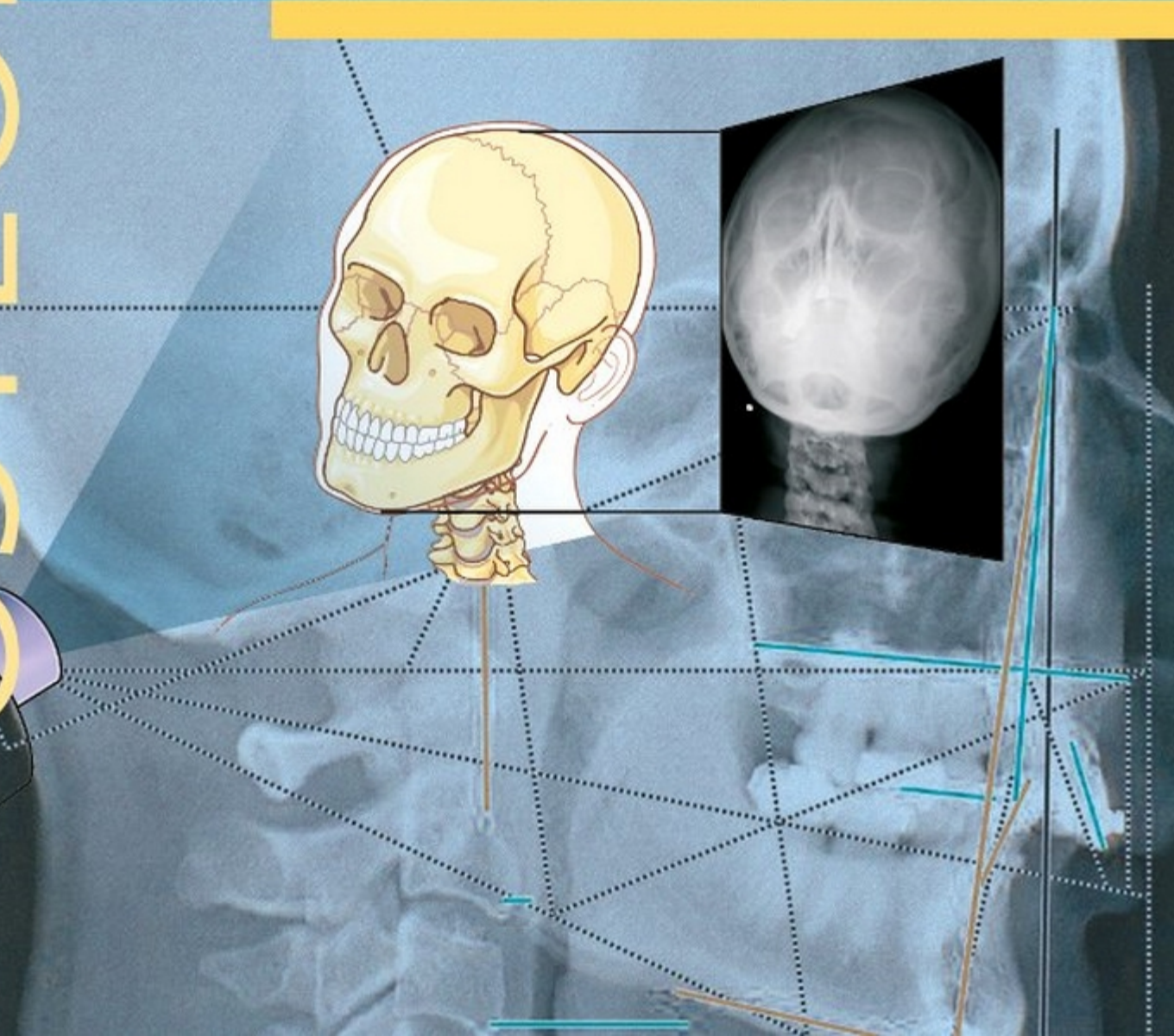


OSTÉOPATHIE

Thomas Matthew

Guide d'imagerie médicale pour l'ostéopathe



Guide d'imagerie médicale pour l'ostéopathe

Chez le même éditeur

Dans la collection « Ostéopathie »

Nouvelle approche manipulative. La colonne cervicale, par J.-P. Barral et A. Croibier, à paraître.

Manipulation des dysfonctions pelviennes féminines, par O. Bazin et M. Naudin, à paraître.

Manipulations des nerfs périphériques, J.-P. Barral et A. Croibier. 2014, 344 pages.

Dictionnaire de médecine ostéopathique, par S. Beaume. 2014, 464 pages.

Neuropédiatrie et ostéopathie du nouveau-né et du jeune enfant, par Évelyne Soyez-Papiernik. 2014, 128 pages.

L'ostéopathie pour les patients de plus de 50 ans, par N. Sergueef. 2014, 496 pages.

Nouvelle approche manipulative. Membre inférieur, par J.-P. Barral et A. Croibier. 2013, 384 pages.

Nouvelle approche manipulative. Membre supérieur, par J.-P. Barral et A. Croibier. 2011, 288 pages.

Manipulations des nerfs crâniens, par J.-P. Barral et A. Croibier. 2012, 392 pages.

Traité de médecine ostéopathique du crâne et de l'articulation temporo-mandibulaire, par F. Ricard. 2010, 1088 pages.

Manipulations vasculaires viscérales, J.-P. Barral et A. Croibier. 2009, 432 pages.

Diagnostic ostéopathique général, A. Croibier. 2005, 332 pages.

Autres ouvrages en Imagerie médicale

Guide de pathologie en imagerie médicale, par J.-P. Dillenseger et D. Vetter, à paraître.

Guide des techniques de soins en imagerie médicale, par É. Moerschel. 2012, 128 pages.

Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie, par J.-P. Dillenseger et É. Moerschel. 2009, 416 pages.

Netter. Précis d'anatomie clinique en imagerie médicale, par S. W. Carmichael, J. A. Vilensky, E. C. Weber. 2009, 506 pages.

Guide d'imagerie médicale pour l'ostéopathe

T. Matthew

Ostéopathe DO, enseignant à l'école d'ostéopathie de Nantes (IdHEO)

Diplôme d'État de manipulateur en électroradiologie médicale

Diplôme universitaire d'anatomie appliquée à l'examen clinique et à l'imagerie médicale



ELSEVIER
MASSON



Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photo-copillage ». Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. 01 44 07 47 70.

Toutes les illustrations de cet ouvrage ont été réalisées par Carole Fumat.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

© 2015, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés
ISBN : 978-2-294-71587-7

Elsevier Masson SAS, 62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
www.elsevier-masson.fr

Remerciements

Je souhaite remercier ici les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de cet ouvrage. Merci à EOS imaging, GE electric et Ortalis pour leurs contributions iconographiques. Merci aux équipes du muséum de l'imagerie médicale de Bruxelles et du musée de l'ostéopathie de Kirksville (USA) pour leur disponibilité et leurs apports historiques. Merci à mes collègues ostéopathes pour leurs relectures attentives et conseils. Merci au Professeur Vallée pour son soutien éclairé. Et enfin merci à ma famille pour son aide et sa patience, notamment ma femme et mes enfants.

Préface

Cet ouvrage, parfaitement d'actualité, a le mérite d'avoir été rédigé par un auteur aux multiples facettes : après avoir été diplômé en électroradiologie (manipulateur) et avoir exercé en tant que tel durant 5 ans, il s'est dirigé vers l'ostéopathie, sans se détourner de son intérêt pour l'anatomie et pour l'imagerie médicale sous tous ses aspects, toujours en progrès. Puis son intérêt s'est développé autour du lien entre l'ostéopathie (qui a un rôle thérapeutique, peut-être plus gratifiant que celui d'un technicien) et l'imagerie médicale. Il est d'ailleurs titulaire du Diplôme Inter-Universitaire d'Anatomie Appliquée à l'Examen Clinique et à l'Imagerie. Il assiste à des colloques et effectue des publications.

Ce livre très complet devrait mériter une audience plus large que celle des ostéopathes et devrait également être diffusé et profiter aux techniciens en imagerie et aux médecins, en particulier les radiologues en formation. Il fait bien entendu référence à nombre de notions anatomiques pratiques, qui seront particulièrement utiles aux cliniciens.

Après avoir abordé des notions approfondies sur l'historique de la médecine et les bases physiques des différentes modalités d'imagerie, le volume est divisé méthodiquement selon les différentes régions anatomiques. Cette double approche permet à l'auteur d'aborder ici les incidences les plus utilisées en pratique courante.

Ce volume devrait donc mériter une très large diffusion dans le monde de la santé en général.

Professeur Christian Vallée

Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines et Praticien Hospitalier
à l'hôpital Raymond-Poincaré (92380 Garches).

Membre d'Honneur du Registre des Ostéopathes de France

Avant-propos

Très peu d'ouvrages traitent de l'imagerie médicale à destination des ostéopathes. Je souhaite, par cet ouvrage, combler cette lacune en apportant un outil novateur à l'intention des professionnels et des étudiants en ostéopathie.

À l'heure où, en France (et en Europe), l'ostéopathie lutte pour se faire une place dans le monde de la santé, j'ai souhaité compiler les connaissances de base nécessaires en imagerie médicale et apporter un manuel de référence pour les étudiants en formation, mais également pour les professionnels en exercice.

Cet ouvrage a pour but de rassembler les données nécessaires à une approche pratique de l'imagerie médicale. Les ostéopathes et les étudiants, à qui s'adresse ce manuel, devraient trouver ici un matériel ludique et pratique permettant une meilleure compréhension de ces examens, largement utilisés aujourd'hui. L'ambition ultime de ce livre est d'amener le praticien à envisager un diagnostic radiologique ostéopathique s'appuyant sur des bases sérieuses.

Pour ce faire, cet ouvrage se décompose en plusieurs parties. Nous abordons tout d'abord le contexte historique avec les découvertes majeures qui ont conduit à l'utilisation actuelle des examens d'imagerie. Nous développons également les bases physiques et leurs applications en imagerie. Ce chapitre permet d'avoir un point de vue général pour la compréhension de l'état actuel de la radiologie. Les bases physiques et technologiques des différents moyens d'imagerie sont abordées afin de comprendre certains aspects de la production de l'image et certaines modalités de la « lecture radiologique ».

Dans les parties suivantes, nous abordons zone par zone les connaissances anatomo-physiologiques utiles en pratique de cabinet.

L'organisation des chapitres résulte d'une réflexion pédagogique éprouvée en cours. Elle suit une logique, transposable en protocole de lecture, utile pour une bonne maîtrise de l'examen.

De ce fait, chaque incidence radiologique est traitée par le même algorithme de sous-chapitres.

Nous ne saurions suffisamment insister sur le fait que la radiologie est une discipline médicale. Cet ouvrage à lui seul ne se substituera pas à une pratique régulière de la lecture radiologique, aussi j'invite le lecteur à « entraîner son œil » aussi fréquemment que cela lui sera possible. D'autre part, le but de ce manuel n'est pas d'amener le praticien à se substituer au radiologue dont l'interprétation sera toujours un élément capital à intégrer dans votre analyse radiologique. Ce livre n'est pas non plus un manuel de pathologie, nous en aborderons seulement quelques-unes, les plus fréquemment rencontrées en pratique de cabinet.

L'imagerie médicale est en perpétuelle évolution, notamment en ce qui concerne la radiologie dite conventionnelle (qui fait l'objet principal de ce livre). Les techniques autant que les technologies ont énormément progressé ces dernières années. En à peine plus de 100 ans d'existence, elle est devenue un outil indispensable à la pratique médicale quotidienne. L'ostéopathie, quant à elle, reposera toujours sur un diagnostic manuel, mais il est indispensable de savoir intégrer les données de l'imagerie à notre diagnostic spécifique.

La radiologie est bien un examen « complémentaire ». Tout thérapeute manuel sait que son diagnostic repose avant tout sur sa palpation et à cette fin, ses deux seuls outils sont ses mains. Mais il faut savoir quand, comment et pourquoi recourir à une aide diagnostique. Dans ces cas, la radiologie sera souvent d'une aide précieuse.

Dans les années à venir, la radiologie va continuer sa mutation, et nous voyons déjà apparaître les technologies qui feront l'imagerie de demain. Leurs apports en ostéopathie et thérapies manuelles seront grandes si l'on sait les utiliser à bon escient. C'est également à cette fin que notre connaissance de l'imagerie se doit d'être meilleure.

Thomas Matthew

Abréviations

ASO	<i>American School of Osteopathy</i>	OAA	occiput-atlas-axis
ATM	articulation temporo-mandibulaire	OAD	oblique antérieur droit
BO	bouche ouverte	OAG	oblique antérieur gauche
CPAM	Caisse primaire d'assurance maladie	OPD	oblique postérieur droit
DFP	défilé fémoro-patellaire	OPG	oblique postérieur gauche
DLPF	dorso-lombo-pelvi-fémorale	OPG	orthopantomogramme
DRASS	direction régionale des affaires sanitaires et sociales	OPN	os propres du nez
EIAS	épinos iliaques antérosupérieures	ORL	oto-rhino-laryngologie
ILMI	inégalité de longueur des membres inférieurs	PACS	<i>picture archiving and communication system</i>
IRM	imagerie par résonance magnétique	RF	radiofréquence
IRMf	imagerie par résonance magnétique fonctionnelle	SAT	<i>specific adjusting techniques</i>
LCA	ligament croisé antérieur	TDM	tomodensitométrie
		TEP	tomographie par émission de positons
		TOGD	transit oeso-gastro-duodénal

Chapitre 1

Un peu d'histoire

Les pratiques médicales et ostéopathiques ont grandement évolué au cours des dernières décennies. Ces évolutions sont en perpétuelle accélération. Les pratiques actuelles sont bien loin de ce qu'elles étaient, ne serait-ce que 50 ans en arrière, et sont probablement au moins autant éloignées de ce qu'elles seront dans 50 ans.

Dans ce domaine, les ostéopathes aiment filer la métaphore de «l'écureuil qu'ils cherchent à sortir du trou de l'arbre» – reprenant les termes d'Andrew Taylor Still [1, 2] – pour évoquer les découvertes réalisées, et surtout, celles qui les attendent.

Les avancées, tant en ostéopathie qu'en médecine «traditionnelle», se font sous l'impulsion d'hommes et de femmes remarquables, tous animés par une curiosité envers leur environnement et envers l'être humain plus particulièrement. Certains d'entre eux ont laissé leur nom dans les manuels. Nous n'en citerons ici qu'une fraction. N'oublions pas cependant que l'histoire est avant tout faite par les millions «d'anonymes» qui intègrent ces évolutions et en font une pratique courante.

L'**imagerie** – thème de cet ouvrage – est probablement l'exemple le plus impressionnant d'évolution (voire de révolution) du monde de la santé. En effet, cette discipline a modifié de façon radicale l'approche du malade et de la pathologie, dans toutes les spécialités médicales. Cette mutation s'est opérée à partir de la fin du XIX^e siècle et se poursuit encore aujourd'hui. Nous reviendrons ici sur les principales découvertes qui ont conduit à l'imagerie médicale actuelle; nous verrons que ces avancées extraordinaires ont généré nombre de prix Nobel tant elles ont apporté, à la médecine, mais avant tout à l'humanité tout entière. Notons qu'il est important de prendre en compte le contexte social, scientifique et culturel entou-

rant les découvertes qui jalonnent l'histoire de la radiologie pour comprendre l'impact de ces découvertes à l'époque et mettre en perspective nos pratiques actuelles.

L'**ostéopathie** est une «découverte» contemporaine à celle de la radiologie et bien que son concept fondateur soit immuable, les techniques qui la composent ont beaucoup évolué. Ainsi, les pratiques d'influences ancestrales et empiriques deviennent des techniques d'action comprise. Elles s'enrichissent de nouvelles approches issues des découvertes biologiques et physiologiques modernes. L'ostéopathie est entrée dans une démarche de recherche et d'évaluation clinique qui la fera encore évoluer.

L'évolution de ces deux «mondes» progresse effectivement encore aujourd'hui. Ceci fait dire aux observateurs que l'imagerie de demain sera probablement bien différente de ce que nous connaissons aujourd'hui. L'ostéopathie, en évoluant, aura certainement beaucoup à gagner en intégrant les évolutions de l'imagerie dans son champ d'analyse (tant sur le plan fondamental qu'en pratique courante). Et une fois encore, «savoir d'où l'on vient nous aidera à savoir où l'on va».

Histoire de la médecine occidentale

L'histoire de la médecine commence avec l'apparition de l'humanité. Depuis les origines, l'approche de la santé par les hommes, se définissant comme «garants» de celle-ci, a évolué au rythme des croyances et des civilisations. Les traces archéologiques les plus anciennes remontent globalement à 2000 ans avant notre ère et proviennent de Mésopotamie (approximativement

l'Irak actuelle)¹. Les pratiques médicales se composaient principalement de ce que nous définissons actuellement comme : l'invocation d'esprits, les sacrifices d'animaux et la magie. La connaissance empirique des bienfaits de certaines substances sur certains symptômes faisait alors la base de la pharmacopée.

L'évolution des pratiques s'est faite par succession et confrontation d'idées et de concepts, à travers les civilisations, grecque d'abord puis romaine et byzantine... La pratique médicale était tantôt fondée sur les croyances et les mythes, tantôt fondée sur l'observation (empirique puis liée à l'expérimentation). Cette dualité de concepts s'est manifestée, à partir des courants de pensées médicales « philosophiques », en Grèce antique et a perduré jusqu'à la Renaissance. Après vingt siècles de cohabitation, la médecine s'impose alors comme science « dure » basée sur les découvertes liées à l'anatomie (à partir du XVI^e siècle notamment), puis la physiologie et la biologie. Nous pouvons à cet égard citer la découverte du microscope au XVII^e siècle – provoquant un virage idéologique, la fin de la théorie de la génération spontanée, le début de la microbiologie, etc. – et la découverte des microbes au XVIII^e siècle. À partir du XIX^e siècle, les découvertes vont se succéder à une vitesse sans cesse croissante, tant en pharmacie (avec la découverte de la morphine, de la quinine, de techniques d'anesthésie...) qu'en bactériologie (avec la découverte de nombreux agents infectieux dont ceux de la lèpre, du paludisme, de la tuberculose et parasites [staphylocoque, streptocoque...]).

Les découvertes liées à la médecine ont des retentissements sur la pensée philosophique générale, l'homme et la vie se définissant, à partir du XIX^e siècle, davantage comme « la somme totale des fonctions qui résistent à la mort »² que comme résultant d'une volonté divine.

C'est alors que se développent la médecine anatomo-clinique puis la médecine expérimentale, l'analyse de la pathologie passant successivement d'un niveau organique à un niveau tissulaire puis cellulaire. L'étendue des découvertes a pour conséquence la scission de la médecine en « spécialités » qui voient le jour à la fin du XIX^e siècle : neurologie, cardiologie, dermatologie, etc.

Depuis le XX^e siècle, les connaissances médicales ont fait d'énormes progrès grâce au développement des sciences fondamentales (physique, chimie) et de la technologie (informatique notamment). Ces évolutions se poursuivent aujourd'hui encore sans relâche, quelle que soit la spécialité considérée, laissant entrevoir les possibilités d'évolutions à venir [3].

Histoire de l'imagerie médicale

Dès son avènement, la radiologie a grandement modifié les rapports du médecin avec son malade, rendant visible des structures qui jusqu'à présent ne pouvaient être que devinées. Elle a également participé à la révolution des images, avec la photographie (inventée en 1839) et le cinéma (inventé en 1895), cette révolution fixant de manière inédite et impressionnante une nouvelle forme de réalité. L'imagerie médicale actuelle est un outil à part entière du diagnostic médical dont il nous serait impossible de nous passer aujourd'hui.

Les découvertes qui jalonnent l'histoire de la spécialité débutent donc à la fin du XIX^e siècle par la découverte des rayons X par W. Röntgen. On parle alors de Röntgenographie/Röntgenogram ou de radiographie/radiologie. Le terme d'imagerie médicale naîtra avec l'arrivée des autres techniques complémentaires que sont le scanner, l'échographie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM), etc., plus d'un siècle plus tard.

Rayons X et radiologie conventionnelle

La radiologie conventionnelle (également appelée radiologie standard) que nous utilisons aujourd'hui est l'aboutissement de progrès techniques et scientifiques en continuelle évolution depuis ses débuts. Elle met en jeu un dispositif producteur de rayons X et un dispositif récepteur

¹ Dans les tablettes de Nippur découvertes à la fin du XIX^e siècle à 150 km au sud-est de Bagdad.

² *Recherches physiologiques sur la vie et la mort* (1800) de Marie François Xavier Bichat, médecin biologiste français (1771–1802).

du rayonnement. Des deux, seul le mode de production est resté inchangé (ou presque) depuis 1913, le mode de réception ayant quant à lui considérablement évolué.

Dispositif émetteur de rayons X

La succession des découvertes ayant abouti à l'émergence du tube radiogène que nous utilisons aujourd'hui débute en 1869 avec l'invention du tube de Crookes (du nom du physicien britannique Sir William Crookes, 1832–1919). Ce montage fut à l'origine de la découverte des rayons cathodiques. Ces derniers intéressaient un grand nombre de scientifiques à travers le monde, dont un certain Wilhelm Conrad Röntgen (scientifique allemand, 1845–1923). En 1895, celui-ci observe que certains des rayons émis par son tube peuvent traverser des corps (proportionnellement à leur qualité et leur épaisseur) en faisant s'illuminer un écran de platino-cyanure de baryum placé à distance (proportionnellement aussi à la distance source-écran) [4]. Ces nouveaux rayons (qu'il nomme rayons X à cause de leur nature inconnue) lui inspirent une autre expérience qui aboutit à la première radiographie (Röntgenogram) : celle de la main de sa femme (figure 1.1).

Cette découverte lui vaut le premier prix Nobel de physique en 1901 «en reconnaissance pour les services extraordinaires qu'il a rendus, en décou-

vrant les remarquables rayons *a posteriori* nommés de son nom»³.

Très rapidement, le monde médical s'approprie la découverte en mettant en place, dès 1896, la première campagne de dépistage de la tuberculose. En 1897, les premiers services de radiologie ouvrent dans les hôpitaux. Les guerres contribuent également au développement de la technique avec l'apparition, pendant la Première Guerre mondiale, de camions de radiologie transportable : «les petites curies» (du nom de Marie Curie qui participe à leur conception).

En 1913, William Coolidge (1873–1975), physicien américain travaillant pour la compagnie *General Electric* (de Thomas Edison), améliore le dispositif en y apportant notamment un filament de tungstène qui permet une émission continue des rayons X (elle se faisait jusque-là par successions de décharges). Ce dispositif présente également l'avantage d'un meilleur rendement, bien que celui-ci soit très faible : seul 1 % de l'énergie fournie est transformé en rayons X. C'est cette particularité du montage qui mène à la dernière modification du système avant d'aboutir au tube encore utilisé aujourd'hui. Pour disperser les 99 % d'énergie produite sous forme de chaleur, l'anode, utilisée au freinage des électrons, est rendue tournante (voir Production de rayons X par le tube radiogène, p. 17). Ce dispositif a traversé les décennies. Les tubes radiogènes actuels sont encore appelés tubes de Coolidge [5].

Dispositifs récepteurs de rayons X

Les premiers supports ont été l'écran fluorescent et le film photographique. Röntgen, le premier, les utilisait pour observer ou «fixer» ses expériences. L'utilisation du procédé s'est vite répandue aussi bien dans le monde médical (en radiodiagnostic et en radiothérapie) que dans d'autres domaines aussi variés qu'incongrus (chez le cordonnier, pour vérifier qu'un pied s'adapte bien à sa chaussure par exemple). Le support photographique présentait l'inconvénient de nécessiter un temps de pose long



Fig. 1-1. Radiographie, par Wilhelm Conrad Röntgen, de la main de sa femme, Anna Bertha.

³ Traduction de l'énoncé de la découverte récompensée par la fondation Nobel.

(plusieurs minutes), tandis que l'écran fluorescent irradiait de façon non négligeable « l'opérateur ». Celui-ci se trouvait alors dans l'axe de propagation du rayonnement (figure 1.2). Le premier mort attribué à une surdose de rayonnement X date de 1905.

Les supports spécifiques à la radiographie médicale virent le jour en 1916, développés par les laboratoires Kodak. Il s'agit de films plastiques recouverts d'émulsion d'argent. Ce support nécessite, comme les films photographiques, un développement chimique (bains de révélateurs et fixateurs).

Dans les années 1950 apparaît la radioscopie par amplification de brillance. Ce dispositif met en jeu un « amplificateur de brillance » capable de transformer le rayonnement X en scintillation lumineuse, elle-même traduite en signal vidéo (c'est de la numérisation indirecte). Ce procédé est encore largement utilisé aujourd'hui (on utilise également le terme de scopie) pour avoir une image instantanée de la zone placée sous le faisceau de rayons X (exemples : localiser une zone d'injection ou observer l'avancée d'une substance opacifiante dans une cavité du corps).



Fig. 1-2. Photographie d'un appareil radiologique de 1898.

Depuis les années 1990, avec les progrès technologiques et informatiques, la numérisation de l'image prend une place constamment plus grande (on parle alors de numérisation directe). Les dernières générations de récepteurs sont de deux ordres :

- des plaques de phosphore, dont la modification électronique au passage du rayonnement X permet une lecture laser des informations ;
- des tapis de microcapteurs (capteurs plans) transformant le rayonnement X en signal électrique.

Ces technologies permettent la dématérialisation des images qui sont fréquemment transmises aux correspondants sur CD ou par serveur Internet, c'est ce que l'on nomme le PACS (*picture archiving and communication system*).

On voit apparaître depuis 2003 la radiologie biplane basse dose. Processus développé dans le système EOS® qui met en application le principe des chambres à ionisations proportionnelles multifils (développé en 1968 par Georges Charpak, physicien français 1924–2010 ; prix Nobel en 1992). L'EOS® est un système permettant la réalisation de deux images orthogonales du corps entier en charge. Cette double acquisition est simultanée et à faible dose [6]. Ces images peuvent servir de support à une reconstruction tridimensionnelle (figure 1.3).

