. COURVOISIER A, DREVELLE X, DUBOUSSET J *et al.* Transverse plane 3D analysis of mild scoliosis. *Eur Spine J*, 2013;22:2427-2432. doi:10.1007/s00586-013-2862-x
7. ILHARREBORDE B, DUBOUSSET J, SKALLI W *et al.* Spinal penetration index assessment in adolescent idiopathic scoliosis using EOS low-dose biplanar stereoradiography. *Eur Spine J*, 2013;22:2438-2444. doi:10.1007/s00586-013-2892-4
8. COURVOISIER A, DREVELLE X, VIALLE R *et al.* 3D analysis of brace treatment in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*, 2013;22:2449-2455. doi:10.1007/s00586-013-2881-7

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.