Radioactivité

La découverte de la radioactivité date de 1896. Cela a eu un impact important dans le monde médical, en thérapie et en diagnostic. La découverte est attribuée au physicien français Antoine Henri Becquerel (1852–1908). Celui-ci travaillait sur la phosphorescence des matériaux, en lien avec les récentes découvertes du tube cathodique et des rayons X. Il mit alors en évidence le fait que l'uranium émettait naturellement des rayonnements invisibles à l'œil qui, comme les rayons X, pouvaient impressionner un film photographique. Les expériences se multiplièrent donc sur le sujet, menées par différentes équipes, Becquerel bien sûr mais également Marie Curie (1863–1934) et Pierre Curie (1859–1906). Ces deux derniers découvrirent alors la triple nature de ce rayonne-

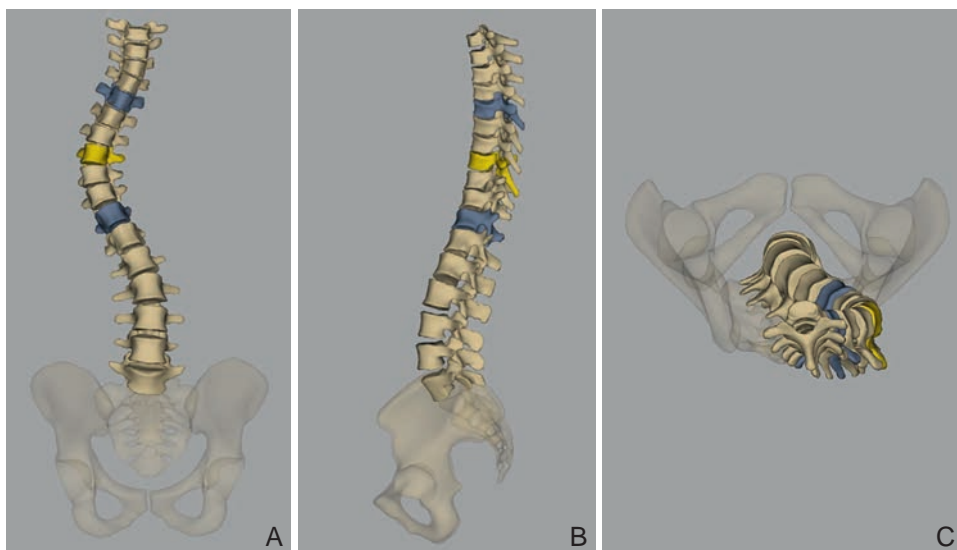


Fig. 1-3. Reconstruction 3D à partir d'une imagerie biplane basse dose, système EOS.
(Avec l'aimable autorisation d'EOS Imaging.)

ment et distinguèrent les rayons α , constitués de noyaux d'hélium (4He), les rayons β , constitués d'électrons, et les rayons γ , équivalents à des rayons X de plus grande énergie. Cette découverte leur valut conjointement le prix Nobel de physique en 1903 : pour moitié à Antoine Henri Becquerel « en reconnaissance des services extraordinaires qu'il a rendus par sa découverte de la radioactivité spontanée » et pour moitié à Pierre et Marie Curie « en reconnaissance des services extraordinaires qu'ils ont rendus par leurs travaux communs sur le phénomène de radiation découvert par le professeur Henri Becquerel »⁴.

Les applications qui en découlent sont nombreuses. Leur utilisation dans le milieu médical se fait sur deux plans :

- dans l'imagerie médicale, avec l'apparition dans les années 1960 de la « médecine nucléaire » et la réalisation de la première scintigraphie (utilisant les rayonnements γ) [7]. Cette technique se développe encore avec, depuis 1975, l'arrivée de la tomographie par émission de positons (TEP) et, depuis les années 1990, avec le couplage d'imageries (TEP/TDM);

- en radiothérapie (débutée en 1902 avec des tubes radiogènes) avec, à partir de 1950, l'apparition des bombes à cobalt (progressivement remplacées par les accélérateurs de particules mis en service à partir des années 1970) [8] puis la curiethérapie.

Radioprotection

Cette discipline est intrinsèquement liée à la radiologie, mais également à l'utilisation du nucléaire dans les domaines civil et militaire. La notion de radioprotection est apparue en même temps que la découverte des rayons X (W. Röntgen lui-même utilisait des boucliers plombés). Les premières publications sur le sujet sont apparues un an à peine après leur découverte [9, 10]. Depuis, le sujet évolue sans cesse. Il a cependant fallu attendre les premiers cas de cancers (1902) et de décès (1905) pour voir apparaître une prise de conscience quant aux dangers liés aux rayonnements ionisants. La première moitié du xx^{e} siècle a vu se succéder plusieurs réunions internationales qui aboutiront en 1950 à la création de la première commission internationale de protection radiologique. Les modalités de protection sont donc connues depuis le début de la

⁴ Traduction de l'énoncé de la découverte récompensée par la fondation Nobel.

discipline mais évoluent encore avec la recherche sur les doses maximales admissibles, et les publications régulières de nouvelles recommandations d'exposition.

Autres grandes modalités d'imagerie médicale

Scanner

Le scanner, ou tomодensitométrie (TDM) ou encore *computed tomography* (CT-scan), utilise un tube radiogène. La technologie, théorisée en 1917 par la « transformée de Radon » (du nom du mathématicien autrichien Johann Radon, 1887–1956), est mise en application, en 1972, suite aux travaux successifs du physicien américain Allan Cormack (1924–1998) et de l'ingénieur anglais Godfrey Newbold Hounsfield (1919–2004). L'invention apportera à ces deux hommes le prix Nobel de médecine en 1979 « pour le développement de la tomographie assistée par ordinateur »⁵.

L'émergence du procédé a été possible avec l'apparition de l'ordinateur et il s'est amélioré avec les progrès dans le domaine de l'informatique. En effet, en 1972, l'acquisition d'une seule coupe de scanner de cerveau nécessitait plusieurs minutes de mesures et plusieurs heures de reconstruction informatique. Aujourd'hui, l'exploration crânienne complète se fait en une poignée de minutes, interprétation comprise.

Bien que le principe physique du scanner (voir Tomodensitométrie, p. 21) soit resté inchangé depuis 1972, la technologie liée à celui-ci a énormément progressé.

Les premiers appareils présentaient un couple émetteur-récepteur diamétralement opposé effectuant un balayage synchrone du volume étudié. Dans un deuxième temps, ce couple effectuait une rotation de quelques degrés autour de la cible puis recommençait le balayage. Ce procédé se répétait alors jusqu'à avoir effectué une rotation complète autour du patient. Les données ainsi collectées

étaient synthétisées pour produire l'image en deux dimensions de la coupe considérée (figure 1.4a).

Les scanners de génération intermédiaire (à partir du début des années 1990) ont représenté un pas énorme vers la réduction du temps de l'examen. Le tube radiogène et le récepteur sont toujours liés mais se déplacent cette fois de façon circulaire autour du patient (on parle de scanners hélicoïdaux ou spiralés). L'émission de rayons X se fait en continu pendant la rotation, une coupe de scanner ne prend désormais que quelques secondes au lieu de quelques minutes (figure 1.4b).

Les scanners de nouvelle génération (apparus depuis le milieu des années 1990) présentent un ou plusieurs anneaux complets de détecteurs (scanner multibarrettes). Seul l'émetteur se trouve alors en mouvement, la multiplication des « barrettes de détecteurs » permet l'acquisition rapide de volumes et ouvre la voie à l'exploration fonctionnelle des tissus : scanners avec opacifications vasculaires, scanner cardiaque... (figure 1.4c et d) [11].

On voit aujourd'hui arriver sur le marché des scanners multibarrettes à double source, c'est-à-dire que deux tubes à rayons X (positionnés à 90° l'un de l'autre) effectuent une rotation simultanée autour du sujet. Ceci permet des temps d'acquisition toujours plus courts (75 ms la coupe) et ouvre à de nouveaux domaines d'exploration.

Cette évolution va de pair avec l'augmentation des doses de radiation reçues par le patient et peut dans certains cas atteindre des doses critiques (voir Effets du rayonnement sur les tissus biologiques, p. 31).

Imagerie par résonance magnétique

L'imagerie par résonance magnétique (IRM), ou résonance magnétique nucléaire (RMN), est une technologie bien spécifique, non ionisante, associant un champ magnétique puissant et des ondes radiofréquences (voir Imagerie par résonance magnétique, p. 22). Son principe remonte à 1946, avec la découverte des physiciens suisse Félix Bloch (1905–1983) et américain Edward Mills Purcell (1912–1997), tous deux prix Nobel de physique en 1952 « pour leur développement de nouvelles méthodes dans les mesures fines du

⁵ Traduction de l'énoncé de la découverte récompensée par la fondation Nobel.

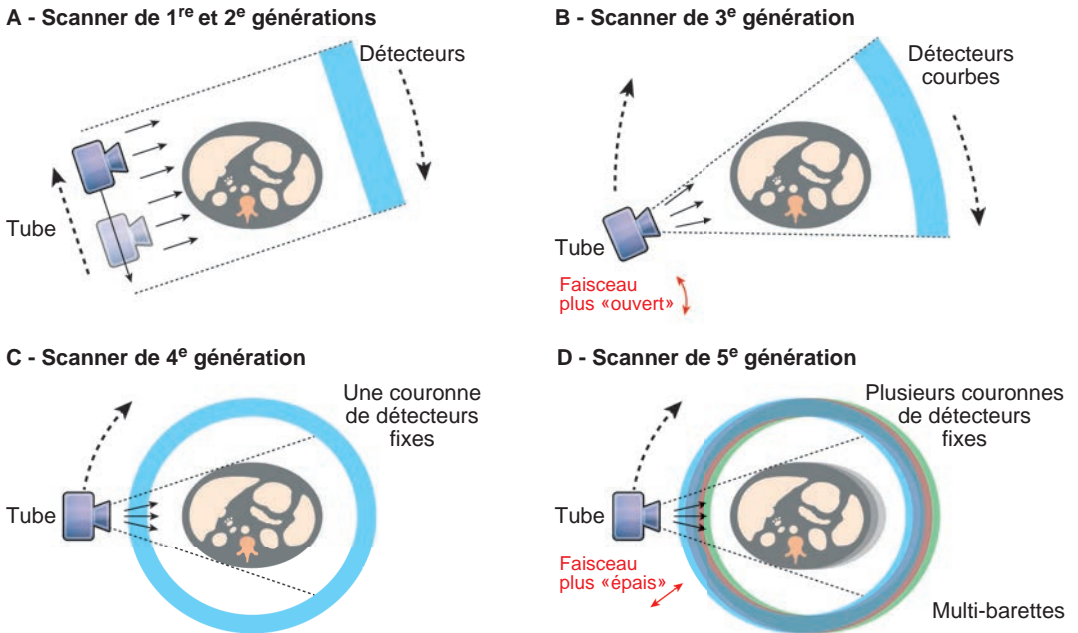


Fig. 1-4. Les générations successives de scanner.

magnétisme nucléaire et les découvertes qui en découlent»⁶. Développée, dans un premier temps, pour la spectrométrie, la technique trouve, à partir de 1970, ses premières applications théoriques médicales dans le diagnostic des cancers (par Raymond Vahan Damadian, mathématicien américain, 1936–). La technique bénéficia par la suite des progrès du scanner et de l'informatique.

En 1975, l'application des «transformées de Fourier» permet d'obtenir les premières images anatomiques en 1977 qui aboutissent à la généralisation de la technique [11].

Depuis lors, la technique évolue sans arrêt avec l'apparition de «séquences d'acquisition» toujours plus performantes et novatrices; citons par exemple l'IRM fonctionnelle (IRMf) qui a ouvert de nouvelles perspectives aux neurosciences.

Échographie

Les découvertes qui ont permis l'émergence de l'examen échographique que nous connaissons s'étalent sur une bien plus longue période. Elles

ont débuté bien avant les événements précédemment mentionnés. Le premier fait remonte effectivement à la seconde moitié du XVIII^e siècle avec la découverte du mode de déplacement des chauvessouris par Lazzaro Spallanzani (biologiste italien, 1729–1799). Ses expériences et sa description de l'échocalisation ont contribué à sa grande renommée.

Le deuxième fait majeur date de 1842, avec la mise en évidence du décalage de fréquence perceptible en fonction de la vitesse relative entre une source et un récepteur. Ce phénomène, baptisé effet Doppler (ou Doppler-Fizeau), du nom du physicien autrichien Christian Doppler (1803–1853), fut précisé quelques années après et théorisé pour les ondes sonores et électromagnétiques.

À la fin du XIX^e siècle, en 1880, Pierre et Jacques Curie (physiciens français) mettent en évidence la capacité piézoélectrique de certains cristaux (voir Échographie, p. 24). Cette découverte restera cependant sans grande application pratique avant 1917 et le développement par Paul Langevin (physicien français, 1872–1946) du premier sonar alors utilisé dans la détection de sous-marins et de mines sous-marines.

⁶ Traduction de l'énoncé de la découverte récompensée par la fondation Nobel.

Il faudra attendre 1951 pour voir apparaître le premier appareil ultrasonore à usage médical. Il est l'œuvre de John Julian Wild (médecin anglais, 1914–2009) et John Reid (électronicien américain, 1926–) et fut initialement développé pour le diagnostic des tumeurs [12].

C'est à partir de 1971 que la technique se développe, en obstétrique tout d'abord, avant d'intéresser les autres disciplines médicales.

Les échographes actuels présentent tous une fonction Doppler, leurs évolutions techniques se fondent désormais principalement sur l'amélioration des céramiques piézoélectriques (permettant notamment les acquisitions 3D et 4D) et l'apparition de produits de contraste, dont l'utilisation est anecdotique.

Histoire de l'ostéopathie

Origines de l'ostéopathie

L'ostéopathie a vu le jour à la fin du XIX^e siècle dans une Amérique coloniale en proie à la guerre de Sécession. Les conditions de vie sont alors très rudes et la médecine est en pleine évolution, déchirée entre la médecine héroïque⁷ et les balbutiements de la médecine « moderne ».

Andrew Taylor Still (médecin américain, fondateur de l'ostéopathie, 1828–1917) pose en 1874 les bases d'un concept novateur, rompant avec l'approche médicale d'alors. Il développe l'ostéopathie sur les bases de ses observations de la nature et de son œuvre sur l'homme, sur la santé et la pathologie. Il développe alors l'idée selon laquelle le corps humain possède en son sein la capacité d'autogénération et que le thérapeute doit pouvoir la stimuler pour obtenir la guérison [13].

La pratique de l'ostéopathie repose avant tout sur les concepts et la philosophie. La technicité employée apparaît secondaire, mais il découle de la philosophie un rejet des traitements médica-

menteux opposant violemment Still et son concept au monde médical de l'époque. La mise en pratique du concept ostéopathique se tourne donc logiquement vers les techniques de reboutement et de chirurgie.

La première école d'ostéopathie, l'*American school of Osteopathy* (ASO), ouvre en 1892 à Kirksville dans le Missouri.

Depuis ses origines, la pratique a évolué, s'enrichissant de techniques nouvelles mais sans en perdre le concept fondateur. Citons notamment le traitement ostéopathique général (John M. Littlejohn) : 1915; la thérapie crano-sacrée (William G. Sutherland) : 1939; les techniques d'énergie musculaire (Fred Mitchell Sr.) : 1948; le *specific adjustment treatment* (Parnell Bradbury) : 1950; le traitement des viscères, etc.

L'évolution se poursuit de nos jours, celle-ci passant notamment par la validation scientifique des thérapeutiques [14].

L'enseignement de la profession a dû s'adapter aux besoins, tant la demande de soins était forte, signe de l'engouement du public pour la profession. Ainsi, une dizaine d'étudiants formaient la première promotion, la deuxième en comptait 30. En 1899, les États-Unis comptaient déjà 13 collèges ostéopathiques. La profession a commencé à être officiellement reconnue à partir de 1897 en dépit de nombreuses tensions internes, au sein de la profession, et au sein de l'ASO. La plupart des polémiques d'alors concernent la place de l'enseignement médical dans l'enseignement ostéopathique, les différents courants de pensée s'affrontant sur fond de lutte d'influence.

Ostéopathie et imagerie

John Martin, James et David Littlejohn (médecins et scientifiques écossais) prirent en charge à partir de 1898 l'enseignement de la physiologie à l'ASO. Ils s'opposèrent à A.T. Still sur de nombreux points concernant l'enseignement en ostéopathie, dont celui de posséder au sein de l'école un appareil de radiologie [15]. Ils eurent gain de cause et en novembre 1898, l'école de Kirksville acquit un appareil de radiologie (3 ans seulement après la découverte des rayons X). Cet appareil, le deu-

⁷ Enté 1780 et 1850, cette pratique médicale répandue (développée par Benjamin Rush) prétendait soigner par des pratiques très agressives de purges, saignées, et autres remèdes à base de mercure...

xième en service à l'ouest du Mississippi, apporta un rayonnement positif à l'école en termes de reconnaissance par la communauté médicale et scientifique. Le Docteur Heber Robarts (éditeur du *American X-ray Journal* et possesseur du premier appareil de radiographie de l'ouest du Mississippi) fit savoir son respect face à cet entrain scientifique de l'ASO [16].

L'appareil servait alors au diagnostic des fractures et luxations, à la localisation de corps étrangers, à la mise en évidence des états anormaux de certains organes, à des bilans médico-légaux et à l'étude de l'anatomie [17]. À ce sujet, de nombreuses études furent menées par les frères Littlejohn et le Docteur William Smith (professeur d'anatomie à l'ASO) qui publièrent les premières images d'artériographies des États-Unis en 1898 (figure 1.5) [18, 19].

A.T. Still pensait qu'il était plus utile aux étudiants de s'entraîner à percevoir les choses plutôt que d'aller vers la facilité en étudiant une image [15]. Néanmoins, les ostéopathes ont été productifs dans le domaine de la recherche sur les applications de la radiographie (on dénombre 82 publications concernant la radiographie dans les archives du *Journal of the American Osteopathic Association* entre 1960 et 1981). Ce phénomène s'est amplifié au fil des années et les liens entre ostéopathie et imagerie ont continué à se resserrer au point qu'aujourd'hui, aux États-Unis, il existe une formation spécialisée de radiologie pour les ostéopathes, une association professionnelle spécifique⁸, et quelques centaines d'ostéopathes-radiologues⁹ [20].

Bien que le diagnostic ostéopathique soit, et sera toujours, basé sur la palpation tissulaire, l'imagerie apporte des informations précieuses (et parfois imperceptibles à la main) sur la structure (et donc la fonction).

La radiologie conventionnelle et l'ostéopathie sont donc d'apparition contemporaine. Ces deux disciplines ont énormément évolué et progressé entre la fin du XIX^e siècle et les années

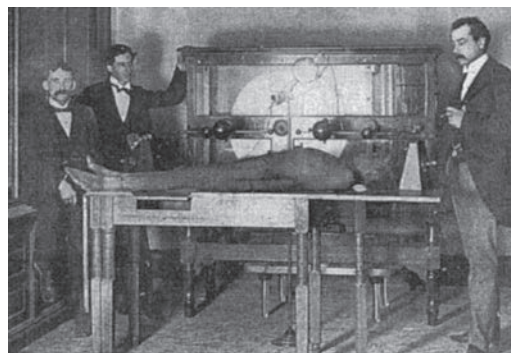


Fig. 1-5. Photographie de l'appareil de radiographie en place à l'ASO en 1898, à gauche : David Littlejohn.

1930 ; probablement plus que dans la période qui a suivi jusqu'à nos jours. Les deux spécialités évoluent toujours et font face à de nouveaux défis et à de nouvelles attentes. Les principes fondateurs de l'ostéopathie, tout comme le principe de base de la radiologie, sont restés inchangés depuis leur découverte. Les évolutions qui ont suivi étaient, pour la radiographie dans l'amélioration des équipements, pour l'ostéopathie dans l'apport de nouvelles techniques. À l'avenir, ostéopathie et radiologie évolueront encore mais garderont leur socle fondateur. L'imagerie devant s'adapter à des contraintes de réduction de dose et devenant plus fonctionnelle ; l'ostéopathe devant trouver sa manière de répondre aux exigences de validations scientifiques sans se renier. Un des chemins pour l'ostéopathie pourrait être d'intégrer les données émanant de la maîtrise de l'outil formidable que représente l'imagerie médicale dans son diagnostic spécifique de routine.

Références

- [1] Sutherland WG. Contributions of thoughts. Rudra Press; 1988. p. 102.
- [2] Trowbridge C. Naissance de l'ostéopathie, vie et œuvre de Andrew Taylor Still; 2010. p. 229–330, Sully.
- [3] Halioua B. Histoire de la médecine. Paris : Masson; 2001.
- [4] Röntgen WC. Sur une nouvelle sorte de rayons (trad. de «Über eine neue Art von Strahlen»). Comptes rendus des réunions de la Société physico-médicale de Würzburg; 28 décembre 1895.

⁸ L'AOCR, *American Osteopathic College of Radiology*.

⁹ Rappelons que l'ostéopathie pratiquée aux États-Unis n'est pas l'ostéopathie pratiquée en France.

- [5] Bléry M. Imagerie radiologique, bases physiques et évolution de l'imagerie radiologique. Paris : Masson; 1993.
- [6] Dubousset J, et al. Le système EOS, Nouvelle imagerie ostéo-articulaire basse dose en position debout. e-mémoires de l'Académie nationale de chirurgie, 4; 2005. p. 22-7, 4.
- [7] Dubois P. Historique de l'imagerie en médecine nucléaire. IRBM 01/2009; 30(2) : 40-6.
- [8] Halioua B. Histoire de la médecine. Paris : Masson; 2001. p. 203.
- [9] Drury HC. Dermatitis caused by Röntgen X-rays. Br J Med 1896 ; 2 : 1377.
- [10] Fuchs W. Simple recommendations on how to avoid radiation harm. Western Electrician; 1896, no 12.
- [11] Doby T, Alker GJ. Origins and development of Medical Imaging. Southern Illinois University; 1997.
- [12] Wild JJ, Reid JM. Application of echo-ranging techniques to the determination of structure of biological tissues. Science 1952 February; 29 : 226-30.
- [13] Still AT. The philosophy of osteopathy. A.T. Still; 1899.
- [14] Liem T, Dobler TK. Guide d'ostéopathie, techniques pariétales. Paris : Maloine; 2004. p. 111-31.
- [15] Trowbridge C. Naissance de l'ostéopathie, vie et œuvre de Andrew Taylor Still. 2010. p. 234-5; Sully.
- [16] Peterson B. Time capsule, 1898 : Radiology in Kirksville. J Am Osteopath Assoc 1974; 74(2) : 167-72.
- [17] Littlejohn D. X-Radiance. The Journal of Osteopathy; 1898 Nov. p. 274-6.
- [18] Smith W. Skiagraphy and the circulation, first delineation of the arterial system with x-rays achieved by the American school of Osteopathy; the American X-Ray journal; 1898 Dec.
- [19] Smith W. Skiagraphy and the circulation, first delineation of the arterial system with X-rays achieved by the American School of Osteopathy. The Journal of Osteopathy, Vol. V; 1899 January. p. 8.
- [20] Rosenbaum RR. A century of radiology in osteopathic healthcare. J Am Osteopath Assoc 1998 ; 98(12) : 696-702.

Chapitre 2

Bases physiques de l'imagerie

Définition

L'atome et son énergie

Le corps humain est constitué de cellules (réparties en tissus, organes, systèmes, etc.). Ces cellules sont faites de l'assemblage de protéines, lesquelles sont faites de molécules, lesquelles sont faites d'atomes.

Le mot atome vient du grec *atomos* : « qui ne peut être coupé ». Un atome se définit selon le dictionnaire Larousse comme « constituant fondamental de la matière » ; il s'agit architecturalement de la combinaison d'un noyau (agglomération d'un ou plusieurs protons et d'un nombre égal de neutrons) et d'un ou plusieurs électrons qui gravitent autour de ce noyau.

Les nucléons (protons et neutrons) concentrent la quasi-totalité de la masse de l'atome (99,99 %), dans un volume approximativement égal au 1/100 000^e du volume total de celui-ci. La somme des nucléons forme le nombre de masse, noté A ; le numéro atomique, noté Z, désigne le nombre de protons de l'élément (figure 2.1).



Fig. 2-1. Représentation générique d'un élément atomique.

X : symbole de l'élément considéré ; A : le nombre de masse (nombre de nucléons) ; Z : le numéro atomique (nombre de protons).

La charge électrique d'un atome est neutre. Le noyau est de charge positive (les protons étant positifs et les neutrons neutres), tandis que les électrons du nuage équilibrent cette polarité par leur charge négative¹⁰. Il y a donc autant d'électrons en orbite autour du noyau que de protons dans le noyau.

Un élément chimique se définit par le nombre de protons dans le noyau de l'atome. Les isotopes d'un élément chimique donné ont tous le même nombre de protons, mais des nombres de neutrons (et donc des numéros atomiques) différents. On dénombre aujourd'hui 118 éléments chimiques différents (figure 2.2), à chacun est attribué un symbole chimique (exemple : H pour l'hydrogène).

Les ions sont des atomes ayant gagné ou perdu des électrons et donc présentant une charge négative ou positive. Les ions à charge positive (ayant perdu un ou plusieurs électrons) sont des cations. Les ions à charge négative (ayant gagné un ou plusieurs électrons) sont des anions.

Un atome, quel qu'en soit l'état électrique, peut être vu comme un réservoir d'énergie. Cette énergie peut provenir du nuage d'électrons ou du noyau. La plupart des examens d'imagerie médicale exploitent cette source d'énergie et les interactions qui y sont liées.

L'électron, le nuage électronique et son énergie potentielle

L'électron est une particule élémentaire (on ne lui connaît pas de sous-composant). C'est la particule

¹⁰ La charge d'un électron est de $-1,602 \times 10^{-19}$ C. La charge d'un proton est de $+1,602 \times 10^{-19}$ C.

Groupe \ Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H 1																	He 2
2	Li 3	Be 4	Non-métaux Métaux alcalins Métaux alcalino-terreux Métaux de transition Métaux pauvres Actinides Métalloïdes Halogènes Gaz nobles Lanthanides										B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56											Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88											Uut 113	Uuq 114	Uup 115	Uuh 116	Uus 117	Uuo 118
Lanthane 57 La, Cérium 58 Ce, Praseodyme 59 Pr, Néodyme 60 Nd, Prométhium 61 Pm, Samarium 62 Sm, Europium 63 Eu, Gadolinium 64 Gd, Terbium 65 Tb, Dysprosium 66 Dy, Holmium 67 Ho, Erbium 68 Er, Thulium 69 Tm, Ytterbium 70 Yb, Lutécium 71 Lu Actinium 89 Ac, Thorium 90 Th, Protactinium 91 Pa, Uranium 92 U, Néptunium 93 Np, Plutonium 94 Pu, Américium 95 Am, Curium 96 Cm, Berkélium 97 Bk, Californium 98 Cf, Einsteinium 99 Es, Fermium 100 Fm, Mendélévium 101 Md, Nobelium 102 No, Lawrencium 103 Lr																		

Fig. 2-2. Tableau périodique des éléments selon la classification de D. Mendeleïev.

chargée la plus légère, sa masse est approximativement de $9,109 \times 10^{-31}$ kg (soit plus de 1800 fois plus légère qu'un proton). Les modèles actuels attribuent deux mouvements différents à l'électron : un mouvement de rotation autour du noyau (l'orbite) et un mouvement de rotation sur lui-même (le spin).

Un électron génère, du fait de sa charge, un champ électrique qui est source d'interactions avec d'autres particules¹¹ (les protons du noyau par exemple). En raison de son mouvement, l'électron génère un champ magnétique également source d'interactions avec d'autres particules¹².

Énergie potentielle induite par l'orbital

La rotation du(des) électron(s) autour d'un noyau se fait selon des orbites précises, propres à chaque atome. Ces orbites sont des paliers d'énergie qui sous-tendent la force du lien de l'électron considéré avec son noyau (figure 2.3).

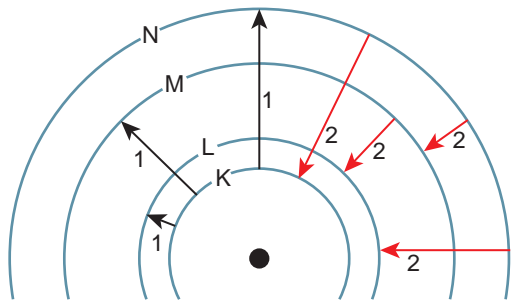


Fig. 2-3. Représentation des différentes orbitales d'un atome. K, L, M, N sont les différentes orbites permises, les flèches désignent les trajectoires de changement d'orbite.

À l'état d'équilibre (en dehors de toute interaction), les électrons d'un atome sont dans un état stable et ne génèrent pas d'énergie. À l'inverse, la modification de l'architecture du nuage atomique (par interactions électromagnétiques) produit de l'énergie sous forme de photons.

En effet, un électron donné peut, dans certaines conditions, changer d'orbital (s'approchant ou s'éloignant du noyau), ce changement se faisant par émission ou réception d'un photon.

¹¹ Exprimé par la loi de Coulomb relative aux forces électrostatiques entre deux charges électriques.

¹² Conformément à la loi de Lorentz relative aux forces électromagnétiques.

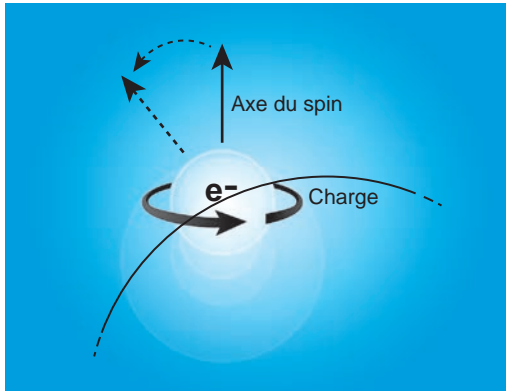


Fig. 2-4. Schématisation du spin d'un électron.

Énergie potentielle induite par le spin

Les électrons sont des particules de spin $1/2$. Le spin est le moment cinétique angulaire intrinsèque. De façon simplifiée, nous pouvons le comparer à l'angle de l'axe de rotation autour duquel un électron tourne sur lui-même (figure 2.4).

Certains facteurs physiques (un champ magnétique par exemple) peuvent influencer le spin, faisant basculer l'angle de rotation. Cela crée alors un état transitoire d'instabilité, donc une source d'énergie potentielle.

Le noyau de l'atome et son énergie potentielle

Les forces de cohésion qui unissent les nucléons sont considérablement plus fortes que celles unissant les électrons au noyau de l'atome. Perturber cet équilibre nécessitera donc une énergie plus grande. Et à l'inverse, une perturbation de l'équilibre nucléaire produira une énergie plus grande.

Définitions générales

La radioactivité désigne le processus au cours duquel un noyau instable tend à devenir stable. C'est un processus de réorganisation du noyau qui est générateur de rayonnements ionisants¹³. Les radio-isotopes¹⁴ sont naturellement présents dans la nature. On peut également en produire artifi-

ciellement¹⁵. Par exemple, en cas de fission d'un noyau (quand un neutron vient percuter un noyau suffisamment fortement pour le séparer en deux) ou en cas de fusion (quand deux noyaux se percutent pour en produire un nouveau), les entités produites sont très instables et donc génèrent une énergie forte pour retrouver un état d'équilibre.

La phase d'instabilité de l'élément (période pendant laquelle il est radioactif) est plus ou moins longue selon l'élément considéré, de l'ordre de la seconde pour certains, de plusieurs milliers d'années pour d'autres. Cette durée figure le temps nécessaire à l'élément pour retrouver sa stabilité. La désintégration¹⁶ est un phénomène aléatoire répondant à une loi statistique (le phénomène n'est pas dépendant de l'élément considéré ni du milieu dans lequel il se trouve).

La demi-vie (ou période radioactive) définit le temps au bout duquel le « radio-isotope » aura vu sa radioactivité décroître de moitié.

Différents types de rayonnements

Les rayonnements émis par un radio-isotope cherchant la stabilité sont de plusieurs ordres :

- rayonnement alpha : émission d'un noyau d'hélium (combinaison de deux neutrons et deux protons) ;
- rayonnement bêta : désigne la particule émise lors de la transformation, dans le noyau, d'un neutron en proton (rayonnement bêta moins), ou d'un proton en neutron (rayonnement bêta plus). Il s'agit respectivement d'un électron ou d'un positon ;
- rayonnement gamma : rayonnement électromagnétique émis lors du réarrangement interne d'un noyau atomique. Ce sont des photons de grande énergie.

Ondes

Une onde caractérise la modification apportée à un milieu se propageant à son environnement immédiat. Il s'agit d'une propagation d'énergie n'entraînant pas de déplacement de matière. Cette propagation est sous la dépendance des caractéristiques physiques du milieu considéré.

¹³ Un rayonnement est dit ionisant quand il peut ioniser la matière qu'il rencontre.

¹⁴ Un radio-isotope est un atome dont le noyau est instable.

¹⁵ On estime de 25 à 30 % la quantité de radioactivité artificielle, elle résulte principalement de l'activité médicale.

¹⁶ Terme désignant la transformation de la matière en énergie.

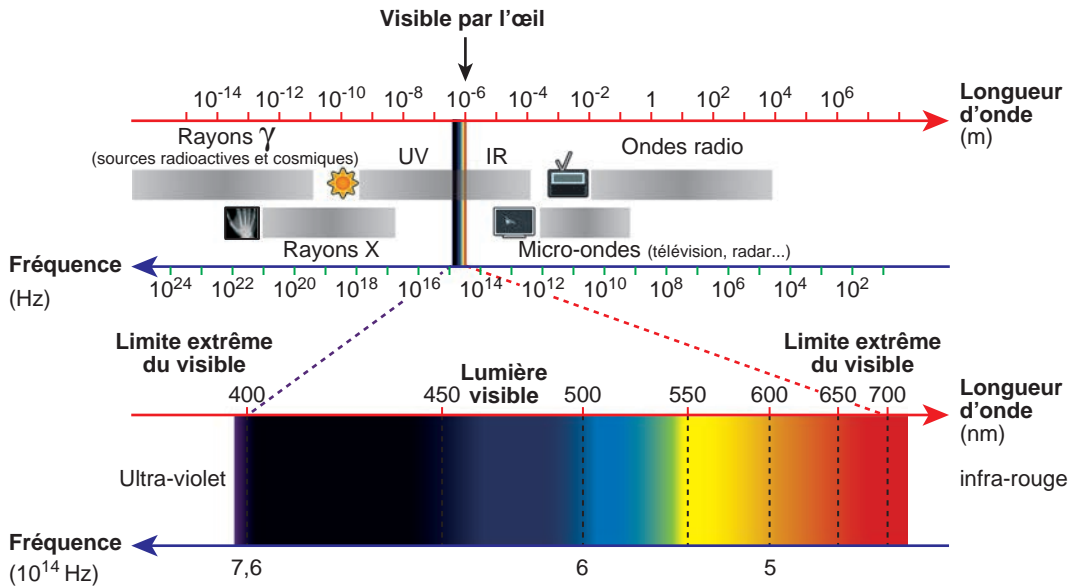


Fig. 2-5. Représentation des longueurs d'ondes électromagnétiques et leur utilisation pratique.

Une onde se caractérise par :

- son amplitude : réfère à l'intensité du phénomène (un son fort ou faible par exemple). Sa valeur s'exprime en pascals (Pa) ou en décibels (dB);
- sa fréquence : nombre de crêtes d'onde par unité de temps. Réfère à la caractéristique intrinsèque du phénomène (un son aigu ou grave par exemple). Sa valeur s'exprime en hertz (Hz);
- sa longueur d'onde : il s'agit de la plus courte distance séparant par exemple deux crêtes de l'onde (ou deux points strictement identiques de l'onde). Sa valeur s'exprime en mètres (m).

Ondes électromagnétiques

Ce sont des ondes qui associent un champ magnétique et un champ électrique oscillant à la même fréquence et positionnés de façon orthogonale l'un par rapport à l'autre. L'énergie ondulatoire résultante est plus ou moins importante en fonction de la fréquence de l'onde considérée¹⁷. De cette façon, une onde électromagnétique de fréquence élevée transporte plus d'énergie qu'une onde électromagnétique de basse fréquence.

La fréquence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde. Ces notions définissent les propriétés physiques de l'onde considérée et influencent directement leur utilisation (figure 2.5).

Ondes acoustiques

Les ondes sonores sont des vibrations mécaniques qui se propagent dans toutes les directions de proche en proche (à la façon des ondes à la surface de l'eau que produirait un caillou en tombant mais tridimensionnellement). Il s'agit en fait d'une succession de compressions et de décompressions du milieu traversé.

La propagation de l'onde est dépendante de la résistance acoustique du milieu dans lequel elle se propage : c'est l'impédance. L'impédance acoustique d'un milieu est fonction de sa masse volumique. Plus l'impédance d'un milieu est forte, plus la propagation de l'onde est facilitée.

La propagation est également dépendante de ses caractéristiques propres de fréquence et d'amplitude¹⁸. C'est ainsi que le son ne se propage pas

¹⁷ Selon la relation $E = h \cdot \nu$ (E : l'énergie de l'onde; ν : la fréquence de l'onde; h : la constante de Planck soit $6,625 \times 10^{-34}$ J.s).

¹⁸ La fréquence du son est une composante de sa « hauteur », une fréquence faible correspondant à un son grave. L'amplitude du son est une composante de son intensité, une intensité forte correspondant à un son fort.

Types d'ondes en fonction de la fréquence

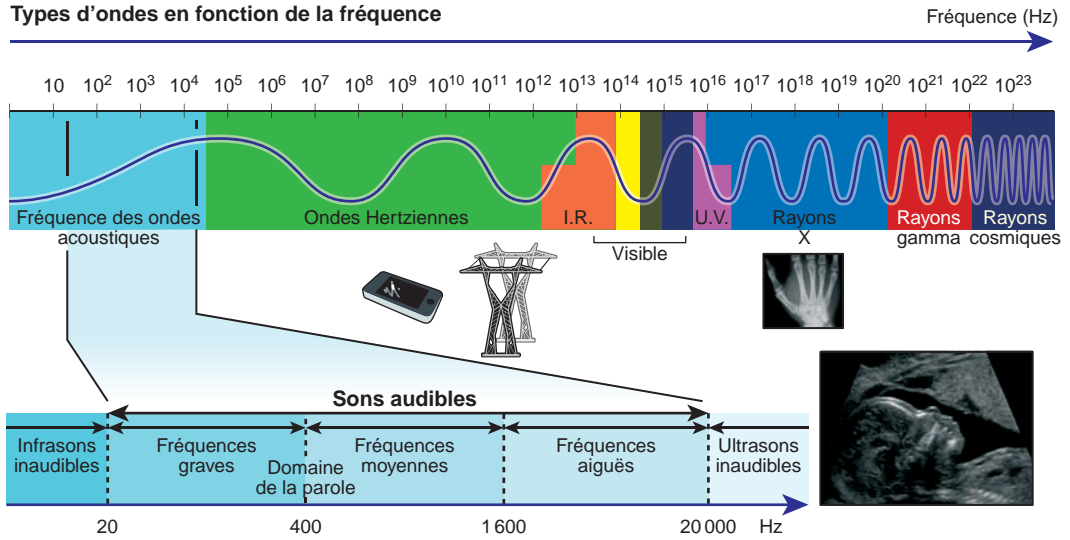


Fig. 2-6. Fréquences acoustiques.

dans le vide et que dans l'air, les sons graves se propagent mieux que les sons aigus.

Comme les ondes électromagnétiques, les ondes sonores se classent sur un spectre en fonction de leur fréquence. De 20 Hz à 20 KHz, on est dans le domaine des sons audibles par l'oreille humaine. En dessous on parle d'infrasons, au-dessus d'ultrasons (figure 2.6).

Lors de leur propagation, les ondes sonores interagissent avec leur milieu de propagation et les « obstacles » qu'elles rencontrent. Elles sont alors transmises, réfractées ou réfléchies.

Quand une onde se propage dans un milieu inhomogène, ou quand elle passe d'un milieu d'impédance A à un milieu d'impédance B, alors il se forme des échos. Les échos sont la propagation à contre-courant de tout ou partie de l'onde incidente. Quand l'onde a une direction opposée à 180° , on parle d'onde réfléchi. Quand l'onde prend une direction autre (quand l'interface rencontrée n'est pas orthogonale à l'axe de propagation de l'onde), on parle d'onde réfractée (figure 2.7). Cette propriété du son est utilisée dans le sonar et en échographie.

Quand une onde sonore est émise par un corps en déplacement, elle se retrouve compressée dans le sens du déplacement du corps et à l'inverse, elle est étirée en arrière de celui-ci. On expérimente cela par exemple quand on est posté sur le bord

d'une route et qu'une voiture (à vitesse constante) nous passe devant. La voiture paraît émettre un bruit de plus en plus aigu au fur et à mesure qu'elle s'approche, et de plus en plus grave en s'éloignant. Ce phénomène a été décrit dans les années 1840 par deux physiciens : Christian Doppler (Autrichien travaillant dans le domaine de la lumière), puis Hippolyte Fizeau (Français). Leurs noms sont restés pour désigner le phénomène (figure 2.8).

Magnétisme

Ce phénomène repose sur les propriétés répulsives et attractives de certains composés entre eux et avec les champs magnétiques (qu'ils soient terrestres, produits par des aimants ou par des charges électriques en mouvement).

Définitions

Un champ magnétique est une force vectorielle (conventionnellement notée B ou \vec{B}). Il se caractérise par son sens, sa direction et son intensité. Son unité est le tesla (T). Son intensité décroît avec la distance à la source.

Un champ magnétique a la capacité de déplacer un corps magnétique selon un axe donné, dans une direction donnée, avec une certaine force en fonction de sa susceptibilité magnétique.

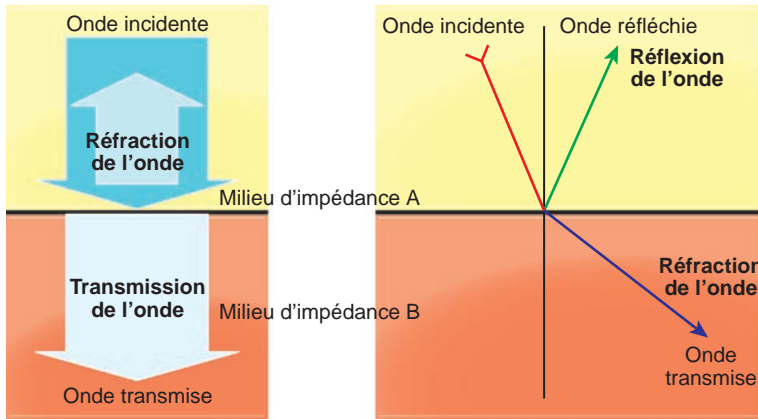


Fig. 2-7. Représentation des interactions possibles lorsqu'une onde se propageant dans un milieu d'impédance A rencontre un milieu d'impédance B.

1. Transmission de l'onde. 2. Réflexion de l'onde. 3. Réfraction de l'onde.

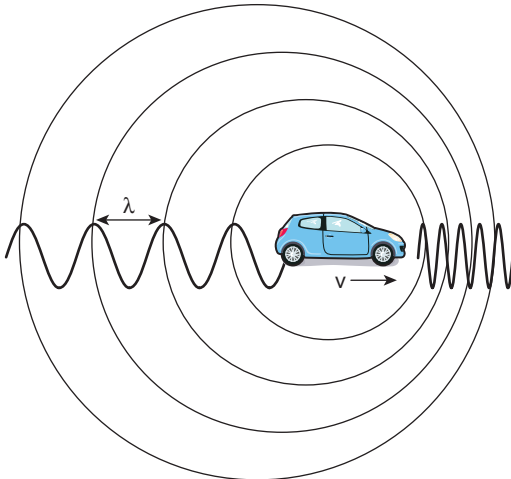


Fig. 2-8. Représentation d'une onde acoustique émise par un corps en déplacement : effet Doppler-Fizeau.

Un courant électrique génère un champ magnétique. Cette propriété est utilisée dans les électroaimants. Un électron est considéré comme un dipôle magnétique, car il représente une charge en mouvement.

Électro-aimant

C'est une bobine ferromagnétique qui, quand elle est parcourue par un courant, produit un champ magnétique. Plus l'intensité du courant parcourant la bobine est élevée, plus le champ magnétique résultant est fort.

Ordres de grandeur

Le champ magnétique terrestre a une intensité de 5×10^{-5} teslas, les machines à destination médicale (IRM) ont classiquement des intensités de l'ordre de 1 à 1,5 T (30 000 fois le champ magnétique terrestre). Les machines à destination de la recherche les plus puissantes ont des champs de l'ordre de 30 T.

Applications dans le domaine de l'imagerie médicale

Imagerie conventionnelle

Également appelée radiologie standard, elle utilise la physique des rayons X. Ce sont les examens d'imagerie médicale les plus utilisés (47 millions d'actes en 2007) [1].

D'un point de vue physique, l'obtention d'une radiographie résulte d'une succession de trois phases que sont :

1. la production de rayons X ;
2. les interactions de ces rayons X avec la matière rencontrée lors de leur propagation ;
3. la réception des rayons X résiduels par un capteur.

Ces trois phases mettent en jeu des interactions physiques (découlant des principes évoqués plus loin) : dans le tube radiogène, puis dans le patient et, pour finir, au capteur.

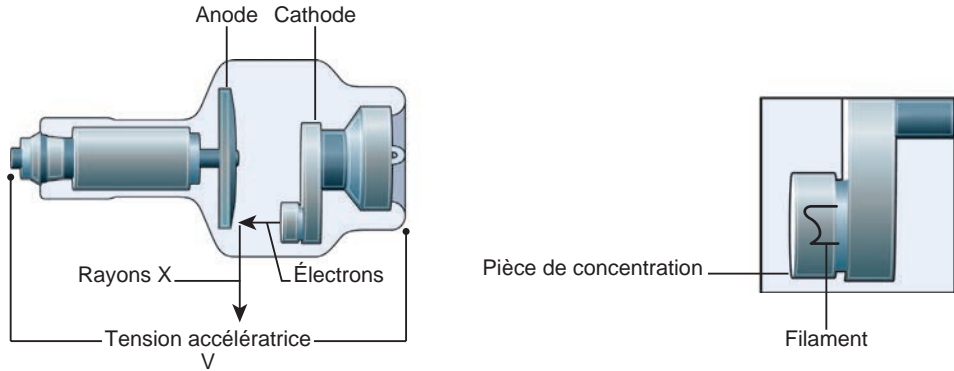


Fig. 2-9. Schématisation d'un tube radiogène.

Production de rayons X par le tube radiogène [2]

Un tube radiogène¹⁹ est une ampoule dans laquelle sont produits des électrons qui sont ensuite transformés en rayons X. Cette ampoule est confinée dans un caisson globalement étanche aux rayons X présentant une fenêtre unique de sortie : le foyer du tube. L'ampoule, comme une ampoule à incandescence classique, présente un filament de tungstène dans un environnement de vide d'air poussé. Ce filament est positionné face à une cible en regard de la fenêtre de sortie. Une différence de potentiel sera créée entre ces deux structures de façon à ce que le filament joue le rôle de cathode, et la cible celui d'anode.

Quand le filament est sous tension, il produit des électrons. Ces derniers vont alors être attirés vers l'anode (la cible).

On peut intervenir sur la quantité d'électrons produits (donc sur la quantité future de rayons X) en faisant varier l'ampérage appliqué au filament. On peut également intervenir sur leur énergie cinétique (ce qui correspond au pouvoir de pénétration des futurs rayons X), en faisant varier la différence de potentiel entre la cathode et l'anode.

Les électrons interagissent avec les atomes de l'anode (en perturbant leur organisation électronique) : d'où résulte la production de rayons X. Cette production est modulable selon les modalités évoquées précédemment d'ampérage et de voltage. Le rendement global de production est

relativement faible. En effet, seulement 1 % de l'énergie fournie est transformée en rayon X, la grande majorité de l'énergie incidente étant dissipée sous forme de chaleur (figure 2.9).

Les rayons X provenant de l'interaction entre électrons et anode sont principalement des rayons dits de freinage, mais peuvent également être des rayons de réorganisation électronique (selon les couches d'énergie). Dans le premier cas, l'énergie cinétique perdue par l'électron incident lors de son passage dans le nuage électronique des atomes de l'anode est convertie en rayons X. Dans le deuxième cas, c'est la réorganisation électronique imposée par l'électron incident qui sera à l'origine du rayon X. Ces deux phénomènes physiques concernés sont appelés émission générale et émission caractéristique.

Émission générale

C'est le mode principal de production de rayons X dans un tube radiogène.

Lorsqu'un électron traverse le nuage électronique d'un atome, il perturbe temporairement l'équilibre du nuage. Il en résulte une perte d'énergie cinétique pour l'électron incident qui est alors ralenti. L'énergie laissée en excès dans le nuage se retrouve convertie en rayonnement X. Le(s) rayon(s) X émis a(ont) une énergie variable en fonction de :

1. l'énergie de l'électron incident (sa vitesse);
2. la force d'attraction du noyau de l'atome considéré (dépendant de son nombre de masse);
3. la distance séparant l'électron de passage et le noyau (qui est aléatoire).

¹⁹ Ou tube de Coolidge.

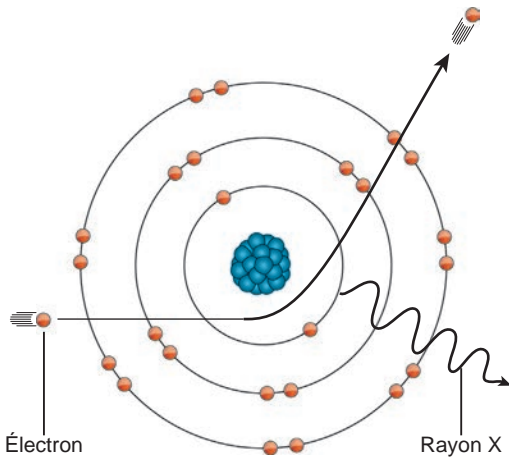


Fig. 2-10. Représentation d'une interaction de freinage et de la production de rayonnement X par émission générale.

Le spectre d'énergie potentielle du(des) rayon(s) X qui en résulte varie de 0 à l'énergie cinétique de l'électron incident. En d'autres termes, l'électron incident peut transformer tout ou partie ou pas du tout de son énergie cinétique en énergie de rayonnement X. Il est cependant plus probable d'obtenir un rayonnement de faible intensité que de forte intensité, la production des rayons X dans un tube radiogène est donc globalement linéaire en fonction de l'énergie des électrons incidents émis (figure 2.10).

Émission caractéristique

L'émission caractéristique est à l'origine de 20 % des rayons X émis par un tube radiogène.

Le phénomène se produit lorsqu'un électron incident de forte énergie interagit avec un électron d'une couche profonde au niveau du nuage électronique et l'éjecte de celui-ci. Il se crée alors un manque à la couche considérée, ce qui oblige l'atome à se réorganiser²⁰. Un électron d'une couche plus périphérique va donc descendre sur la couche lésée, ce qui a pour conséquence de produire de l'énergie sous forme de rayon X. L'énergie du rayon X émis est caractéristique du niveau d'énergie impliqué dans la réorganisation (figure 2.11).

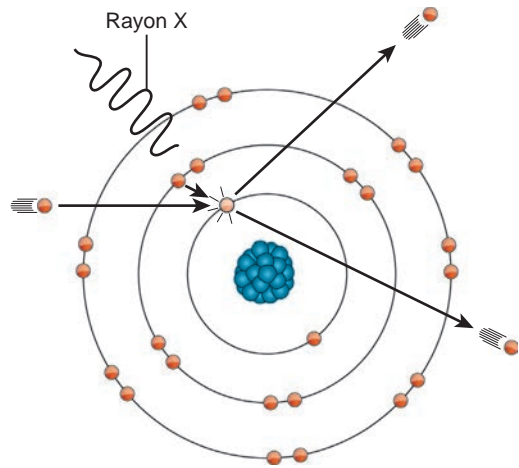


Fig. 2-11. Représentation d'une interaction électron incident/nuage électronique et de la production de rayonnement X par émission caractéristique.

Propagation du rayonnement

Le rayonnement X ainsi produit se propage selon la loi dite de l'inverse carré de la distance. Ce mode de propagation s'applique à toutes les propagations ondulatoires isotropes.

Elle exprime ici la décroissance énergétique du rayonnement en fonction de l'éloignement de sa source du fait de sa « dilution » dans l'espace. On peut schématiser le faisceau de rayons X émis par le tube comme un cône dont le sommet serait le foyer du tube, la forme générale est imposée par la forme de la fenêtre du tube. Si l'on définit la base de ce cône comme étant une surface d'énergie homogène à une distance donnée, alors cette surface n'est pas plane mais est une portion de sphère (figure 2.12).

Selon la loi de l'inverse carré de la distance, l'énergie perçue par un observateur à une distance r de la source est quatre fois plus importante que l'énergie perçue par ce même observateur à une distance de $2r$.

Les implications de cette loi en imagerie médicale concernent la radioprotection et la géométrie de l'image (voir p. 30).

Interaction rayon X-matière

Le rayonnement X, lors de sa propagation, rencontre des atomes avec lesquels il peut interagir et échanger tout ou partie de son énergie. En pra-

²⁰ C'est l'expression de la loi de l'électron de valence.

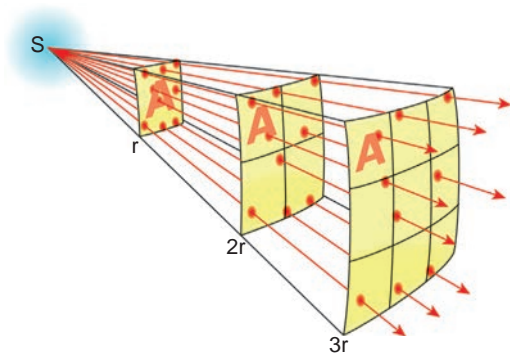


Fig. 2-12. Représentation de la propagation du faisceau de rayons X et de la loi de l'inverse carré de la distance.

tique, dans une salle de radiologie, ces interactions ont principalement lieu au contact du patient et au contact du capteur (il existe également des interactions avec les particules de l'air).

Trois facteurs interviennent sur les probabilités d'interaction du rayonnement avec les atomes de la matière rencontrée : l'énergie du rayonnement incident, la nature de la matière rencontrée et la densité de la matière rencontrée.

Plus le faisceau incident sera énergétique, moins sa probabilité d'interaction avec le nuage électronique d'un atome sera forte.

Plus la matière rencontrée présentera un nombre d'électrons en gravitation important, plus les probabilités d'interaction seront fortes.

Plus la quantité d'atomes rencontrés sera importante (la densité de la matière), plus les probabilités d'interaction seront fortes.

Les phénomènes physiques considérés sont notamment l'effet photoélectrique et l'effet Compton.

Effet photo-électrique

Il se produit quand un rayon X passe à proximité d'un électron d'une couche profonde du nuage électronique. Il en résulte l'expulsion de l'électron considéré (l'énergie du rayon X est transformée en énergie cinétique) et une réorganisation du nuage électronique (la descente d'un électron d'une couche périphérique sur une couche profonde et donc l'émission d'un rayon X caractéristique mais de faible énergie) (figure 2.13).

L'effet photo-électrique est l'effet majoritaire dans la matière organique lorsque les rayons X

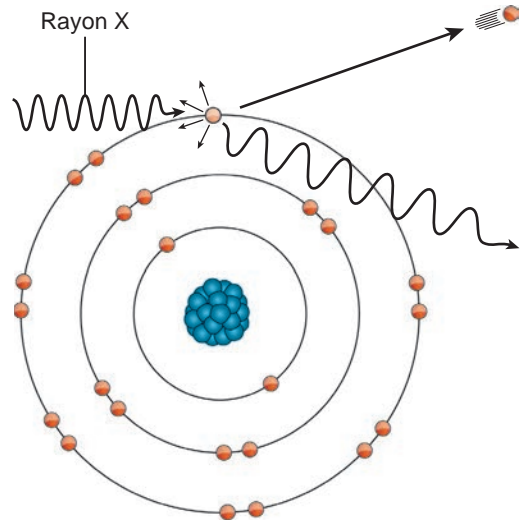


Fig. 2-13. Représentation de l'effet photoélectrique.

incidents sont d'énergie modérée²¹. Il en résulte la formation d'un ion (l'atome qui a perdu un électron) et l'émission d'un photo-électron qui va à son tour interagir avec la matière et potentiellement avoir des effets biologiques.

La probabilité d'interaction selon l'effet photo-électrique est proportionnelle à la densité de matière traversée et au numéro atomique de l'élément rencontré (d'où les protections plombées pour se prémunir d'un rayonnement ionisant).

Effet Compton

Il se produit quand un rayon X de forte énergie passe à proximité d'un électron de la couche périphérique. Il en résulte l'expulsion de l'électron considéré, le rayon X incident ne transmet pas toute son énergie, il poursuit donc son chemin. Le rayon X résultant est moins énergétique et il présente une direction différente, pouvant être à contre-courant (figure 2.14).

L'effet Compton prédomine aux fortes énergies de rayonnement. Il en résulte la formation d'un ion (l'atome qui a perdu un électron), l'émission d'un photo-électron (qui peut avoir des effets biologiques) et un rayonnement X diffusé (pouvant avoir n'importe quelle direction).

²¹ Pour des tensions inférieures à 70 KV, ce qui est le cas de la majorité des radiographies.

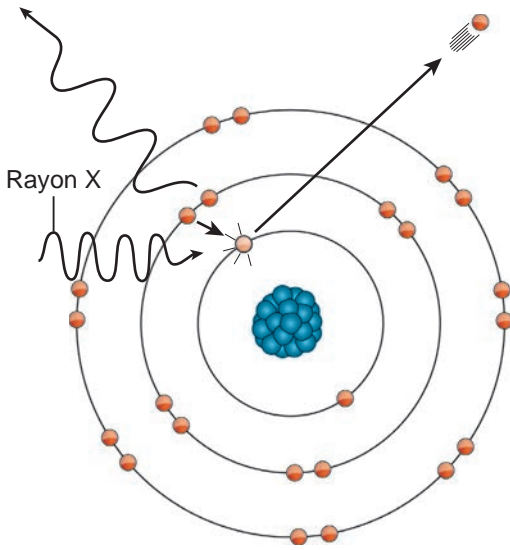


Fig. 2-14. Représentation de l'effet Compton.

La probabilité d'interaction selon l'effet Compton n'est proportionnelle qu'à la densité de matière traversée et pas au numéro atomique de l'élément rencontré.

Le rayonnement diffusé induit par l'effet Compton a des effets négatifs sur la radioprotection (des personnes présentes dans la pièce et n'étant pas dans l'axe du rayonnement primaire) et sur la qualité de l'image (le contraste est altéré par un voile gris diffus).

Récupération du signal

Il existe de nombreuses modalités de récupération du rayonnement X. On distingue les capteurs analogiques des capteurs numériques, les capteurs analogiques pouvant faire l'objet d'une numérisation *a posteriori* du signal emmagasiné²². Le principe est cependant identique, et se base sur l'interaction du rayon transmis²³ avec une surface sensible aux rayons X.

²² Il s'agit par exemple des plaques au phosphore qui reçoivent le rayonnement et qui sont « lues » dans un deuxième temps par un système laser. Nous ne développerons pas le procédé davantage ici.

²³ Les rayons transmis sont les rayons n'ayant pas été arrêtés entre le tube et le capteur.

Nous aborderons ici uniquement, de façon simplifiée, deux des modalités de récupération du signal :

- le film argentique et les écrans renforçateurs qui sont les dispositifs historiques ;
- les capteurs plans qui sont apparus depuis le début des années 2000 et qui tendent à remplacer les films argentiques.

Dispositifs à films argentiques

Le film argentique est une feuille plastique transparente présentant à ses deux faces une émulsion d'argent. Les particules d'argent qui reçoivent le rayonnement X modifient leur structure et se lient au film plastique de façon intime.

Une fois impressionné, le film argentique est développé, il est passé dans des bains de fixateur puis de révélateur (c'est un procédé semblable à celui utilisé pour les pellicules photos argentiques).

À la fin du processus, restent sur le film les particules ayant reçu un rayonnement, elles apparaissent noircies. Les particules n'ayant pas reçu de rayonnement sont éliminées de la surface du film qui devient alors transparent à cet endroit.

L'image obtenue est donc un négatif.

Les cassettes dans lesquelles sont enfermés les films radiographiques sont munies d'écrans renforçateurs. Ce sont deux plaques présentant une surface capable de scintiller quand elles sont exposées à un rayon X. Le film argentique est contenu entre ces deux plaques et est d'autant plus facilement impressionné. Les écrans renforçateurs sont des systèmes permettant de diminuer la dose d'irradiation.

Capteurs plans

Les capteurs plans associent une plaque de cristal scintillateur (capable de transformer un rayon X en photon lumineux) et une plaque de capteurs sensibles au rayonnement émis par le cristal.

Le signal ainsi produit est traité par ordinateur et apparaît directement sur le moniteur de traitement de l'image avant d'être imprimé sur film plastique ou sur papier et/ou stocké sur informatique (support matériel ou immatériel).

Au total

Un rayon X ayant échangé beaucoup d'énergie avec le milieu qu'il a traversé génère peu d'interac-

tions au niveau du capteur. À l'inverse, à énergie de départ égale, un rayon X qui aura perdu peu d'énergie lors de son trajet entre le tube et le capteur y laissera une empreinte plus marquée.

Le signal perçu est proportionnel à l'absorption subie par le rayonnement incident. L'image obtenue peut se comparer à un négatif que l'on étudie conventionnellement tel quel. On distingue quatre densités différentes dans le corps humain : le calcium, la graisse, l'eau et l'air (du plus dense vers le moins dense, du blanc vers le noir).

Conventions de lecture d'une radiographie

Une radiographie s'observe en positionnant l'image de façon à ce que le patient soit représenté face au lecteur, dans la position anatomique de référence. La droite du patient est donc à gauche de l'image. Cette convention n'est cependant pas systématiquement suivie pour la présentation des clichés de mains qui sont fréquemment présentées en « vue dorsale ». Quoiqu'il en soit, la latéralisation du cliché est une obligation médico-légale, ce sont les lettres D et G ou L et R²⁴ qui apparaissent sur l'image.

La terminologie utilisée exprime les variations de densité perçues. Une structure dense arrête davantage de rayons, elle apparaît « blanche » à l'image. On parle également de clartés et d'opacités : une clarté apparaissant « noire », une opacité apparaissant « blanche ».

Tomodensitométrie

Le scanner (figure 2.15) est un examen ionisant. L'appareil présente une table d'examen mobile sur laquelle est allongé le patient et un anneau (contenant un système de tube radiogène et de capteurs) à travers lequel la table d'examen est mobilisée. Il existe 1200 machines en activité en France. Le nombre d'actes a connu une augmentation de 26 % entre 2002 et 2007²⁵.



Fig. 2-15. Salle de scanner.
(Avec l'aimable autorisation de GE Imaging.)

Principes

Le scanner utilise les rayons X, leur production et leurs interactions ont été décrites au chapitre 1 pour l'imagerie conventionnelle. En scanner, comme en radiologie standard, c'est l'atténuation du signal émis qui est à l'origine de l'image obtenue.

À la différence de l'imagerie standard, ici le tube à rayon X est en déplacement à 360° autour du patient. La récupération du rayonnement se fait par des capteurs numériques, l'information étant alors traitée par informatique. L'informatique joue ici un rôle capital, les capteurs (face au tube) perçoivent la quantité de rayonnement résiduelle après la traversée du patient. Ce signal est alors converti en valeur numérique qui reflète l'absorption (donc la densité) du tissu traversé, d'où l'appellation de densitomètre.

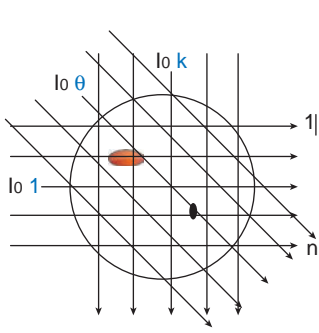
La multiplication des mesures permet, suite à des calculs qui s'apparentent à un système d'équations multiples, une reconstruction matricielle de la coupe étudiée (figure 2.16).

L'image perçue est une « tranche » du patient, d'une épaisseur virtuelle égale à la largeur des capteurs d'où le préfixe « tomo » (relatif à la coupe) que l'on retrouve dans le terme tomodensitométrie ou en anglais *Computed Tomography scanner* (ou CT-scan, *computed* pour « traité par ordinateur »).

Les avancées technologiques et informatiques permettent aujourd'hui de traiter des informations en grand nombre et les acquisitions évoluent du « coupe à coupe » vers les « coupes jointives ». On obtient ainsi des informations sans zones

²⁴ D : droite ; G : gauche ; L : left ; R : right.

²⁵ Données de la CPAM.



1
Mesures
 $I_{1,1}$
 \vdots
 $I_{n,1}$
 $I_{1,\theta}$
 \vdots
 $I_{n,\theta}$
 $I_{1,k}$
 \vdots
 $I_{n,k}$

2
On crée un système d'équations

$$I_{1,1} = I_0 e^{-\sum_{i=1}^p \mu_{i,1} x}$$

$$\vdots$$

$$I_{n,k} = I_0 e^{-\sum_{i=1}^p \mu_{i,n} x}$$

3
On résout ce système algébriquement et on obtient une valeur de μ pour chaque pixel

Fig. 2-16. La mesure scanographique.

aveugles et ce « volume » acquis peut être retranché dans tous les plans de l'espace et donne lieu à des explorations en trois dimensions.

Conventions de lecture d'un scanner

Une coupe axiale de scanner s'analyse toujours vu des pieds, la face du patient vers le haut de l'image (la droite du patient est donc encore à gauche de l'image). Une coupe ne s'analyse jamais seule, mais en série, conventionnellement une série de coupes axiales commence toujours de crânial vers caudal à l'exception du crâne et de la face qui s'analyse de caudal vers crânial. Les séries de coupes frontales sont toujours présentées de ventral vers dorsal. Les séries de coupes sagittales sont généralement présentées de la droite vers la gauche.

La sémantique du scanner est celle de la radiologie conventionnelle et utilise les termes de densité (hyper-, iso-, hypodense) et de clarté/opacité.

Imagerie par résonance magnétique

L'IRM (figure 2.17) est un examen associant un champ magnétique et les ondes radio. L'appareil présente une table d'examen mobile sur laquelle est allongé le patient et un tube (généralement de 2 m de long) à travers lequel la table d'examen est mobilisée. Il existe plus de 600 machines en activité en France, ce nombre est en forte croissance (il y en avait 230 en 2003).



Fig. 2-17. Salle d'IRM. (Avec l'aimable autorisation de GE Imaging.)

Principes

La technologie utilisée ici ne met pas en jeu de rayonnement ionisant. L'image résulte de l'interprétation informatique (après calculs complexes de localisation spatiale du signal) de variations d'ondes radiofréquences (RF).

Le champ magnétique agit sur les atomes d'hydrogène en les orientant selon le sens du champ, ce qui leur confère un état d'équilibre « imposé ». Cet état est alors rendu instable par l'émission d'une onde radiofréquence qui fait pivoter l'axe de rotation des atomes, leur conférant une certaine énergie.

Le signal à la base de la formation de l'image résulte de la restitution de l'onde radiofréquence une fois que celle-ci n'est plus émise et que l'atome cherche à revenir sur son état d'équilibre.

L'utilisation des ondes radio dans la salle d'IRM oblige au confinement de l'appareil selon le prin-

cipe de la cage de Faraday, prévention indispensable contre les perturbations des ondes radiofréquences courantes. Un examen IRM contient généralement plusieurs séquences, les séquences se différencient les unes des autres par des variations de caractéristiques à l'excitation ou à la réception (on émet l'onde RF plus ou moins longtemps et on récupère le signal après un temps de relaxation plus ou moins long). Ces différences de modalités d'acquisition sont à l'origine de variations de l'expression du signal perçu pour un même tissu.

C'est ainsi, par exemple, qu'au temps dit « T1 », les liquides n'ont pas commencé à rendre le signal, et qu'au temps « T2 », ils le restituent (figure 2.18).

Conventions de lecture d'une IRM

L'acquisition native peut se faire ici, initialement, dans le plan de l'espace désiré, sans avoir pour cela (comme au scanner) à passer par une coupe native obligatoirement axiale. Le sens de lecture des « planches d'images » est le même que pour le

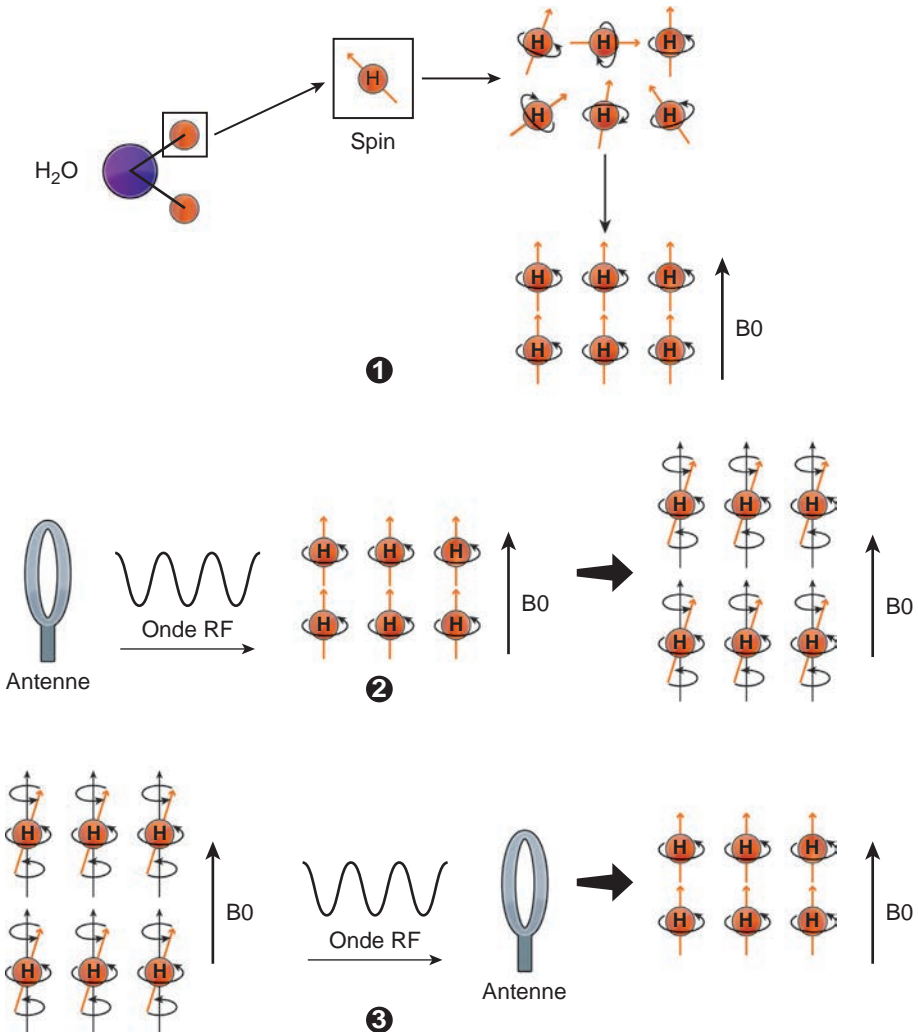


Fig. 2-18. Principe de fonctionnement de l'IRM.

1. Organisation spatiale des électrons en dehors puis dans un champ magnétique B₀. 2. Lorsque les électrons sont soumis à une onde RF (émise par l'antenne), leurs spins basculent de façon homogène. 3. Lorsque l'émission de l'onde RF est stoppée, les électrons reprennent leur équilibre selon l'axe B₀ en émettant une onde RF reçue par l'antenne.

scanner. Les conventions de lecture sont également les mêmes (patient en position anatomique de référence observé de face pour les coupes frontales et vu des pieds pour les coupes axiales).

La terminologie utilisée est très différente ici, on parle en termes de variation de signal (hyper, hypo, iso) que l'on compare fréquemment d'une séquence à une autre.

Échographie

L'échographie (figure 2.19) est un examen à base d'ondes ultrasonores. L'appareil présente un moniteur auquel sont reliées des sondes de forme et de fréquences différentes.

Principes

L'onde ultrasonore étudiée est émise par une sonde constituée de cristaux piézo-électriques. Les cristaux piézo-électriques ont la particularité, lorsqu'ils sont soumis à une différence de potentiel, de se dilater ou de se rétracter en fonction de la polarité de la charge ; et inversement, lorsqu'ils sont soumis à une contrainte physique, d'émettre à leur surface une différence de potentiel.



Fig. 2-19. Échographe.
(Avec l'aimable autorisation de GE Imaging.)

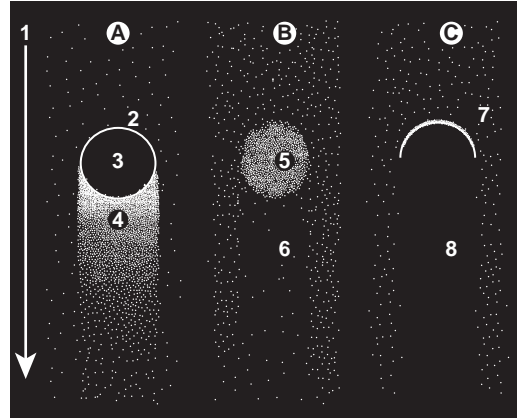


Fig. 2-20. Principe de fonctionnement de l'échographie. L'onde se propage selon la flèche (1) dans trois milieux différents (A, B et C) : A. structure à contenu liquidien présentant sa paroi antérieure (2), une zone anéchogène, liquidienne (3) et un renforcement postérieur des échos (4); B. structure dense présentant un renforcement des échos au sein de la masse (5) et une discrète atténuation des échos en aval (6); C. structure calcique arrêtant les échos et présentant une réflexion totale à sa face antérieure (7) et un cône d'ombre dû à l'interruption des échos en aval (8).

La sonde posée sur le patient produit donc une vibration²⁶ et l'onde se propage en profondeur dans les tissus. L'onde se propage de façon différente en fonction de l'échogénicité de la matière traversée (très bien dans un milieu hydrique – vessie, kyste –, pas du tout dans l'air ou l'os). Dès que l'onde rencontre un obstacle ou un changement d'impédance, tout ou partie de cette onde va rebondir (faire écho) sur la surface et se diriger vers la sonde (qui est également réceptrice). L'image formée sur le moniteur est le reflet des variations d'échogénicité du milieu (figure 2.20).

Conventions de lecture d'une échographie

L'image se présente conventionnellement de sorte que le haut de l'image corresponde à la superficie et le bas aux tissus plus profonds. On parle de l'image en termes d'échogénicité, on différencie

²⁶ Les ultrasons utilisés pour le diagnostic médical ont des fréquences comprises entre 1 et 15 MHz.

les tissus hyperéchogènes des tissus hypo-, iso- ou encore anéchogènes (ne renvoyant aucun écho).

L'échographie est un examen dont l'analyse se fait simultanément à la réalisation. Les images fournies avec le compte rendu ne permettent pas, à elles seules, l'analyse globale d'une situation (localisation, orientation, mensurations).

Références

- [1] Etard C, et al. Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2007. In : Santé environnement–Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire–Institut de veille sanitaire; juin 2010. p. 19.
- [2] Giron J, Joffre F. Bases physiques et évolution de l'imagerie radiologique. Paris : Masson; 1993. p. 61–8.

Chapitre 3

L'imagerie radiologique en pratique

Les données légales

L'implantation d'un service d'imagerie est conditionnée, notamment, à l'autorisation de la direction régionale des affaires sanitaires et sociales (DRASS) : fonction, en partie, de la carte sanitaire. L'autorisation d'exercice est subordonnée à la validation par l'Autorité de sûreté nucléaire, de la conformité des installations en matière de radioprotection [1, 2].

L'utilisation de rayonnements ionisants impose le respect du confinement maximal de la source par des murs plombés et par la restriction d'accès de la zone, au personnel autorisé et au patient recevant l'examen (sous réserve que celui-ci soit justifié par une prescription médicale) [3].

La prescription d'un examen radiologique, en France, est du domaine de compétence des professions médicales : médecin, dentiste, sage-femme ; ces deux derniers n'ont que des autorisations restreintes de prescription. En dehors de cette voie de prescription (le « parcours de soins coordonnés »), le remboursement par la Caisse primaire d'assurance maladie (CPAM) est minoré.

Le taux de remboursement d'un examen radiologique par la CPAM est de 70 % quand le patient vient avec une prescription *ad hoc*. Il est de 30 % dans les cas inverses²⁷. Les mutuelles complémentaires peuvent combler tout ou partie du reste à payer.

Le coût des examens radiologiques courant varie de 20 €, pour une radiographie de membre selon deux incidences, à 160 € pour une exploration du squelette complet (N.B. : 52 € pour une radiographie d'un segment du rachis selon une à trois incidences). Au prix de l'examen s'ajoute, depuis le 1^{er} janvier 2005, une participation forfaitaire non remboursée de 1 € par acte²⁸.

Parcours dans le cabinet (ou service) de radiologie

Le patient, après avoir rempli les modalités administratives auprès des secrétaires (vérification de l'ordonnance, enregistrement de la carte Vitale, etc.) est pris en charge par le manipulateur en radiographie. Il est alors éventuellement préparé, puis positionné sur l'appareil considéré. Le manipulateur, après avoir paramétré la machine, effectue les images. Le radiologue voit le patient et les images afin de produire le diagnostic. Généralement, le patient repart donc avec les clichés et le compte rendu, dont un double est adressé au médecin prescripteur dans le but de poursuivre la prise en charge.

²⁷ Le remboursement est de 100 % pour les enfants de moins de 16 ans, et certains assurés (affection longue durée, etc.).

²⁸ Données de la Classification commune des actes médicaux (CCAM) élaborées par l'Union nationale des caisses d'assurance maladie, mises à jour le 09/01/2012.

Dans la salle d'examen

Une salle d'examen est classiquement dotée de deux dispositifs de réalisation des clichés :

- un tube radiogène à suspension plafonnrière permettant la réalisation de clichés, soit au récepteur mural, soit au brancard du patient ou encore à la table (figure 3.1) ;
- un deuxième tube, solidaire d'une table télécommandée, permet la réalisation de clichés patient en décubitus sur la table ou debout lorsque celle-ci est redressée verticalement.

Ces deux dispositifs sont pilotés par une console se trouvant derrière un paravent de verre plombé et permettent à l'opérateur (radiologue ou manipulateur en électroradiologie), une fois le patient installé, de lancer la production de rayons X et ainsi la réalisation de l'examen.

La production de rayons X est modulée par l'opérateur en fonction de la zone étudiée, du patient radiographié et du tissu analysé. En effet, si l'on cherche à analyser une zone étendue ou, à l'inverse, une zone restreinte (et ce, d'autant plus que la structure étudiée est dense), on aura besoin de beaucoup de rayonnement. De même, si le patient est volumineux, il nécessitera davantage de rayons qu'un patient grêle pour obtenir un résultat identique. Et pour finir, sur une même zone chez un même patient, on peut, en modulant les caractéristiques du rayonnement incident, mettre

davantage en évidence les structures denses ou les structures molles.

Dans une certaine mesure, si le mode de réception du signal est numérique (ce qui est le cas pour la grande majorité aujourd'hui), l'on dispose d'une légère capacité à modifier informatiquement l'image et de moduler le contraste ou le noircissement de l'image en « post-production ».

Technique de réalisation

Contraste et noircissement

Le contraste et le noircissement, en radiologie standard, sont principalement le résultat de la modulation d'ampérage et du voltage appliquée au tube radiogène, ainsi que du temps d'exposition de la façon suivante :

- par l'augmentation de l'ampérage, on augmente la quantité d'électrons « arrachés » à la cathode du tube, donc la quantité de rayons X sortant du tube, ce qui contribue au noircissement de l'image finale ;
- par l'augmentation de la différence de potentiel appliquée entre la cathode et l'anode. On augmente ainsi l'accélération des électrons, donc l'énergie du rayon X sortant du tube, ce qui contribue au contraste sur l'image finale (par le jeu des interactions) ;

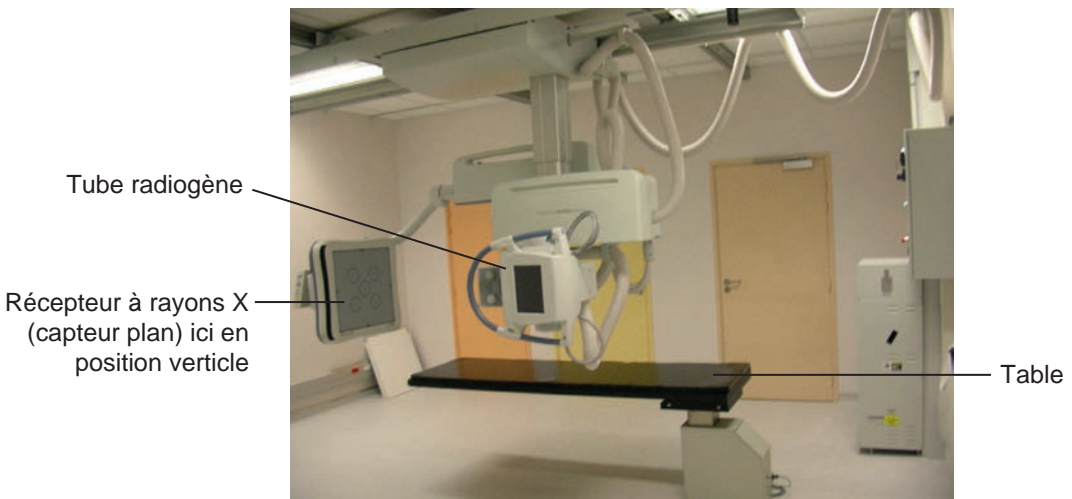


Fig. 3-1. Photographie d'une salle de radiologie.

- le temps de pose est le temps durant lequel sont émis les rayons. Il s'exprime en millisecondes (ms). Son augmentation a une répercussion directe sur l'exposition globale du cliché.

La réalisation d'un cliché, avec les constantes adaptées à l'incidence radiologique considérée et elle-même adaptée à la morphologie du patient, conditionne la bonne analyse de la structure étudiée. Il s'agit du tout premier critère de qualité d'une image radiologique.

Positionnement du patient

Lors de la réalisation d'un cliché, le positionnement du patient est un critère capital pour l'obtention de l'information recherchée.

L'image obtenue étant une projection d'un volume, quelques degrés de rotation du patient suffisent à faire disparaître des données importantes pour l'interprétation du cliché. Il en est de même pour les autres paramètres de positionnement dans l'espace.

Les « critères de qualité » ont notamment pour but de valider ce paramètre.

Interprétation des radiographies

L'interprétation de l'(des) image(s) réalisée(s) est faite par le radiologue, de façon concomitante à l'auscultation du patient.

La lecture des images obtenues suit un protocole strict :

- vérification de la présence des données médico-légales sur le cliché (nom, prénom, date de naissance, date du jour et, éventuellement, annotation de latéralisation) ;
- vérification de l'indication à la réalisation, confrontation à l'examen clinique ;
- validation de l'incidence (modalité de réalisation, critères de bonne réalisation) ;
- lecture proprement dite de l'image (analyse des structures osseuses, des tissus mous, des configurations, etc.).

Le compte rendu réalisé suit cet algorithme. C'est également, dans l'esprit, celui que nous suivrons dans cet ouvrage.

Diagnostic radiologique

Le diagnostic radiologique n'est pas « LE » diagnostic. Le diagnostic intègre le diagnostic radiologique (qui est de la responsabilité du médecin radiologue), mais l'un ne se substitue pas à l'autre. Le diagnostic se pose sur une convergence de faisceaux de preuves dont peut faire partie l'imagerie, mais une image seule ne fait pas un diagnostic. Il est capital de rappeler la nature **complémentaire** des examens d'imagerie, ceux-ci apparaissant toujours, au minimum, après un examen clinique bien mené, la prescription posant clairement la question à laquelle doit répondre l'examen.

L'analyse d'une radiographie s'effectue par paliers. Ce sont autant d'étapes à franchir pour en donner une interprétation correcte. Ceux-ci sont immuables.

Dans un premier temps, il faut rapprocher le patient de sa prescription et du contexte clinique.

On se saisit dans un deuxième temps du cliché, lequel doit répondre aux critères de bonne réalisation technique. On étudie alors les éléments contenus dans l'image.

Critères de qualité en radiologie

On entend par critères de qualité les éléments que l'on doit retrouver sur un cliché et qui attestent de sa bonne réalisation technique. Ils sont importants à comprendre pour évaluer l'image considérée en termes de lisibilité et ainsi appréhender les limites de l'analyse que l'on va émettre.

Les critères de qualité sont de trois ordres : liés à la réalisation technique proprement dite, liés à l'annotation puis liés au cliché lui-même (variable selon l'incidence).

La bonne réalisation technique sous-entend en premier lieu une adaptation de la distance focale, du positionnement du patient, puis un fenêtrage du cliché adapté à la situation. Il faut pour cela tenir compte de la prescription, du contexte clinique et des capacités du patient. Cela sous-entend également une bonne exposition du cliché (en termes de noircissement, puis en termes de contraste) de façon à ne pas sur- ou sous-exposer le cliché, ce qui pourrait en empêcher une lecture pertinente.

L'annotation est une donnée médico-légale sensible du cliché. Outre la latéralisation comme nous l'avons vu précédemment, ce dernier doit présenter, au minimum, le nom, le prénom et la date de naissance du patient, ainsi que la date de la réalisation du cliché et, éventuellement, des indications sur la position de réalisation du cliché (debout, couché, etc.).

Les critères de bonne réalisation liés à l'incidence radiologique étudiée sont développés dans les parties 2, 3 et 4, leur connaissance et leur compréhension permettant une meilleure interprétation de l'image obtenue.

Géométrie de l'image

Lignes radiologiques

Nous venons d'évoquer la façon de contraster une image, c'est-à-dire la façon d'accentuer la perception de la différence de densité entre deux structures voisines. Ceci dit, deux structures voisines, de densité identique, peuvent tout de même être distinguées l'une de l'autre : soit à condition qu'une interface de densité fortement différente les sépare, soit à condition de ne pas se trouver dans un même plan. C'est le cas des scissures pulmonaires visibles sur une radiographie pulmonaire (donnant l'image d'une ligne radio-claire séparant deux lobes pulmonaires de densité égale). Ce sera également le cas de deux structures de densité identique situées dans des plans différents du thorax. À l'inverse, deux structures thoraciques de densité identique, situées dans un même plan et partageant leurs bords, se silhouettent (effacent leurs bords), c'est le signe de la silhouette de Felson.

Construction géométrique de l'image

L'image obtenue répond à un certain nombre de règles de construction importantes à comprendre pour en faire l'analyse. Celles-ci relèvent pour partie de la nature même du rayonnement, et pour partie du jeu des projections radiologiques.

Propagation de l'onde

Comme nous l'avons évoqué en parlant de la règle de l'atténuation du rayonnement par la loi de l'inverse carré de la distance, le rayonnement incident est divergent. Cette divergence produit un agrandissement inévitable de la projection du sujet étudié par rapport à la taille réelle du sujet. Cet agrandissement est fonction du rapport des distances source/patient par rapport à la distance source/film (selon le principe du théorème de Thalès).

En pratique, cette notion est utilisée quand on veut obtenir l'agrandissement d'une zone anatomique ou, à l'inverse, limiter celui-ci pour avoir une image à l'échelle 1. Le corollaire de ce phénomène est également que pour la radiographie d'un sujet donné, les structures les plus en avant par rapport au capteur radiologique seront forcément davantage agrandies que celles les plus proches. Il en résulte donc un changement des rapports de taille des structures, dans un plan antéropostérieur comme figuré dans la [figure 3.2](#).

La divergence du faisceau induit également un phénomène de déformation de la projection radiologique. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la source est proche de l'objet radiographié. En pratique, le phénomène est rarement

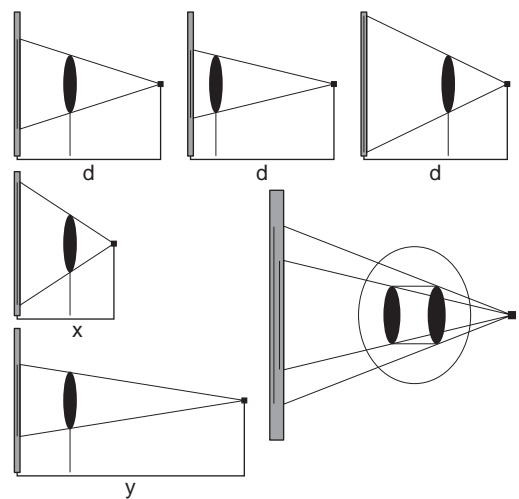


Fig. 3-2. Application des lois de projections à l'image radiographique.

piégeant, mais l'on s'en sert par exemple pour faciliter l'enfilement des espaces intervertébraux sur une incidence de rachis thoracique de face, en faisant pénétrer le rayonnement par la concavité de la colonne (de façon à ce que les plateaux intervertébraux soient globalement tangents aux rayons émis). La projection du rachis apparaît donc « déroulée », alors qu'avec des rayons strictement parallèles, ceci n'aurait pas été le cas.

Projection planeaire

L'image obtenue est une projection sur un plan d'un volume. Outre les modifications de géométrie évoquées ci-dessus, il en résulte un changement de forme (à la manière d'une ombre chinoise projetée sur un écran blanc). Cette projection aplatit les reliefs et additionne les superpositions osseuses. En pratique, ceci conduit obligatoirement à la réalisation de deux incidences orthogonales pour rendre compte des rapports spatiaux et des reliefs des structures étudiées (figure 3.3).

Sur un cliché radiologique réalisé en antéropostérieur ou en postéro-antérieur (patient en dos plaque ou en ventre plaque) ou encore sur un cliché de profil (qu'il s'agisse d'un profil droit ou d'un profil gauche), les projections seront les mêmes. Il est donc impossible de latéraliser un cliché brut. D'où la convention de présentation, et d'où le fait que les annotations d'orientations spatiales soient des données médico-légales.

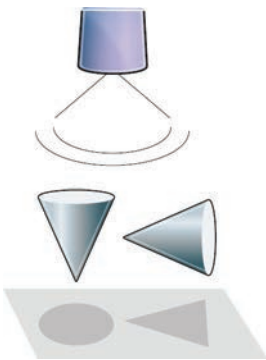


Fig. 3-3. Représentation de différentes projections d'un même objet.

Produits de contraste en radiologie

Certains examens radiologiques nécessitent l'utilisation de produits de contraste. Le produit de contraste est une solution à base d'iode (dont le numéro atomique est élevé -53-) qui possède des propriétés d'absorption des rayons X plus grande que la majorité des tissus humains (rappelons que le numéro atomique du calcium est 20).

Le produit de contraste peut être injecté (le plus souvent par voie veineuse ou dans une cavité articulaire) ou introduit dans une cavité ou un tractus.

Citons les arthrographies, les hystérogaphies, les lymphographies, les discographies, les saccoradiculographes, les transits oeso-gastro-duodénaux (TOGD), les lavements barytés, etc.

Ces produits peuvent être allergisants et dans de rares cas mener à des réactions anaphylactiques, d'où la nécessité de prémédication quand un risque est connu.

Effets du rayonnement sur les tissus biologiques

Les rayons X sont ionisants, c'est-à-dire qu'ils ont le pouvoir d'arracher à un atome un électron de sa périphérie. Ceci peut avoir des conséquences en termes d'équilibre moléculaire et forcer les atomes d'une molécule à se réorganiser, voire à se séparer pour retrouver la stabilité perdue.

Une molécule d'eau (H_2O) ionisée aura alors tendance à donner des molécules HO ou encore O_2 qui sont des radicaux libres.

Ces radicaux libres sont agressifs envers les molécules d'ADN et peuvent la perturber au point d'en modifier le code génétique. C'est l'origine des dégénération cellulaires induites par les rayons X.

En pratique, plus une cellule est active génétiquement (d'un point de vue mitotique ou méiosique), plus elle sera sensible aux rayonnements ionisants. C'est le cas des cellules gonadiques et des cellules en croissance par exemple, d'où la limitation maximale d'exposition chez les enfants, chez les femmes enceintes ou sur les gonades.

Recommandations sanitaires en termes de radioprotection

Les recommandations en termes de radioprotection vont dans le sens de la réduction maximale de la dose de rayonnement utilisée. Ceci se traduit par des recommandations des collèges d'experts [4-6]. En France, la législation en la matière est dictée par le Code de la santé [7] et le Code du travail [8].

Références

- [1] Code de la santé publique. Articles L. 6122-1 à L. 6122-21 relatifs aux conditions d'implantations des activités de soins et des équipements matériels lourds.
- [2] Journal officiel n° 136 du 14 juin 2006, page 8946, texte n° 2 et loi n° 2006-686 articles 4 à 17 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.
- [3] Journal officiel n° 182 du 25 juillet 1984 et décret n° 84-710 du 17 juillet 1984 fixant les catégories de personnes habilitées à effectuer certains actes d'électroradiologie médicale, articles 1 à 5.
- [4] Société française de radiologie. Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale. Paris : SFR; 2005.
- [5] Royal College of radiologists. Making the best use of a department of clinical radiology. Londres : RCR; 2003.
- [6] Association canadienne des radiologistes. Lignes directrices pour les examens d'imagerie diagnostique. Québec : CAR; 2005.
- [7] Code de la santé publique. Articles L. 1333-1 à 20 relatifs à la prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail.
- [8] Décret n° 2007-1570 du 5 novembre 2007 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants et modifiant le Code du travail (dispositions réglementaires).

Chapitre 4

Imagerie de l'épaule et du bras

Nous évoquons dans ce chapitre la partie proximale du membre supérieur :

- la ceinture scapulaire qui met en relation le membre et le tronc. Elle est constituée de la scapula et de la clavicule ;
- l'humérus, unique os du bras. Il entre dans la constitution osseuse de l'épaule et du coude (dont nous parlerons au chapitre suivant).

L'étude de cette zone en radiologie conventionnelle s'intéresse à l'intégrité des structures osseuses et à leurs rapports, et dans certains cas, souvent de façon indirecte, aux tendons, ligaments et à la capsule articulaire.

Les rappels anatomiques ayant un intérêt radiologique à ce niveau sont :

- pour la clavicule :
 - sa forme en « S » aplatie et étirée transversalement de telle façon que sa moitié latérale soit convexe vers l'arrière et sa moitié médiale, convexe vers l'avant. Sur les incidences radiologiques de face, cette forme sera moins marquée si le rayon directeur est tangent au plan de l'os (quasiment horizontal quand le patient est en position neutre),
 - l'articulation sterno-costo-claviculaire (articulation en selle, présentant deux cavités synoviales délimitées par un disque articulaire). Elle est difficile à explorer en radiologie standard, et on lui préfère généralement le scanner [1],
 - l'articulation acromio-claviculaire (articulation synoviale plane présentant un ménisque qui disparaît avec l'âge²⁹). Son orientation est très variable d'un individu à l'autre³⁰. L'interligne a une dimension de 3 à 5 mm,

- l'ossification de la clavicule : elle se fait par deux points d'ossification primaire au centre de l'os (entre la 5^e et la 6^e semaine de vie intra-utérine. C'est le premier noyau d'ossification à apparaître). Un noyau d'ossification secondaire constituant l'épiphyse médiale apparaît entre 18 et 25 ans. Il fusionne au reste de l'os entre 25 et 31 ans (c'est la dernière épiphyse du squelette à fusionner). Rarement, un noyau d'ossification secondaire peut être présent au bord latéral de l'os [2].

Remarque : il a été décrit, de façon relativement rare, à l'âge adulte, une zone cartilagineuse (radio-claire) à la jonction entre le tiers latéral et les deux tiers médiaux de l'os. Ceci est dû à un défaut d'ossification des deux centres d'ossification primaires [3];

- pour la scapula :
 - sa forme triangulaire et aplatie est contenue dans un plan oblique médio-ventralement selon un angle de 70° avec le plan sagittal médian,
 - l'apophyse coracoïde, présentant une base (insérée à la face supérieure du col de la scapula) et un corps. Tous deux décrivent un angle, orientant globalement l'apophyse latéro-ventralement. Sur les incidences d'épaules de face, les deux parties de l'apophyse sont partiellement superposées. Sur l'incidence de profil, elles se distinguent clairement,
 - l'épine de la scapula, insérée orthogonalement à la face dorsale de l'écaille et se terminant par l'acromion. L'acromion porte la surface articulaire avec la clavicule,
 - la cavité glénoïde et son col. Celle-ci est contenue dans un plan perpendiculaire à celui de l'écaille. Elle sera vue de face sur les incidences d'épaules de profil,

²⁹ N'existe plus après 40 ans.

³⁰ Dans 50 % des cas, orientée vers le bas et le dedans, dans 20 % orientée verticalement.

- à la naissance, l'écaille et l'épine de la scapula sont ossifiées. Le bord médial et l'angle inférieur fusionnent à l'os vers l'âge de 22 ans à partir de noyaux d'ossification uniques qui apparaissent pendant la puberté. Le processus coracoïde s'ossifie avec deux, parfois trois centres d'ossification secondaires. Le premier en son centre dans la première année, le deuxième à sa base vers 10 ans. Quand il existe un troisième centre d'ossification, celui-ci se trouve à la pointe de la coracoïde. Il apparaît à la puberté. Il ne fusionne alors généralement pas complètement au processus coracoïde et peut mimer une fracture à ce niveau. L'acromion s'ossifie également avec deux, voire trois centres d'ossification secondaires. Ceux-ci apparaissent pendant la puberté et fusionnent complètement vers l'âge de 22 ans. Les défauts de fusion ne sont pas rares à ce niveau. La cavité glénoïde s'ossifie à partir de deux noyaux. L'un supérieur entrant dans la constitution de son quart supérieur (c'est le noyau de la base du processus coracoïde). L'autre, inférieur, apparaissant pendant la puberté [4];
- pour l'humérus :
 - l'épiphyse proximale, on lui distingue :
 - la tête; elle représente un tiers de sphère, elle est articulaire avec la cavité glénoïde,
 - le col anatomique qui joint la tête humérale et le massif des tubercules,
 - le col chirurgical, à la jonction de l'épiphyse proximale et de la diaphyse, sous les tubercules;
 - le tubercule majeur (trochiter) et le tubercule mineur (trochin) situé plus ventralement et médialement. Les deux délimitent les bords de la gouttière bicipitale. Les tubercules sont des zones d'insertions tendineuses. En rotation neutre du bras, la radiographie d'épaule en vue de face montre le relief latéral du tubercule majeur au bord latéral de l'épiphyse. Le tubercule mineur apparaît en rotation médiale au bord médial de l'humérus et tend à se latéraliser en rotation latérale,
 - l'ossification de la zone se fait par trois centres d'ossification. Le premier qui apparaît est le noyau de la tête. Il est présent chez 20 % des nouveau-nés mais apparaît généralement entre le 5^e et le 6^e mois de vie. Il fusionne à la diaphyse vers 19 ans. Les tubercules ont chacun un centre d'ossification. Le centre d'ossification du tubercule majeur apparaît durant la 3^e année, le centre d'ossification du tubercule mineur apparaît durant la 5^e année. Ces deux noyaux fusionnent ensemble dans la 5^e année et fusionnent au noyau de la tête dans la 7^e année [4],
 - la diaphyse, longue et non parfaitement rectiligne, présentant fréquemment un renflement à la zone d'insertion du deltoïde,
 - la palette humérale (voir chapitre 5);
- pour les cavités synoviales de l'épaule :
 - les cavités de l'articulation acromioclaviculaire et la cavité de l'articulation sterno-costoclaviculaire,
 - la cavité de l'articulation gléno-humérale. La membrane synoviale s'insère aux pourtours du bourrelet glénoïdien et du col de la scapula médialement, et aux pourtours du col anatomique de l'humérus latéralement. Elle forme une gaine autour du tendon de la longue portion du biceps qu'elle suit jusqu'à la gouttière bicipitale,
 - il existe un certain nombre de bourses séreuses supplémentaires. À l'état normal, elles ne communiquent pas entre elles. Les plus importantes sont : la bourse sous-delhoïdienne; la bourse séreuse bicipitale; la bourse séreuse sous-coracoïdienne; la bourse séreuse de l'infra-épineux [5];
- pour les tendons de la coiffe des rotateurs : leurs insertions terminales peuvent être le siège de calcifications, notamment le muscle sous-scapulaire (s'insérant à la partie crâniale du tubercule mineur); le muscle supra-épineux (s'insérant à la partie crâniale du tubercule majeur); le muscle infra-épineux, s'insérant à la partie postérieure du tubercule majeur (sous le muscle supra-épineux et au-dessus du muscle petit rond). L'exploration ostéo-articulaire de cette zone fait une large place à l'imagerie conventionnelle.

Notons que l'exploration de l'articulation sternocosto-claviculaire est de sensibilité nettement meilleure en scanner. À l'exception de cette localisation, l'imagerie conventionnelle sera quasiment toujours le premier examen réalisé dans l'étude de l'épaule, qu'elle soit traumatique ou non.

Dans l'étude des tissus musculo-ligamentaires, l'échographie est le deuxième examen d'imagerie le plus employé après la radiographie simple. La prescription d'une échographie suit classiquement la radiographie si le diagnostic n'a pas pu être posé dans un premier temps. Cette exploration sera suivie d'une IRM voire d'un arthroscanner si un doute diagnostique subsiste.

L'IRM est particulièrement indiquée avant la chirurgie de la coiffe et dans l'étude des chondropathies infraradiologiques.

L'arthrographie permet de mettre en évidence des lésions invisibles en radiographie conventionnelle non injectée (lésions capsulaires, cartilagineuses et certaines ruptures de coiffe).

La scintigraphie prend sa place dans l'étude des processus ostéoblastiques mais sans grande spécificité. Elle sera employée dans les cas d'algodystrophie, de recherche métastatique (scintigraphie osseuse corps entier) [6].

Indications générales

Dans le cas d'une épaule douloureuse sans enraidissement, non instable et en dehors d'un contexte traumatique, la radiographie simple est indiquée après 4 semaines de traitement symptomatique bien suivi.

La radiographie simple de face et de profil est la première étape dans l'étude de l'épaule en imagerie dans la plupart des situations (traumatiques ou autres).

Les radiographies simples peuvent suffire dans le diagnostic de fracture, de rupture de la coiffe ou de tendinite calcifiante par exemple.

L'épaule en incidence de face

Indications spécifiques

Cette incidence fait partie (avec le profil) du bilan de base dans l'exploration radiologique de la

zone. Elle permet, notamment, une bonne étude de l'interligne articulaire gléno-huméral et de l'espace sous-acromial. Elle montre la cavité glénoïde de profil et la tête humérale de face (selon la rotation du bras).

En traumatologie

L'incidence de face peut mettre en évidence une fracture de la partie proximale de l'humérus, de la cavité glénoïde à son pôle crânial ou caudal, ou à son col, de la partie latérale de la scapula et plus difficilement de la zone acromio-claviculaire.

L'incidence de face est également contributive dans les recherches de luxations, mais est moins sensible que le profil, qui de plus, apportera la notion de déplacement antéropostérieur.

En rhumatologie

Cette incidence permet de : visualiser l'interligne gléno-huméral et d'apprécier sa trophicité ; visualiser d'éventuels conflits sous-acromiaux et le retentissement d'une rupture d'un ou de plusieurs tendons de la coiffe des rotateurs.

Cette incidence présente un intérêt particulier dans l'étude des tendons de la tête humérale, quand elle est réalisée en trois temps, avec trois rotations différentes de bras (épaule en position fixe, bras en rotation médiale, neutre et latérale). On peut effectivement de cette façon analyser la totalité des insertions tendineuses du pourtour de la tête humérale.

Réalisation

Cette incidence est généralement réalisée en position debout ou assise.

Le patient est face au tube, l'épaule examinée contre la plaque radiographique. Le plan des épaules est tourné de 30 à 40° vers le côté examiné (pour permettre le dégagement de l'interligne gléno-huméral) et le tube radiogène est incliné de 20 à 30° caudalement (pour permettre le dégagement de l'espace sous-acromial).

Le bras du côté examiné est en rotation neutre pour l'incidence de base, et en rotation médiale ou latérale maximale pour les incidences complémentaires en rotation (figure 4.1).

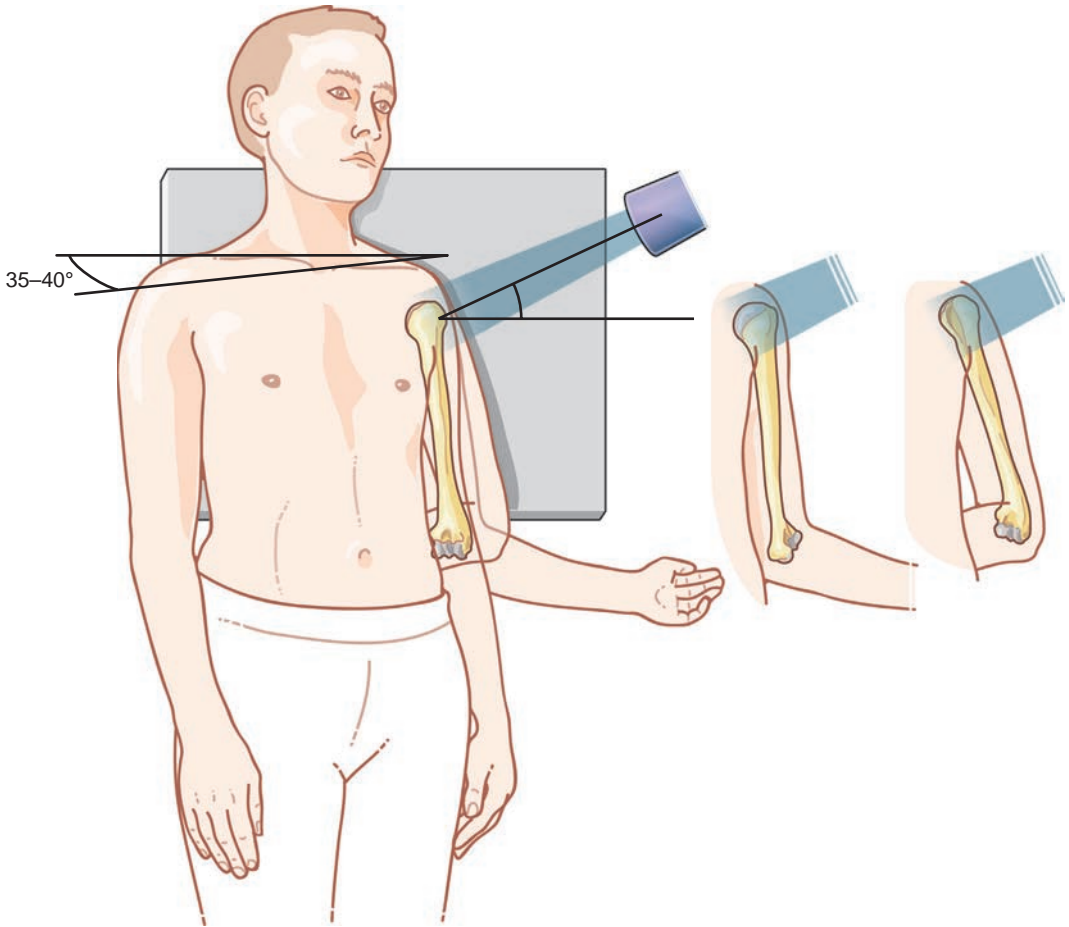


Fig. 4-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence d'épaule de face.

Radio-anatomie (figure 4.2)

Critères de qualité

L'interligne gléno-huméral doit apparaître parfaitement dégagé. Cela impose notamment la superposition des rebords glénoïdiens antérieur et postérieur. Ce critère est dépendant de la rotation du patient.

L'espace sous-acromial doit être bien dégagé. Ceci est un critère dépendant de l'inclinaison du tube.

Le cintre scapulo-huméral doit apparaître bien dessiné.

Éléments de l'analyse

L'analyse s'intéresse à l'ensemble du cadre osseux, de son intégrité et de sa structure intrinsèque, c'est-à-dire la partie visible de l'humérus (la tête, les tubercules et la diaphyse proximale) et de la scapula (la glène, le col, le bord latéral de l'écaille, le processus coracoïde et l'acromion).

On s'intéresse ensuite au centrage et à la trophicité de l'articulation gléno-humérale.

On évalue la hauteur de l'espace sous-acromial. Celui-ci doit être supérieur à 7 mm, quelle que soit la rotation du bras.

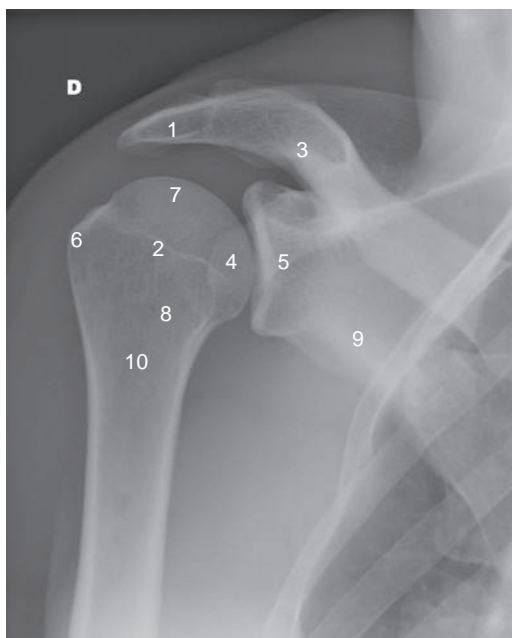


Fig. 4-2. Radio-anatomie de l'incidence d'épaule de face.

1. Acromion de la scapula. 2. Col anatomique de l'humérus. 3. Clavicule. 4. Processus coracoïde de la scapula. 5. Cavité glénoïde de la scapula. 6. Tubercule majeur de l'humérus. 7. Tête humérale. 8. Tubercule mineur de l'humérus. 9. Scapula. 10. Col chirurgical de l'humérus.

On observe également le cintre acromio-claviculaire, même si l'articulation acromio-claviculaire n'est pas dégagée ici.

Notions de pathologie

En traumatologie

Les fractures de la scapula sont relativement rares et résultent presque toujours de chocs directs violents. Plus de la moitié des fractures de la scapula intéressent la glène ou le col.

Les fractures de l'humérus sont plus courantes. Elles intéressent, par ordre de fréquence : le col chirurgical, le massif tubérositaire et la tête humérale. L'atteinte fracturaire la plus fréquente de la tête résulte de la luxation gléno-humérale. Il s'agit de l'encoche (crânio-postérieure) de Malgaigne (surtout visible quand l'épaule est en rotation médiale).

Les luxations gléno-humérales sont relativement fréquentes. La radiographie peut en détec-



Fig. 4-3. Radiographie d'épaule de face montrant une fracture engrenée du col anatomique de l'humérus.

miner le sens du déplacement. Il est généralement antérieur, moins souvent postérieur et rarement erecta (figure 4.3).

En rhumatologie

L'omarthrose est rare (3 % de l'ensemble des arthroses). Elle est généralement secondaire (à une ostéonécrose, une arthrite post-traumatique ou suite à une rupture de la coiffe). Le diagnostic radiologique montre une réduction de l'espace gléno-huméral à moins de 5 mm. Elle évolue vers l'ostéophytose (figure 4.4).



Fig. 4-4. Radiographie d'épaule de face montrant une omarthrose.

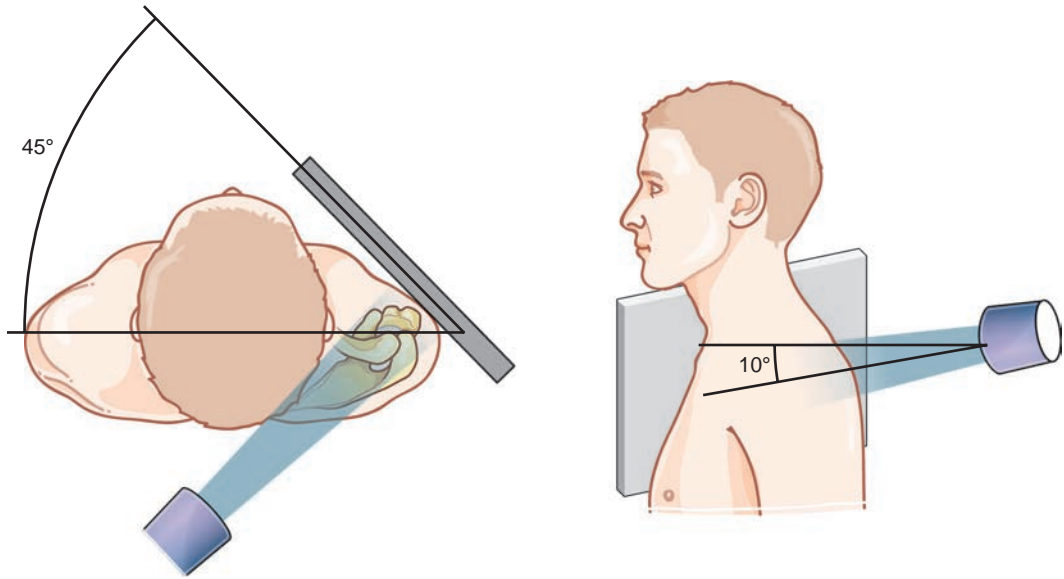


Fig. 4-5. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence d'épaule en profil de LAMY.

L'épaule en incidence de profil

Il existe plusieurs incidences de profil d'épaule³¹. L'incidence communément dénommée «profil» est l'incidence de Lamy, c'est un profil de coiffe.

Cette incidence présente la cavité glénoïde selon son plus grand diamètre (c'est une radiographie de face de la cavité glénoïde). La tête humérale y est superposée.

L'écaille de la scapula se présente en vue tangentielle. Le processus coracoïde et l'épine s'en dégagent selon leurs plus grands angles.

Indications spécifiques

Cette incidence complète donc l'incidence de face. Elle apporte notamment une vue orthogonale de la scapula, une vue tangente de l'échancre sous-acromiale et une vue des rapports de la

tête humérale avec la cavité glénoïde dans le plan de celle-ci.

En traumatologie

L'incidence de Lamy est particulièrement intéressante dans les luxations gléno-humérales pour déterminer le sens du déplacement de la tête (ventral ou dorsal).

En rhumatologie

L'incidence de Lamy est particulièrement indiquée dans les suspicions de rupture de coiffe.

Réalisation

Le patient est debout, en oblique antérieur de 45° (face au potter mais avec un angle de 45°). L'épaule est examinée contre le potter. Le rayon directeur est légèrement descendant afin de dégager l'espace sous-acromial (figure 4.5).

Radio-anatomie (figure 4.6)

Critères de qualité

La scapula est vue de profil et doit se présenter sous la forme d'un «Y».

³¹ Les incidences d'épaule de profil les plus communes sont : l'incidence de Lamy, l'incidence de Bernageau, l'incidence de Garth (qui permet d'analyser le rebord antérieur de la glène et la face crânio-dorsale de la tête humérale), l'incidence de Bloom et Obata (qui permet de visualiser l'articulation gléno-humérale en vue tangentielle descendante sans mobiliser l'articulation).

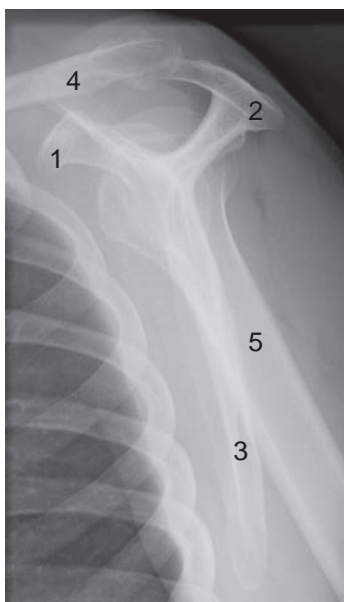


Fig. 4-6. Radio-anatomie de l'incidence d'épaule en profil de LAMY.

1. Processus coracoïde. 2. Acromion. 3. Écaille de la scapula. 4. Clavicule. 5. Humérus.

La glène est donc vue complètement « étalée ».

Le cintre acromio-claviculaire doit être complètement dégagé de la superposition avec la tête humérale.

Éléments de l'analyse

Le cadre osseux permet d'observer les différents constituants de la scapula, l'humérus dans sa portion proximale et la partie latérale de la clavicule. On analyse l'intégrité osseuse et les rapports articulaires (notamment la tête humérale qui doit être centrée dans la cavité glénoïde).

On observe alors le défilé sous-acromial.

Notions de pathologie

En traumatologie

Le cadre osseux vise à décrire la scapula, la partie proximale de l'humérus, la partie latérale de la clavicule. Ces structures doivent être analysées successivement (intégrité, densité, forme) puis collectivement. Les rapports articulaires en ques-



Fig. 4-7. Radiographie d'épaule en profil de LAMY montrant une luxation gléno-humérale.

tion concernent l'articulation gléno-humérale (c'est l'incidence la plus sensible dans les recherches de luxation) et l'articulation acromio-claviculaire.

Les surfaces articulaires sont peu analysables sur cette incidence (figure 4.7).

En rhumatologie

La coiffe des rotateurs s'analyse sur cette incidence, par l'intermédiaire de l'espace sous-acromial, avec d'éventuelles calcifications tendineuses (figure 4.8).

L'épaule en incidence de Bernageau (profil glénoïdien)

Cette incidence fait partie des incidences d'épaule de profil. Elle permet de dégager l'interligne gléno-huméral en vue tangentielle par les pôles cranio-caudaux.

Indications spécifiques

Cette incidence permet de mettre en évidence d'éventuelles pathologies du rebord ventro-caudal de la glène.

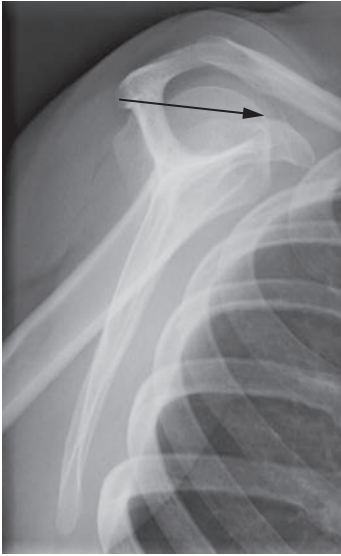
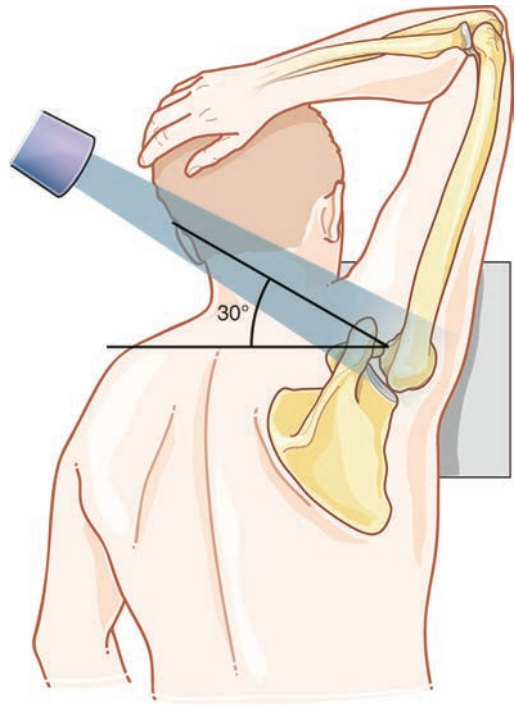


Fig. 4-8. Radiographie d'épaule en profil de LAMY montrant des calcifications dans l'espace sous-acromial.



En orthopédie

Cette incidence est classiquement utilisée pour objectiver l'intégrité de la cavité glénoïde dans les instabilités chroniques d'épaule. L'aspect du rebord ventro-caudal de la cavité est un facteur déterminant de la contention articulaire. L'incidence de Bernageau est donc particulièrement utile, dans les contextes de luxations récurrentes, mais également dans le bilan initial de luxation comme facteur prédictif de récurrence (à condition que la douleur n'empêche pas la position de réalisation de la radiographie).

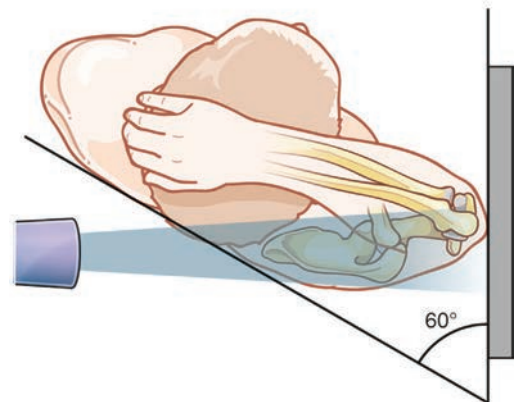


Fig. 4-9. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de Bernageau.

Réalisation

Le patient est en ventre plaque, bras radiographié au-dessus de la tête. La ligne des épaules est tournée à 60° , de façon à ce que le creux axillaire du côté considéré soit en contact intime avec la surface radiographique. Le tube radiogène est incliné vers le sol avec un angle de 30° , pour être dans le plan de la surface glénoïdale (figure 4.9).

Radio-anatomie (figure 4.10)

Critères de qualité

Les deux tiers caudaux du rebord glénoïdien ventral sont bien dégagés et se projettent juste en avant du tiers crânial.

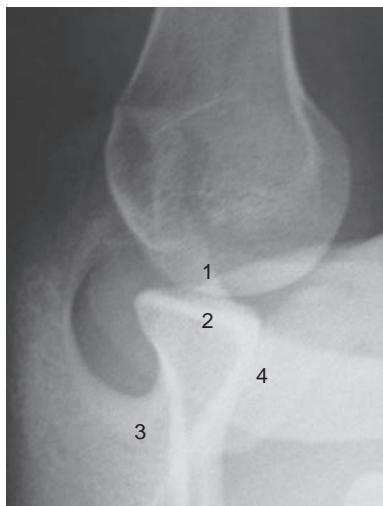


Fig. 4-10. Radio-anatomie de l'incidence de Bernageau. 1. Tête humérale. 2. Glène. 3. Épine de la scapula. 4. Clavicule.

Éléments de l'analyse

À l'état sain, le rebord antérieur de la cavité glénoïde est d'aspect pointu.

Notions de pathologie

Si le rebord est émoussé, alors l'instabilité est inévitable et le risque de luxation antérieure de la tête humérale est présent. De façon plus rare, un fragment osseux correspondant au rebord glénoïdien peut s'observer à la face antérieure du col anatomique de la glène [7]. La sensibilité de cette incidence, pour cette étude, est de 80 % (figure 4.11).

La clavicule en incidence de face

En pratique, cette incidence est, pour ainsi dire, la seule utilisée dans l'exploration de la clavicule.

Il existe des incidences spécifiques de profil de clavicules. Cependant, elles sont rarement utilisées, car l'interprétation est difficile à cause des nombreuses superpositions osseuses. On leur préfère classiquement le scanner qui est bien plus sensible. Nous ne retiendrons donc ici que l'incidence

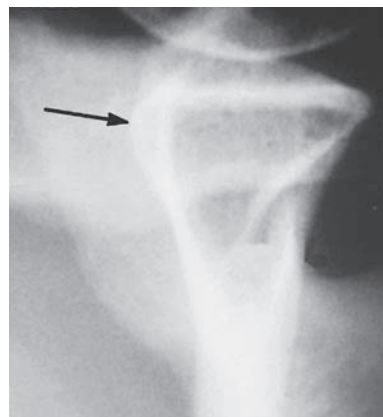


Fig. 4-11. Radiographie d'épaule en profil glénoïdien montrant un rebord ventro-caudal lésé.

de face de la clavicule. Elle est souvent de réalisation bilatérale et sans profil.

Évoquons également l'incidence de Zanca³² qui est une incidence spécifique pour l'analyse de l'articulation acromio-claviculaire. En pratique, elle est rarement utilisée au profit de l'incidence de face classique localisée sur l'articulation.

Indications spécifiques

À part pour ce qui est de son extrémité proximale, la radiographie standard est l'examen d'imagerie de première intention dans l'étude de l'os.

En rhumatologie

La recherche d'arthrose acromio-claviculaire dans les cas de douleurs chroniques et récurrentes peut justifier la réalisation de clichés des articulations acromio-claviculaires. Cette réalisation précède souvent un geste infiltratif (pouvant être réalisé sous scopie).

En traumatologie

La recherche de fracture de la clavicule ou de luxation acromio-claviculaire est de loin le plus gros pourvoyeur de radiographies de la zone.

³² L'incidence de Zanca se réalise comme une incidence de face classique avec une inclinaison caudo-crâniale du tube de 10–15° et un centrage serré sur l'articulation acromio-claviculaire.

Dans la recherche d'entorse ou de luxation acromio-claviculaire, la réalisation est systématiquement comparative, car il existe des laxités importantes chez certains individus.

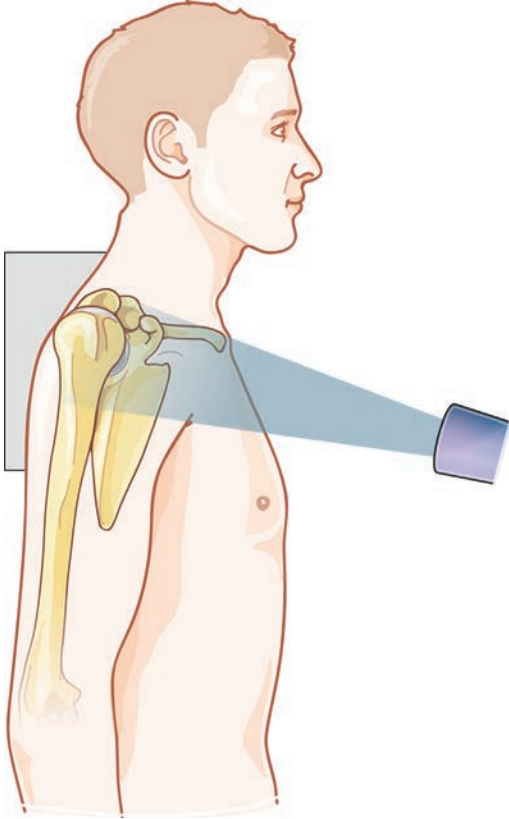


Fig. 4-12. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de clavicule de face.

Réalisation

Le patient est en dos plaque, épaules parallèles à la plaque radiologique. Le rayon directeur est ascendant d'une quinzaine de degrés, centré sur la zone d'intérêt, l'os ou l'articulation (figure 4.12).

Radio-anatomie (figure 4.13)

Critères de qualité

La clavicule doit apparaître dégagée d'un maximum de superpositions osseuses, notamment avec la scapula. L'os doit être visible d'une extrémité à l'autre.

L'articulation acromio-claviculaire doit apparaître bien enfilée.

Éléments de l'analyse/ images pièges

L'analyse osseuse doit être précise au niveau de la corticale. La déformation de l'os peut, chez l'enfant, être le seul élément en faveur d'une fracture.

Les surfaces articulaires de l'acromion et de la clavicule doivent être en regard l'une de l'autre, et l'interligne articulaire doit être de trophicité régulière. En cas de recherche de luxation, une radiographie controlatérale comparative peut s'avérer nécessaire du fait des différences de laxités interindividuelles.

L'articulation sterno-costoclaviculaire est toujours plus délicate à analyser du fait des superpositions avec le gril costal.

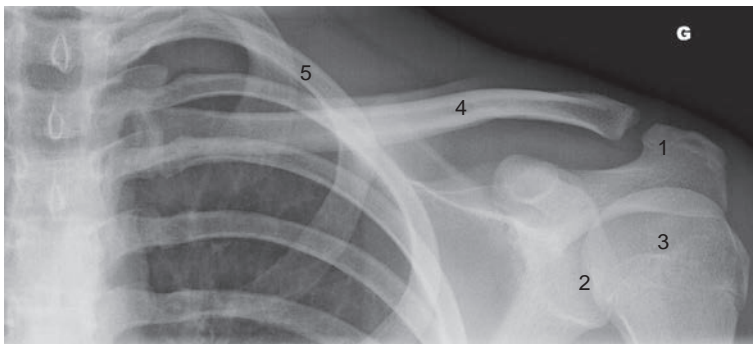


Fig. 4-13. Radio-anatomie de l'incidence de clavicule de face.
1. Acromion. 2. Cavité glénoïde. 3. Tête humérale. 4. Clavicule. 5. K2.

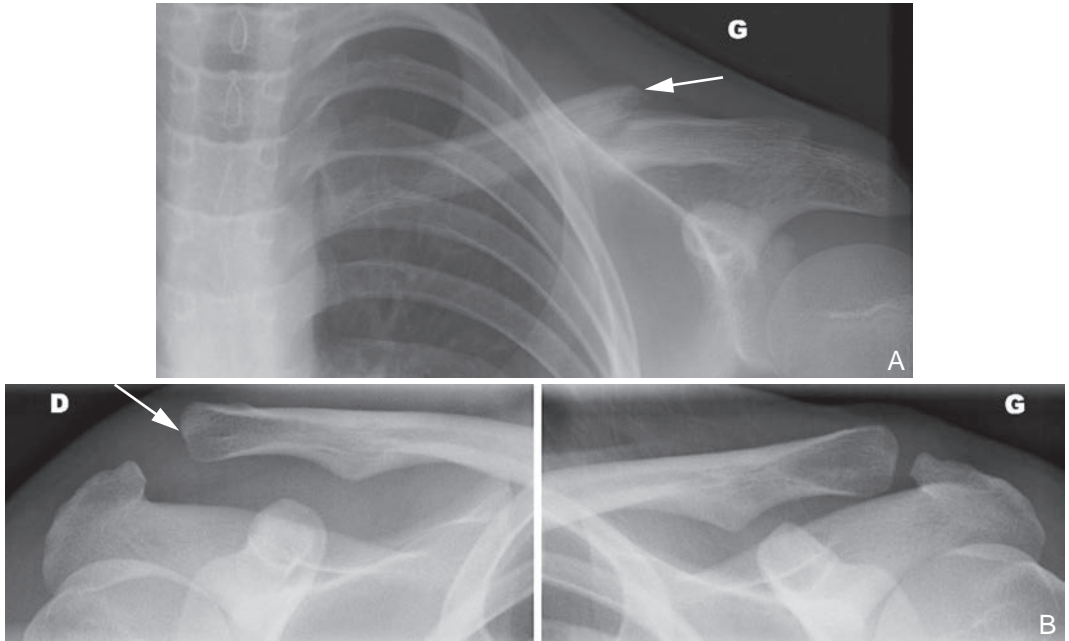


Fig. 4-14. Diastasis articulaire.

A. Radiographies de clavicule montrant une fracture. **B.** Luxation acromio-claviculaire (flèche).

Notions de pathologie

L'arthrose acromio-claviculaire est fréquente, et le plus souvent asymptomatique. Sa prévalence est de 68 % avant 30 ans et de 93 % après 30 ans.

Les fractures de la clavicule, pour 80 %, intéressent le tiers moyen, et 15 % l'extrémité latérale. Les fragments sont fréquemment déplacés par le jeu des tensions musculaires (à savoir dans les cas les plus fréquents, le fragment médial ascensionné par les muscles sterno-cléido-occipito-mastoïdien et le fragment latéral, maintenu par le muscle deltoïde et les ligaments coraco-claviculaires).

Les luxations acromio-claviculaires peuvent être d'importance variable. Le diastasis articulaire visible en radiologie traduit cela (figure 4.14).

Le bras en incidence de face et de profil

Indications spécifiques

Réalisées isolément, ces incidences trouvent principalement leur intérêt en traumatologie, plus

rarement en cancérologie. De façon plus anecdotique, elles font partie du bilan radiologique de certaines pathologies, notamment pour la maladie de Paget et dans le syndrome de Silverman³³.

En traumatologie

C'est l'indication principale de ces incidences.

Les fractures de l'humérus intéressent majoritairement les personnes âgées. La localisation préférentielle de ces fractures est au tiers proximal de l'os. La fracture peut être associée à une luxation gléno-humérale. Néanmoins, tous les âges et toutes les parties de l'os peuvent être concernés.

Réalisation

Les clichés peuvent se réaliser debout ou en décubitus. À cause de la douleur, la mobilisation du bras est parfois difficile et peut amener à des réalisations « non conventionnelles ». Le but est néanmoins d'obtenir deux incidences orthogonales.

³³ Recherche radiologique exhaustive chez les enfants battus.

Radio-anatomie (figure 4.15)

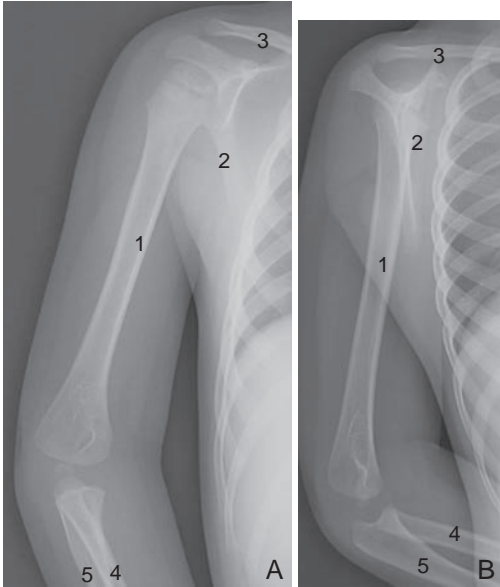


Fig. 4-15. Radio-anatomie des incidences d'humérus de face et de profil.

1. Humérus. 2. Scapula. 3. Clavicule. 4. Radius. 5. Ulna.

Critères de qualité

L'os doit être vu dans sa totalité.

L'incidence de face doit laisser apparaître les critères de bonne face du coude et de l'épaule.

L'incidence de profil doit laisser apparaître les critères de bon profil du coude et de l'épaule.

Éléments de l'analyse/ images pièges

La structure osseuse (trame, corticale). Celle-ci doit être homogène. Notons tout de même, à la jonction du tiers proximal et du tiers moyen de l'os, un aspect bombé latéralement dû à la zone d'attache du muscle deltoïde.

Cette incidence n'est pas faite pour analyser les rapports articulaires. Ils sont cependant analysables.

Notions de pathologie (figure 4.16)

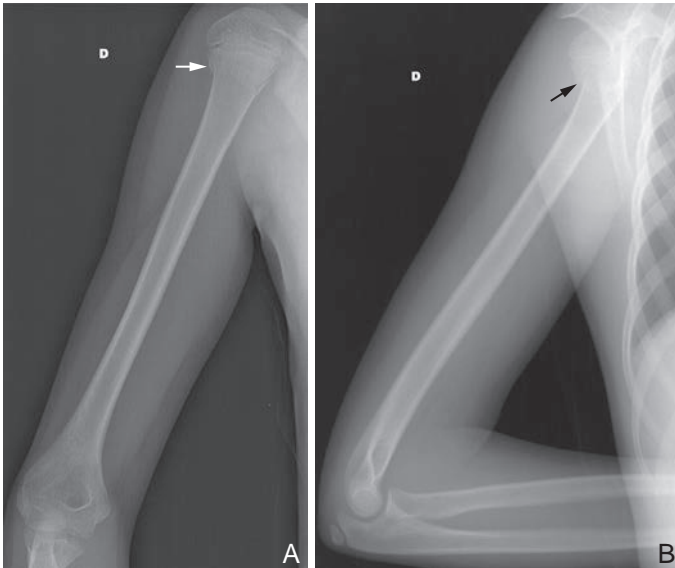


Fig. 4-16. Radiographies d'humérus, de face et de profil chez une fille de 10 ans montrant une fracture de la métaphyse proximale (flèche).

Apport à l'ostéopathie

L'imagerie de la ceinture scapulaire apporte à l'ostéopathie par plusieurs aspects :

- les contre-indications à certaines techniques ostéopathiques ;
- la lecture utile au diagnostic ostéopathique ;
- la recherche possible utilisant cette imagerie.

Radiographie d'épaule de face et de profil

Les contre-indications aux manipulations structurales évoquées par la radiographie sont :

- les fractures et luxations et ce, jusqu'à 6 semaines après le traumatisme ;
- les arthroses en phase inflammatoire et celles dont l'évolution est trop poussée (le risque est induit par la déformation articulaire et la fragilité inhérente) ;
- les processus fragilisant l'os (tumeurs, Paget, etc.).

En recherche ostéopathique, la mise en évidence radiologique de paramètres résultant d'une dysfonction cinétique nécessiterait plusieurs pré-requis. Dans le domaine de la radiographie simple, ils sont :

- l'étalonnage de l'incidence considérée : pour savoir quels sont les rapports articulaires normaux, quelles sont les limites de la norme et quelles sont les situations anormales ;
- l'élaboration d'un protocole strict de réalisation pouvant garantir une reproductibilité sans faille d'un positionnement fin.

L'équilibre de l'articulation gléno-humérale est assuré par ses constituants musculo-ligamentaires. Par définition, sa capacité d'adaptation posturale est donc importante. De ce fait, une dysfonction cinétique sollicitera ce système d'adaptation, et même si la capacité mécanique de la zone reste perturbée, son positionnement anatomique paraîtra irréprochable.

L'articulation gléno-humérale est relativement volumineuse. De ce fait, une subluxation minime sera difficilement objectivable. Le positionnement du patient devant le tube se fait à une dizaine de degrés près. Or, un degré de rotation du plan des

épaules induit une différence de projection des structures pouvant aller jusqu'à plusieurs millimètres.

Il semble difficilement envisageable qu'une dysfonction cinétique se traduise radiologiquement sur des incidences de face et de profil standard. Une étude sur une imagerie en coupe permettrait peut-être une meilleure sensibilité à condition d'un « étalonnage » préalable.

Radiographie de clavicule

Les contre-indications, apportées par cette incidence concernant les prises en charge structurales, sont :

- les fractures et luxations récentes (de moins de 6 semaines ou en cours de traitement chirurgical par ostéosynthèse provisoire) ;
- les processus tumoraux ;
- les atteintes arthrosiques déformantes sévères ;
- les pathologies inflammatoires en phase active.

En recherche ostéopathique, la radiographie de la clavicule de face évoque la même problématique que les incidences d'épaule. Il faut également prendre en compte que le fait de n'avoir qu'une incidence de la zone rend par définition la localisation spatiale impossible.

Ici encore, les ostéopathes peuvent en revanche étudier l'aspect des rapports articulaires qui reflètent les contraintes que les articulations subissent ou ont subi sur du long terme. Ces observations peuvent enrichir une argumentation diagnostique globale.

Références

- [1] Leyder B, Henrot Ph, Blum A, Roland J. Exploration de l'articulation sterno-claviculaire et de sa pathologie traumatique aiguë. Feuilles de Radiologie (éditions Masson) 1998 ; 38(5) : 381, 39.
- [2] Moore KL, Dalley AF. Anatomie médicale, aspects fondamentaux et applications cliniques. In : De Boeck ; 2001. p. 667-8.
- [3] Moore KL, et al. Mooreclinically oriented anatomy. 7th ed. Lippincott Williams and Wilkins ; 2013.
- [4] Rockwood CA, et al. 4th ed. The shoulder, Vol. 1. Saunders/Elsevier ; 2009. p. 12.
- [5] Miroux F, et al. Anatomie radiologique de l'épaule. In : Radiodiagnostic – Squelette normal. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris) ; 1999. p. 25, 30-360-A-10.

- [6] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}, 2005. p. 20-1.
- [7] Edwards, et al. Radiographic analysis of bone defects in chronic anterior shoulder instability. *Arthroscopy : The Journal of Arthroscopic and Related Surgery* 2003 ; 19(7) : 732-9.

Chapitre 5

Imagerie du coude et de l'avant-bras

À l'âge adulte, les trois os entrant dans la constitution du coude montrent à décrire en radiologie :

- pour l'humérus :
 - la palette humérale. Elle est aplatie et légèrement déjetée ventralement. Elle porte le condyle huméral présentant le capitulum latéralement, et la trochlée médialement. Son centre est creusé par la fosse coronoïdienne ventralement et dorsalement par la fosse olécrânienne (rarement, ces deux fosses peuvent communiquer). Son bord latéral est surmonté de l'épicondyle latéral et son bord médial, de l'épicondyle médial, plus saillant,
 - l'ossification de la palette humérale débute par le capitulum, entre 6 mois et 2 ans. Ensuite apparaît le noyau d'ossification de l'épicondyle médial entre 5 et 9 ans. Le centre d'ossification de la trochlée apparaît généralement vers 9 ans, peu avant celui de l'épicondyle latéral. Le capitulum et la trochlée fusionnent ensemble vers l'âge de 12 ans, ce nouveau centre (d'origine double) fusionne alors à l'épicondyle latéral. La fusion de l'épiphyse et de la métaphyse s'opère généralement entre 14 et 17 ans (ce qui signe l'arrêt de la croissance longitudinale de l'os) [1];
- pour le radius :
 - l'épiphyse proximale présente la tête radiale (articulaire avec le capitulum et l'ulna), le col et la tubérosité radiale,
 - la diaphyse, s'élargissant distalement, et restant parallèle à la diaphyse de l'ulna en position anatomique de bras,
 - l'épiphyse distale, elle, présente sa surface articulaire, non lisse, selon un plan oblique

caudalement et médialement. Son bord latéral porte le processus styloïde radial,

- l'ossification de l'os se fait par trois noyaux. Elle commence par un centre d'ossification au centre de la diaphyse à la 8^e semaine de vie intra-utérine. L'épiphyse distale commence à s'ossifier au cours de la deuxième année, l'épiphyse proximale s'ossifie dans la 5^e année. La fusion de l'épiphyse proximale à la diaphyse a lieu entre la 15^e et la 17^e année. La fusion de l'épiphyse distale à la diaphyse a lieu entre la 17^e et la 20^e année.

Occasionnellement, entre 14 et 15 ans, un centre d'ossification accessoire peut se voir à la tubérosité radiale [2].

Des os accessoires peuvent exister à l'extrémité distale de l'os en regard de la styloïde radiale. L'os radiostyloïdeum résulte d'un défaut de fusion d'un noyau d'ossification accessoire à la styloïde radiale. Plus caudalement, l'os parascaphoïde (voir figure 6.2) est interposé entre le radius et le scaphoïde [3];

- pour l'ulna :
 - l'épiphyse proximale porte l'apophyse olécrânienne dorsalement, l'apophyse coronoïde ventralement et les surfaces articulaires avec l'humérus (incisure trochléaire) et avec le radius,
 - la diaphyse ulnaire s'amincit caudalement,
 - l'épiphyse distale, articulaire avec le radius latéralement et la première rangée du carpe caudalement. Elle porte la styloïde ulnaire médialement,
 - l'ossification de l'os se fait, comme pour le radius, à partir d'un noyau d'ossification principal au centre de l'os et deux noyaux

d'ossification secondaires à chaque extrémité. À la naissance, la diaphyse ulnaire et l'apophyse coronéenne sont ossifiées. Le noyau épiphysaire distal apparaît vers l'âge de 6 ans et fusionne entre 20 et 23 ans. Le noyau d'ossification du processus olécrânien apparaît vers la 10^e année et fusionne à l'os vers 16 ans.

L'exploration du coude en imagerie laisse à la radiographie standard une place de premier choix. En traumatologie, les examens spécialisés comme l'échographie, l'IRM et le scanner ont un intérêt en deuxième intention dans les cas de diagnostic non formel voire en préchirurgical.

L'échographie est de meilleure sensibilité pour l'investigation des tissus mous péri-articulaires. Elle est contributive dans le diagnostic et l'exploration des tendinites par exemple. Elle peut également mettre en évidence des signes indirects de lésion osseuse (lors d'une hémarthrose par exemple).

Le scanner a une sensibilité plus grande que la radiographie dans l'étude des structures osseuses, il n'est effectivement pas rare qu'une fracture non visible en radiologie apparaisse au scanner. Le scanner est donc particulièrement indiqué s'il persiste un doute diagnostique après la radiographie. L'arthroscanner est indiqué dans les recherches de corps étrangers intra-articulaires radio-claires comme un fragment cartilagineux ou encore dans l'étude de l'intégrité de ce dernier (recherche de fissure, etc.).

L'IRM, par sa haute sensibilité de contraste pour les tissus mous, peut être considérée comme l'examen idéal dans l'exploration des inflammations des tendons du coude ou encore dans les lésions musculo-ligamentaires et nerveuses de la zone. Néanmoins, son coût et sa disponibilité restreignent son utilisation, souvent en faveur de l'échographie.

Indications générales

Le coude est une zone fréquemment sollicitée lors des traumatismes, qu'ils soient directs ou indirects (par une chute sur la main). Ces cas sont les pre-

miers pourvoyeurs de prescriptions de radiographie du coude.

Le bilan radiologique comprend alors des clichés de face et de profil. En cas de suspicion persistante ou de recherches plus poussées autour des surfaces articulaires, des incidences de 3/4 peuvent se justifier.

L'incidence de «profil modifié»³⁴ et l'incidence «rétro-olécrânienne»³⁵ sont des incidences spécifiques. Elles trouvent leur intérêt en traumatologie mais sont relativement peu utilisées. Nous ne les aborderons pas ici.

Le coude en incidence de face

Indications spécifiques

En traumatologie

L'incidence de face permet de contribuer à la recherche de fractures, de luxations (notamment lors des décalages latéromédiaux).

Cette incidence permet de visualiser les inter-lignes radio-huméral et huméro-ulnaire (bien qu'il y ait la superposition de l'olécrâne sur l'échancrure). Elle permet également de visualiser les rapports des trois os du coude entre eux (quand le coude est en extension) et de dégager les épicondyles latéral et médial.

En rhumatologie

L'incidence de face est de bonne sensibilité dans la recherche d'arthrose ou d'autres pathologies rhumatismales. L'arthrose du coude est relativement rare et généralement secondaire (à une fracture, à une maladie rhumatismale, etc.). La radiographie permet d'en confirmer le diagnostic et d'en évaluer l'étendue.

³⁴ Permet de dégager la tête radiale et le capitulum des superpositions osseuses.

³⁵ Permet notamment de dégager les épicondyles latéral et médial.

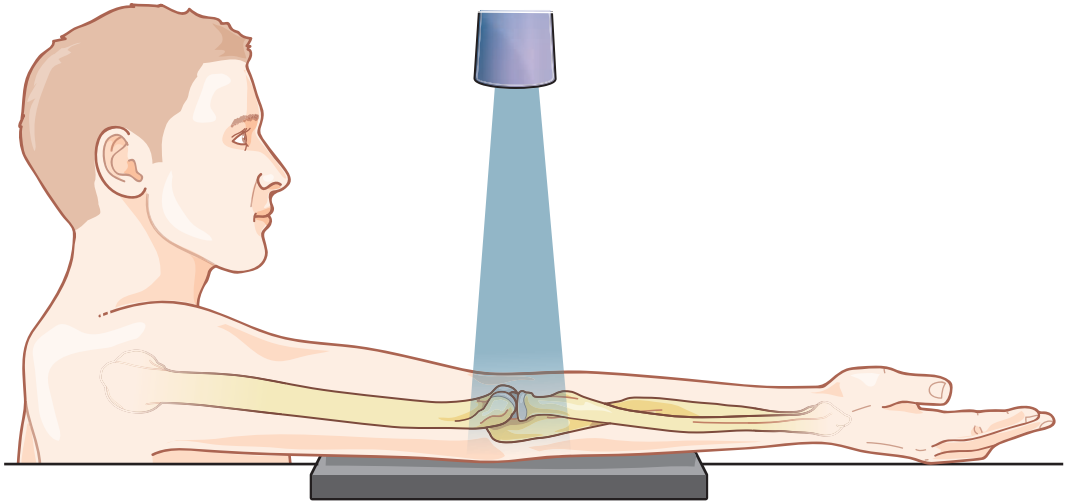


Fig. 5-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de coude de face.

Réalisation

Le patient est assis ou debout. Le coude est en extension complète (si la douleur le permet), l'avant-bras est en supination. L'épaule, le coude et le poignet se trouvent dans un plan horizontal. Le but est ici de dégager au maximum l'interligne articulaire et de limiter les superpositions osseuses en parallélisant radius et ulna (figure 5.1).

Radio-anatomie (figure 5.2)

Critères de qualité

La palette humérale doit apparaître selon son grand axe, dégageant l'épitrôclée et l'épicondyle.

Les diaphyses radiales et ulnaires doivent apparaître parallèles.

L'interligne huméro-radial doit être bien visible.

Éléments de l'analyse

On analyse les structures osseuses, les interlignes articulaires, les rapports osseux et les parties molles.

La palette humérale, la cupule radiale et l'épiphyse ulnaire proximale doivent apparaître intègres.



Fig. 5-2. Radio-anatomie de l'incidence de coude de face.
1. Humérus. **2.** Radius. **3.** Ulna. **4.** Capitulum de l'humérus.
5. Processus coronoïde de l'ulna. **6.** Tête du radius.
7. Épicondyle latéral de l'humérus. **8.** Épicondyle médial de l'humérus. **9.** Col du radius. **10.** Fosse olécrânienne de l'humérus. **11.** Olécrâne de l'ulna. **12.** Trochlée humérale.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2010.

Les interlignes articulaires huméro-ulnaire et huméro-radial doivent être d'épaisseur égale.

Les parties molles doivent être de densité homogène.

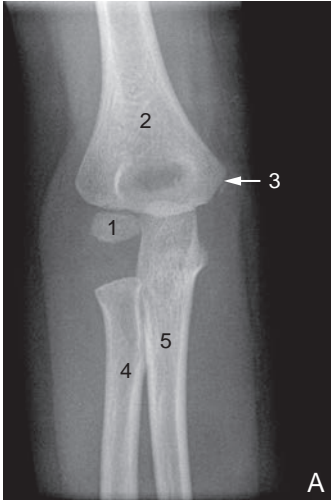


Fig. 5-3.A. Radiographie de coude de face chez un enfant de 3 ans; aspect normal.

1. Noyau d'ossification du capitulum. 2. Humérus. 3. Noyau d'ossification de l'épicondyle médial. 4. Radius. 5. Ulna.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2010.

Chez l'enfant, et dans certains cas chez l'adulte (quand il existe un défaut d'ossification), certains fragments peuvent paraître séparés de l'os. Ils sont en fait joints par du tissu fibreux. Ce sont les noyaux d'ossification (figure 5.3a).

Avant l'ossification définitive, le diagnostic de certaines fractures et des luxations du coude peut être délicat. À l'état sain, l'axe prolongé du radius passe par le centre de l'épiphyse condylienne (figure 5.3b).

Notions de pathologie

Les entités cliniques les plus fréquentes en traumatologie sont les fractures de la palette humérale, les fractures de la cupule radiale et les fractures de l'olécrâne.

Les fractures peuvent être extra ou intra-articulaires, ce qui complique le pronostic fonctionnel (figure 5.4).

Les luxations représentent 25 % des traumatismes de cette articulation, les plus fréquentes sont les luxations postérieures, dans une moindre mesure viennent ensuite les luxations postérolatérales (figure 5.5).

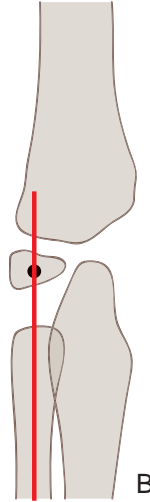


Fig. 5-3.B. Schéma de coude de face chez un enfant de 3 ans; aspect normal.



Fig. 5-4. Radiographie de coude de face montrant une fracture (flèches).

L'arthrose du coude est relativement rare et généralement secondaire (à une fracture, à une maladie rhumatismale, etc.). La radiographie permet d'en confirmer le diagnostic et d'en évaluer l'étendue. L'arthrose du coude intéresse généralement les deux compartiments de l'articulation (figure 5.6).



Fig. 5-5. Radiographie de coude de face montrant une luxation postérolatérale de l'ulna et du radius.



Fig. 5-6. Radiographie de coude de face montrant une arthrose (pincement de l'interligne huméro-ulnaire, ostéophytose marginale, corps étrangers intra-articulaires).

Le coude en incidence de profil

Indications spécifiques

Cette incidence permet de dégager la grande échancrure sigmoïde³⁶ et de visualiser les trois os du coude de profil dans leur relation en flexion à 90° de coude.

En traumatologie

Elle est un complément indispensable (incidence orthogonale) de l'incidence de face du coude.

Elle permet une analyse des récessus graisseux antérieurs et postérieurs du coude. Leur analyse peut être évocatrice d'hémarthrose ou autre épanchement articulaire.

En rhumatologie

Cette incidence complète l'incidence de face et permet une vue complémentaire de l'interligne articulaire, notamment huméro-ulnaire, qui n'est vue que partiellement de face.

Réalisation

Le patient est debout ou assis. Le bras à 90° d'abduction, le coude plié à 90° et le pouce au zénith. L'épaule, le coude et le poignet sont dans un même plan horizontal. De cette manière, on dégage l'interligne articulaire et l'on superpose le radius et l'ulna (figure 5.7).

Radio-anatomie (figure 5.8)

Critères de qualité

L'extrémité distale de l'humérus doit présenter une image en «8» ouverte à son pôle supérieur. Cette image est formée par les contours des fosses coronoïdienne et olécrânienne, et par la superposition

³⁶ Échancrure humérale de l'ulna.

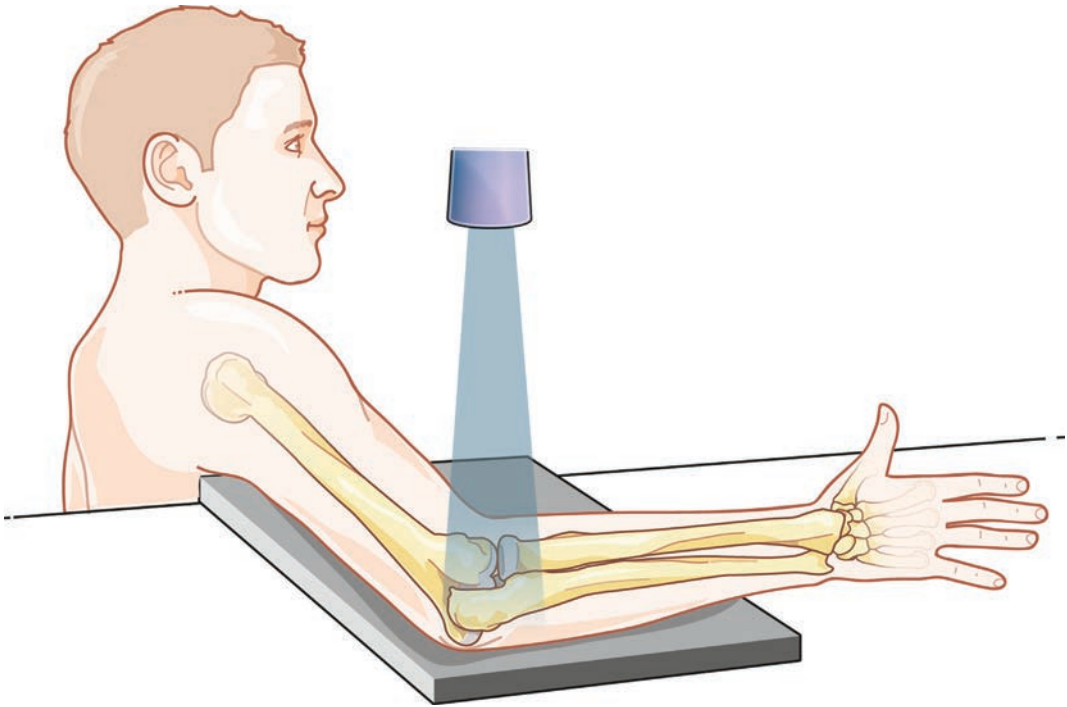


Fig. 5-7. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de coude de profil.

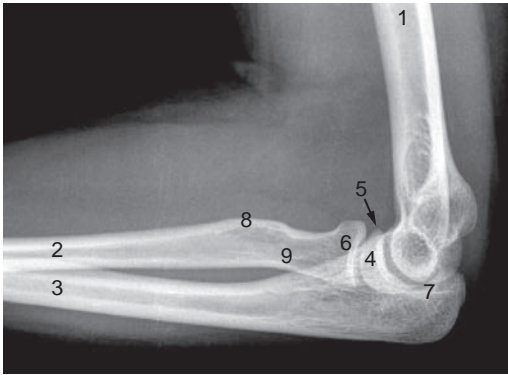


Fig. 5-8. Radio-anatomie de l'incidence de coude de profil.
1. Humérus. **2.** Radius. **3.** Ulna. **4.** Capitulum de l'humérus.
5. Processus coronoïde de l'ulna. **6.** Tête du radius.
7. Incisure trochléaire de l'ulna. **8.** Tubérosité radiale. **9.** Col du radius.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

du condyle et de la trochlée humérale. Le « 8 » doit se projeter à la jonction du tiers ventral et du tiers moyen de la métaphyse.

L'échancrure sigmoïde doit être parfaitement visible.

La cupule radiale ne doit pas empiéter à plus de la moitié sur la coracoïde.

Éléments de l'analyse

On analyse les structures osseuses, les interlignes articulaires, les rapports osseux et les parties molles.

Le processus olécrânien apparaît sans superposition. Le processus coronoïde se superpose à la cupule radiale.

L'échancrure articulaire doit être d'épaisseur homogène.

Les récessus graisseux antérieurs et postérieurs doivent être accolés à l'os.

Chez l'enfant, l'aspect des os peut faussement faire évoquer des solutions de continuité (figure 5.9a). À l'état normal, le prolongement du bord antérieur de l'humérus coupe le noyau condylien dans son tiers postérieur. De même, le prolongement de l'axe de la diaphyse radiale passe par le centre du noyau condylien (figure 5.9b).



Fig. 5-9.A. Radiographie de coude de profil chez l'enfant ; aspect normal.

1. Noyau d'ossification du capitulum. 2. Humérus.
3. Radius. 4. Ulna.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie.
Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

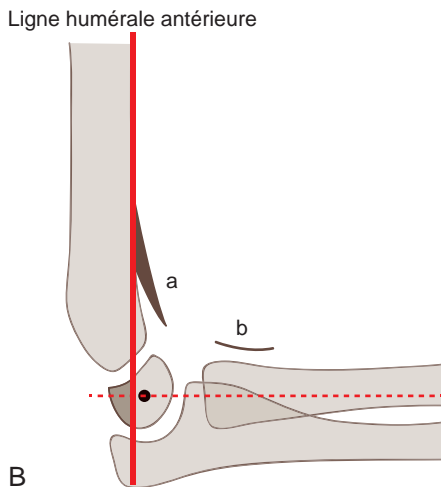


Fig. 5-9.B. Schéma de coude de profil chez l'enfant ; aspect normal.

Notions de pathologie

À l'état normal, les cavités synoviales sont peu remplies, et la capsule articulaire est quasiment accolée à l'os. L'emplacement des lignes graisseuses péri-articulaires radio-construites indique alors des

signes indirects d'épanchement articulaire. Dans un contexte traumatique, le refoulement du liséré antérieur coronoidien, l'apparition du liséré postérieur ou encore le refoulement antérieur (à plus de 1 cm de la diaphyse radiale) du liséré du court supinateur témoignent d'une hémarthrose et donc d'une fracture articulaire du coude (figure 5.10).

En traumatologie, les fractures de la cupule radiale peuvent être de diagnostic difficile. Il n'est pas rare que le diagnostic ne soit évoqué qu'à la découverte de l'épanchement articulaire.

Le coude en incidence de 3/4

Nous évoquons ici les 3/4 latéral puis médial.

Indications spécifiques

Ces incidences sont des incidences complémentaires parfois utiles dans les contextes traumatiques à la recherche de fracture, quand celles de la face et de profil n'ont pas été suffisantes. Les recommandations des collègues d'experts tendent à leur préférer le scanner, mais la rapidité de réalisation et la disponibilité du scanner les rendent souvent encore utiles.

En traumatologie

C'est la seule indication de ces incidences.

Réalisation

Ce sont des variantes de l'incidence de face. Le patient est dans la même position, mais va alternativement tourner le bras vers l'intérieur puis vers l'extérieur.

Radio-anatomie (figure 5.11)

Critères de qualité

Il n'y a pas de critères de qualité stricts pour ces images. On souhaite simplement obtenir des projections différentes de celle de la face, et notamment dégager le processus coronoidé de toutes superpositions.

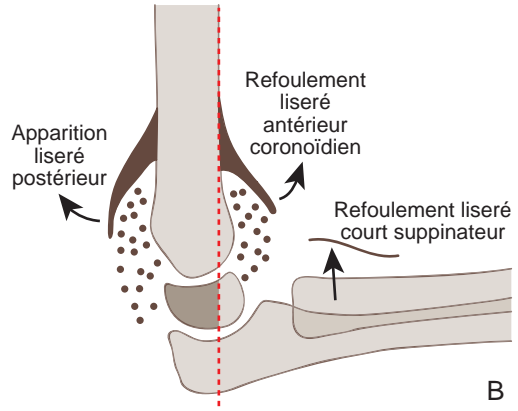
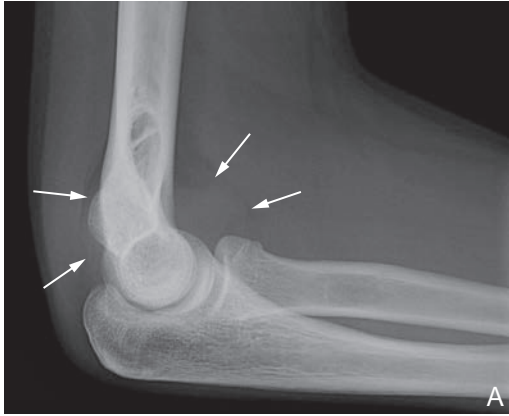


Fig. 5-10. Radiographie (A) et schéma (B) de coude de profil montrant un refoulement des récessus graisseux du coude.

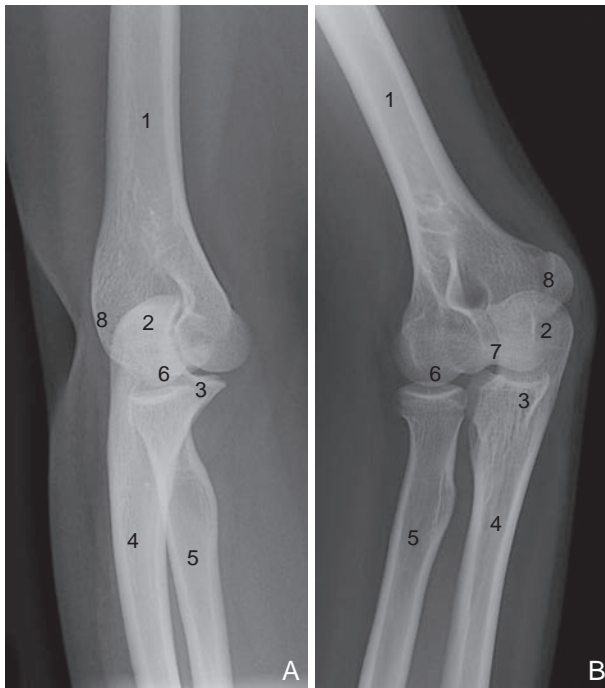


Fig. 5-11.A et 5-11.B. Radio-anatomies de l'incidence de coude de 3/4.
1. Humérus. 2. Olécrane. 3. Processus coronoïde. 4. Ulna. 5. Radius. 6. Capitulum huméral. 7. Trochlée humérale. 8. Épicondyle médial de l'humérus.

Éléments de l'analyse

Nous observons ici les structures osseuses selon un angle différent, ce qui permet de limiter les risques de faux négatifs. Il n'est pas rare que des fractures non déplacées de la cupule radiale ou du processus coronoïde ne soient visibles que sur ces incidences.

L'avant-bras de face et de profil

Indications spécifiques

Ces incidences sont principalement réalisées dans un contexte traumatique à la recherche de fractures de l'avant-bras, plus rarement dans les bilans radiologiques du corps entier (Paget, Silverman, etc.).

Elle permet d'analyser les deux os de l'avant-bras, de l'articulation du coude à celle du poignet.

Notons qu'un certain nombre d'atteintes traumatiques d'une de ces articulations peut impacter l'os à distance. Citons notamment, les fractures-luxations de Monteggia³⁷ et de Galeazzi³⁸.

En traumatologie

Tous les âges peuvent être concernés par ces fractures. Chez l'enfant, il s'agira souvent de fracture « en bois vert » et c'est fréquemment le tiers distal qui sera touché. Chez l'adulte, la lésion intéressera plus volontiers le tiers moyen de l'os.

Réalisation

Les deux incidences sont réalisées à la suite l'une de l'autre. Elles se réalisent dans les mêmes positions que pour les radiographies de coude. Seul le centrage change et intéresse cette fois la totalité de l'avant-bras.

³⁷ Fracture de l'ulna associée à une luxation de l'articulation radio-humérale.

³⁸ Fracture du radius associée à une luxation de l'articulation radio-ulnaire caudale.

Radio-anatomie (figure 5.12)

Critères de qualité

Comme toujours pour des incidences d'os long, les critères de qualité reposent sur le fait d'obtenir simultanément des vues strictes, d'abord de face puis de profil aux articulations sus- et sous-jacentes.

Éléments de l'analyse/ images pièges

C'est principalement l'analyse osseuse qui est intéressante sur ces incidences. Les tissus mous peuvent parfois montrer des signes d'œdème, mais cela sera rarement l'unique signe d'atteinte lors de lésion osseuse. De même, les articulations du coude et du poignet sont moins facilement visibles que sur les incidences localisées.

Notions de pathologie (figure 5.13)

Apport à l'ostéopathie

L'exploration radiologique de la zone peut être pourvoyeuse de contre-indications à la prise en charge ostéopathique, du moins à la prise en charge structurelle et selon la technique employée. Citons par exemple :

- les fractures et les luxations. Les fractures de l'avant-bras mettent, en moyenne, 90 jours pour consolider, celles du coude, 60 jours. Notons cependant que cette zone est très sujette aux pseudarthroses (jusqu'à 10 % des cas) [4];
- les pathologies dégénératives : notamment, l'ostéoporose ou l'arthrose quand elles sont très avancées;
- les pathologies tumorales qui peuvent fragiliser l'os et doivent limiter les contraintes portées;
- les pathologies infectieuses (arthrites) en phase de poussée.

Il n'a pas été retrouvé d'écrits concernant l'intérêt de l'étude radiologique de la zone en recherche et en pratique spécifique ostéopathique.

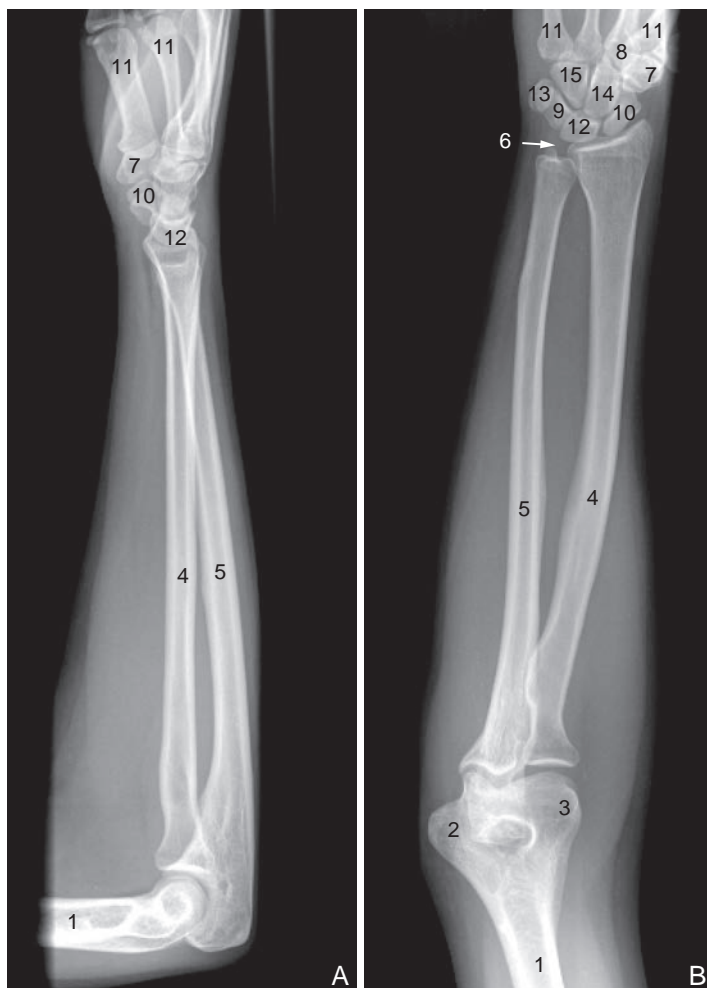


Fig. 5-12. Radio-anatomie des incidences d'avant-bras de profil (A) et de face (B).

1. Humérus. 2. Épicondyle médial de l'humérus. 3. Épicondyle latéral de l'humérus. 4. Radius. 5. Ulna. 6. Processus styloïde de l'ulna. 7. Os trapèze. 8. Os trapézoïde. 9. Os triquetrum. 10. Os scaphoïde. 11. Métacarpiens. 12. Os lunatum. 13. Os pisiforme. 14. Os capitatum. 15. Os hamatum.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.



Fig. 5-13. Radiographies d'avant-bras de face et de profil chez un enfant de 3 ans montrant une fracture en motte de beurre (flèches).

Références

- [1] Green NE, Swiontkowski MF. 4th ed. Skeletal trauma in children, Vol. 3 : Saunders/Elsevier; 2009. p. 207.
- [2] Doyle JR, Botte MJ. Surgical anatomy of the hand and upper extremity. Lippincott Williams and Wilkins; 2002. p. 36.
- [3] Schmitt R, Lanz U. Diagnostic imaging of the hand. In : Thieme; 2007. p. 154.
- [4] Toros T, et al. Reconstruction of humeral diaphyseal non-unions with vascularized fibular graft. Acta Orthop Traumatol Turc 2012; 3 : 149-53.

Chapitre 6

Imagerie du poignet et de la main

L'étude radiologique du poignet et de la main peut s'avérer compliquée à cause de la multitude de superpositions osseuses à ce niveau. Une bonne connaissance de l'anatomie est donc indispensable, les notions les plus importantes à maîtriser sont :

- pour la partie distale des os de l'avant-bras (voir chapitre 5) :
 - la connaissance des dates d'apparition et de fusion des noyaux d'ossification secondaires,
 - l'existence des noyaux accessoires (rares) et leur possible non-fusion à l'âge adulte;
- pour le carpe :
 - l'organisation en deux rangées avec :
 - sur la rangée proximale : scaphoïde, lunatum, triquetrum et pisiforme,
 - sur la rangée distale : trapèze, trapézoïde, capitatum et hamatum;
 - l'ossification des os du carpe présente des stades qui permettent une datation de l'âge osseux avec moins de 1 % de marge d'erreur (figure 6.1). Celle-ci commence par le capitatum puis l'hamatum dans la première année. Les autres os du carpe s'ossifient au rythme d'un par année dans l'ordre suivant : triquetrum, lunatum, scaphoïde, trapèze, trapézoïde (spirale de Grant). À 12 ans, le noyau d'ossification du pisiforme est le dernier à apparaître [1],
 - la mécanique des os du carpe en fonction du positionnement au poignet, notamment celle du scaphoïde :
 - en inclinaison ulnaire, il se verticalise,
 - en inclinaison radiale, il bascule ventralement (la projection radiologique de face le raccourcit et présente sa partie caudale sous forme d'anneau) [2];
 - de nombreuses variations en forme et nombre du carpe existent mais elles sont relativement rares. Ainsi, tous les os du carpe présentent des variations bipartites et quasiment tous des variantes de fusion entre eux;
- pour les métacarpes :
 - leur numérotation de I à V en commençant du pouce,
 - leur forme générale avec une base, un corps et une tête. Ils sont globalement concaves ventralement,
 - le métacarpien I est le plus bref et le plus gros,
 - le métacarpien II est le plus long, c'est le métacarpien qui a le plus de rapports avec les os du carpe puisqu'il s'articule avec le trapèze, le trapézoïde et le capitatum,
 - le métacarpien IV est le plus fin,
 - leur ossification se fait par un centre d'ossification primaire au centre du corps. Le métacarpien I présente un centre d'ossification secondaire pour sa base, alors que les autres métacarpiens ont chacun un centre d'ossification secondaire pour leurs épiphyses distales.

Les noyaux primaires des métacarpes apparaissent vers le 2^e mois de vie. Le noyau de la base du métacarpe du pouce et ceux des têtes des autres métacarpes apparaissent dans la troisième année et fusionnent généralement avant la 20^e année;
- pour les phalanges :
 - leur nombre est de trois par doigt, sauf au pouce où il n'y en a que deux. Leur dénomination est : proximale (P1), moyenne (P2) et distale (P3). Pour le pouce : proximale (P1) et distale (P2),
 - leur ossification se fait par un centre d'ossification primaire au centre du corps pour le corps et la tête, et un centre d'ossification secondaire pour la base.

Les noyaux primaires des phalanges apparaissent vers le 2^e mois de vie (dans l'ordre distal, proximal puis moyen), les noyaux de la base des phalanges apparaissent entre la

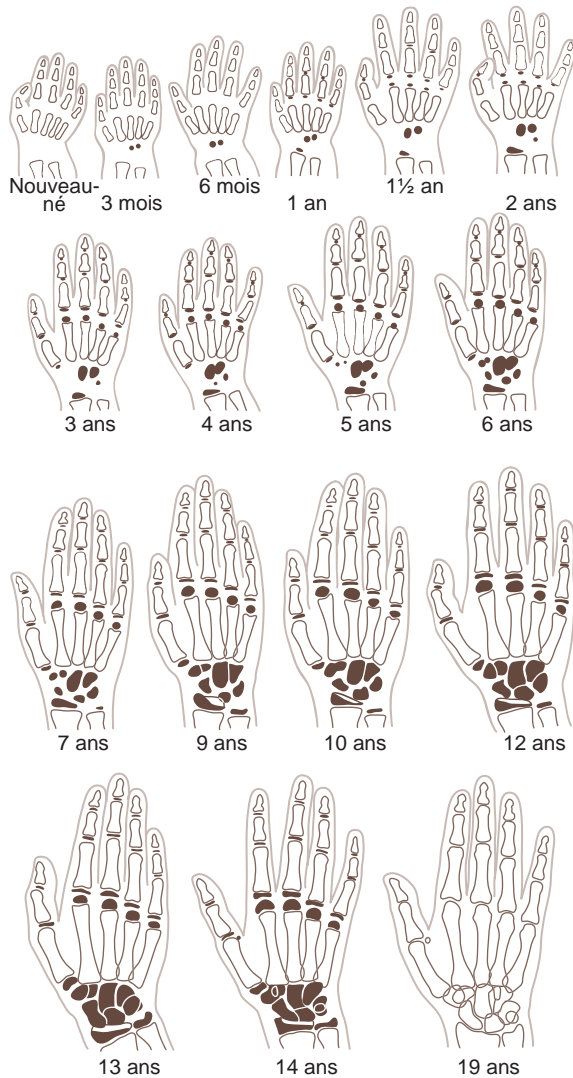


Fig. 6-1. Ossaification des os de la main et du poignet selon l'âge sans considération du sexe (d'après Greulich et Pyle, modifié par Schmid et Moll).

troisième et la cinquième année et fusionnent généralement entre 18 et 20 ans.

- les sésamoïdes : il en existe de nombreuses variantes au poignet (figure 6.2) et à la main (figure 6.3), ils apparaissent généralement vers l'âge de 13 ans. Les sésamoïdes de l'interligne métacarpo-phalangien du pouce sont les plus communs, on les retrouve chez 94 % de la population latéralement et 100 % médialement. On retrouve également fréquemment un sésamoïde à hauteur de l'articulation

interphalangienne distale du pouce (70 %), à la tête du 5^e métacarpien (80 %), à la tête du 2^e métacarpien (50 %); toutes les autres variations ont moins de 3 % d'occurrence.

L'exploration de la main et du poignet en imagerie peut se faire selon plusieurs modalités. La radiographie standard en sera toujours la première étape, mais le recours aux imageries complémentaires peut s'envisager précocement. Globalement, dans l'étude des parties molles (nerfs, tendons, muscles), l'IRM et l'échographie seront les plus

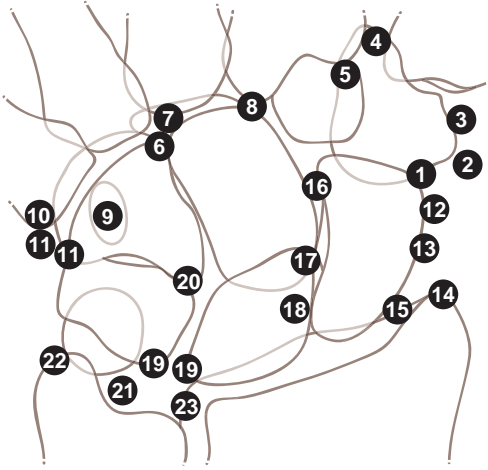


Fig. 6-2. Topographie possible des os accessoires du carpe et leur diagnostic différentiel (selon Zimmer, traduction selon Matthew).

1. Os épitrapèze. 2. Calcification (de la bourse ou du muscle fléchisseur radial du carpe). 3. Os paratrapèze. 4. Os trapèze secondaire. 5. Os trapézoïde secondaire. 6. Os styloïdien*. 7. Osselet de Gruberi. 8. Os capitulum secondaire. 9. Os hamuli proprium. 10. Os vesalianum. 11. Os ulnaire latéral (calcification de la bourse ou du tendon). 12. Os radial latéral*. 13. Avulsion osseuse. 14. Noyau d'ossification résiduel de la styloïde radiale. 15. Os parascaphoïde. 16. Os central du carpe* (au pôle médio-caudal du scaphoïde). 17. Os hypolunatum. 18. Os épilunatum; 19. Os accessoire entre l'os lunatum et l'os triquetrum. 20. Os épipyramiforme. 21. Os triangulaire*. 22. Noyau d'ossification résiduel de la styloïde ulnaire. 23. Osselet dans l'articulation radio-ulnaire distale.
* : les plus fréquents.

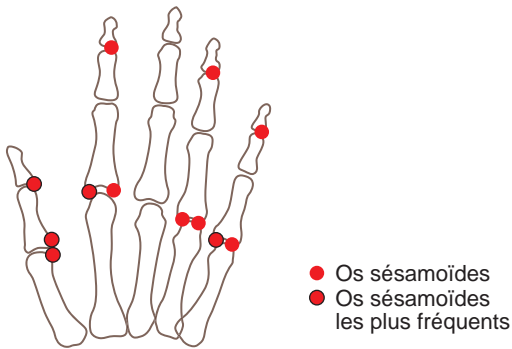


Fig. 6-3. Topographie possible des os sésamoïdes de la main.

sensibles. L'échographie présente l'avantage de pouvoir observer les structures en mouvement. La cavité articulaire peut s'analyser en IRM et en arthrographie, voire en arthroscanner. Pour ce qui est de l'étude ostéo-articulaire, quand la radiogra-

phie standard ne suffit pas, elle peut être complétée d'un scanner. Dans la recherche d'algodystrophie ou de fracture de fatigue, la scintigraphie est indiquée.

Indications générales

La radiographie standard est de bonne sensibilité dans l'étude ostéo-articulaire de la main et du poignet, notamment en traumatologie et rhumatologie.

Le poignet en incidence de face

Indications spécifiques

Cette incidence est toujours complétée par l'incidence de poignet de profil. Elles forment les deux incidences de base indissociables et indispensables dans l'étude de la zone, même si parfois, elles ne font qu'inaugurer le bilan.

L'incidence de face est notamment utile dans la traumatologie de la zone (recherche de fracture, luxation...) et en rhumatologie (arthrose, arthrite, etc.).

En traumatologie

Cette incidence permet de voir la partie distale du radius et de l'ulna ainsi que les os du carpe et les métacarpes de face [3].

En rhumatologie

L'incidence de poignet/main bilatérale de face fait partie du bilan de suivi dans les polyarthrites rhumatoïdes (avec les incidences des pieds de face et les incidences spécifiques répondant à la symptomatologie). Ces incidences sont usuellement réalisées tous les 6 mois pendant l'année qui suit le diagnostic puis une fois l'an pendant les 3 à 5 ans qui suivent puis de façon plus espacée.

Dans les autres arthropathies inflammatoires, la radiographie standard est indiquée en cas de modification de la symptomatologie ou pour des impératifs thérapeutiques.

Réalisation

Le patient est assis, il pose la main et l'avant-bras à plat, face palmaire contre la plaque radiographique. La main, le coude et l'épaule doivent être dans le même plan horizontal et l'index dans l'axe de l'avant-bras.

Radio-anatomie (figure 6.4)



Fig. 6-4. Radio-anatomie de l'incidence de poignet de face.

1. Radius. 2. Ulna. 3. Scaphoïde. 4. Lunatum.
5. Triquetrum. 6. Pisiforme. 7. Hamatum. 8. Hamulus de l'hamatum. 9. Capitulatum. 10. Trapézoïde. 11. Trapèze. 12. 1^{er} métacarpien.

Critères de qualité

Alignement des axes du radius, du capitulum et du 3^e métacarpien.

Visualisation des interlignes radio-ulnaire distal, luno-triquétral et scapho-trapézoïdo-trapézien.

Éléments de l'analyse

Les structures osseuses sont à examiner minutieusement. La superposition des os du carpe peut

masquer un certain nombre de fractures et luxations. Certains index sont utiles :

- l'index radio-ulnaire (différence de hauteur entre la surface articulaire carpienne de l'ulna et la surface articulaire carpienne du radius) est de 0,8 mm ($\pm 1,2$ mm), généralement le radius est plus bas que l'ulna ;
- la pente radiale (angle formé par la surface articulaire carpienne du radius et l'axe transversal) est de 16 à 28° ;
- la hauteur radiale (distance entre le plan transversal passant par le point le plus proximal de la surface articulaire carpienne du radius et le plan transversal passant par le point le plus distal de la surface articulaire carpienne du radius) est de 8 à 10 mm.

Les rapports osseux sont parfois d'analyse plus aisée ;

- les trois arcs de Gilula : 1. la corticale supérieure des trois os de la rangée proximale du carpe ; 2. la corticale inférieure des trois os de la rangée proximale du carpe ; 3. le rebord supérieur du capitulum et de l'hamatum. Ces trois lignes doivent être régulières et continues, leur rupture signe une instabilité du carpe (figure 6.5) ;
- les interlignes carpiens doivent être d'épaisseurs identiques et ne pas dépasser 2 mm, un interligne scapho-lunaire de plus de 2 mm signe une luxation scapho-lunaire.

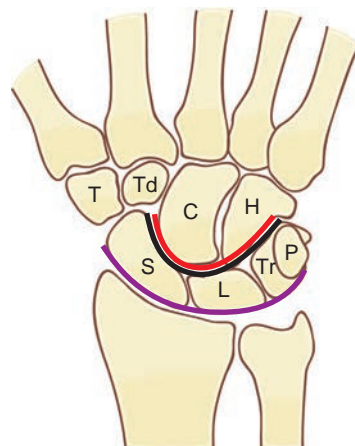


Fig. 6-5. Représentation des arcs de Gilula.

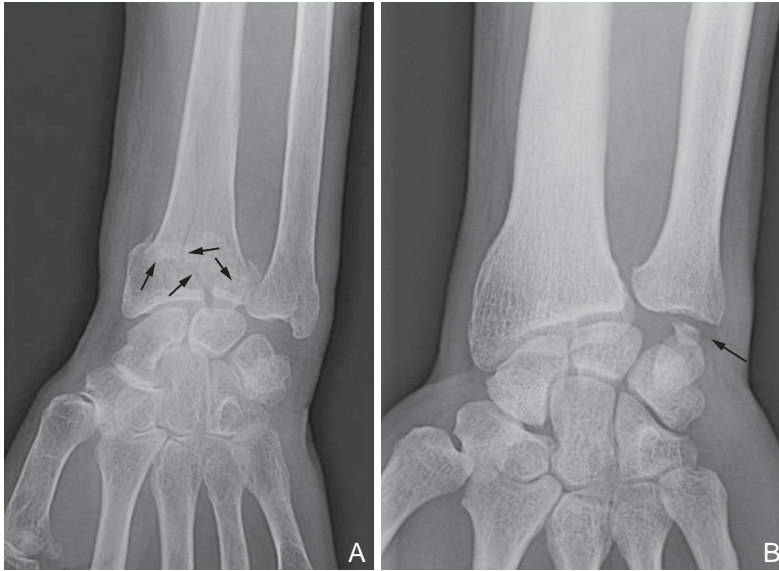


Fig. 6-6. Radiographie de poignet de face
A. Mise en évidence d'une fracture du radius. **B.** Mise en évidence d'une fracture de la styloïde ulnaire.

- Tm : Triquétrum ; Td : Trapézoïde ; C : Capitulatum ; H : Hamatum ; S : Scaphoïde ; L : Lunatum ; Tr : Trapèze ; P : Pisiforme.

Notions de pathologie

Les entités les plus fréquemment rencontrées en traumatologie sont :

- les fractures de l'extrémité distale du radius et de l'ulna (figure 6.6a) ;
- les fractures du scaphoïde, celles-ci seront toujours explorées par les incidences de Schreck ;
- les fractures par avulsion de la styloïde ulnaire (figure 6.6b) ;
- les luxations rétro-lunaires (figure 6.7).

Les entités les plus fréquemment rencontrées en rhumatologie sont :

- la rhizarthrose (figure 6.8a) ;
- les lésions de polyarthrite rhumatoïde (figure 6.8b).

On note principalement la brisure des arcs de Gilula et les rapports anormaux du lunatum. Voir profil : figure 6.11.



Fig. 6-7. Radiographie de poignet de face montrant une luxation rétro-lunaire.

Le poignet en incidence de profil

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence est indissociable de l'incidence de face, elle apporte des éléments sur la statique frontale des os du poignet et du carpe.



Fig. 6-8.A. Radiographie du poignet de face. Mise en évidence d'une rhizarthrose.



Fig. 6-8.B. Radiographie du poignet de face. Mise en évidence des lésions de polyarthrite rhumatoïde.
Source : Runge M. Radiologie de l'appareil locomoteur, 3^e édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2011.

En rhumatologie

Cette incidence est souvent moins contributive que la face du fait des superpositions osseuses.

Réalisation

La position est la même que pour la réalisation d'une radiographie de coude de profil. Le centrage est fait sur la tabatière anatomique. Le but est de superposer les deux os de l'avant-bras.

Radio-anatomie (figure 6.9)

Critères de qualité

Superposition parfaite des extrémités distales du radius et de l'ulna.

Alignement de l'axe longitudinal du radius, du capitatum et du 3^e métacarpien.

Éléments de l'analyse

L'étude des axes osseux est un élément important :

- l'axe longitudinal du scaphoïde et du lunatum forme un angle compris entre 30 et 70° (angle scapho-lunaire) ;
- un angle scapho-lunaire à moins de 30° signe une instabilité du carpe en VISI³⁹ ;
- un angle scapho-lunaire à plus de 70° signe une instabilité du carpe en DISI⁴⁰ ;

Notions de pathologie

En traumatologie, l'incidence de profil permet notamment de mettre en évidence les déplacements dorso-ventraux des fragments osseux. La fracture la plus fréquente de l'extrémité distale de l'avant-bras est la fracture de Pouteau-Colles, le déplacement est alors postérieur, l'ulna est intacte (figure 6.10a). Les fractures en déplacement antérieur sont plus rares. Ce sont les fractures de Goyrand-Smith, ou Pouteau-Colles inversée (figure 6.10b).

L'incidence de profil permet également d'argumenter dans les luxations du carpe : luxation rétro-lunaire par exemple (figure 6.11).

Le poignet en incidence de scaphoïde

Ces incidences sont également appelées « incidences de Schreck », plusieurs ont été décrites, les plus couramment utilisées en pratique sont les incidences de Schreck I et II [4].

³⁹ VISI : *volar intercalated segmental instability*.

⁴⁰ DISI : *dorsal intercalated segmental instability*.

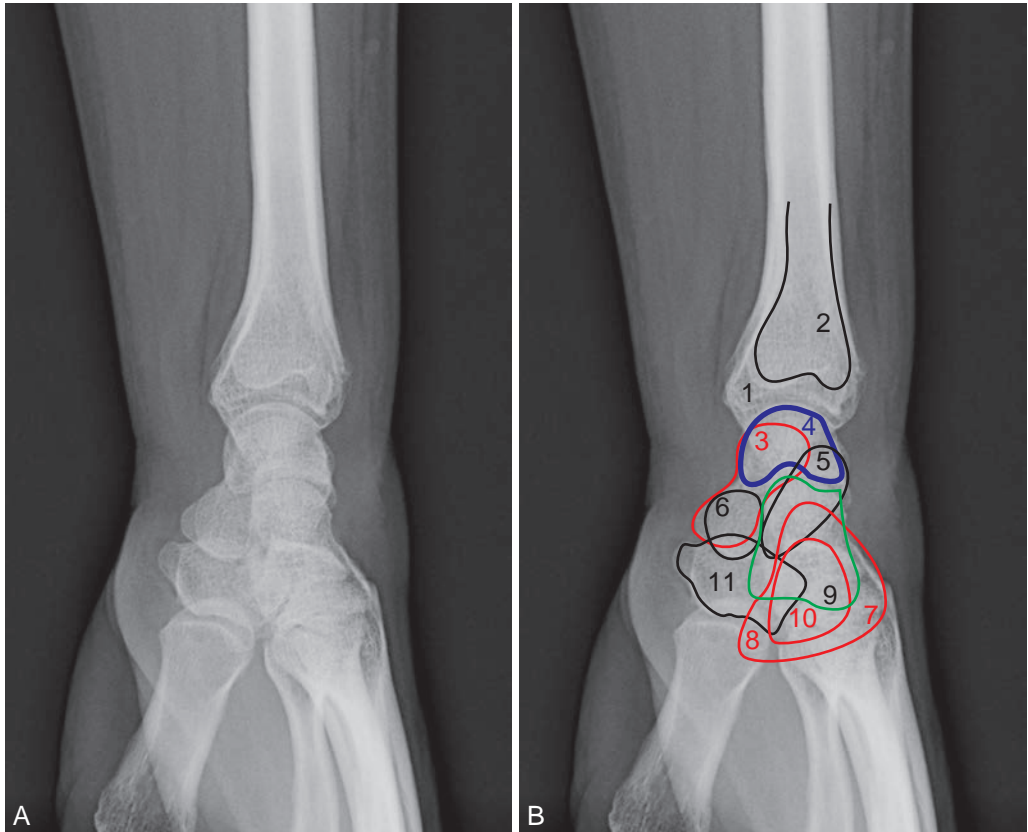


Fig. 6-9. Radio-anatomie de l'incidence de poignet de profil.

1. Radius. 2. Ulna. 3. Scaphoïde. 4. Lunatum. 5. Triquetrum. 6. Pisiforme. 7. Hamatum. 8. Hamulus de l'hamatum. 9. Capitulatum. 10. Trapézoïde. 11. Trapèze.

Indications spécifiques

Ces incidences permettent de dégager le scaphoïde sur la totalité de son contour, mais en plusieurs fois.

En traumatologie

C'est l'indication principale de l'incidence. En pratique, elles sont réalisées dès qu'un doute apparaît lors de l'examen clinique qui est de bonne sensibilité (de l'ordre de 80 %), mais peu spécifique (de l'ordre de 20 %). Les incidences de Schreck font alors partie, avec la face et le profil de poignet, des quatre incidences de base dans l'exploration de la zone.

Ces deux incidences ont un intérêt en post-traumatique dans le diagnostic de fracture, mais celui-ci peut être faussement rassurant si la fracture n'est pas déplacée (de l'ordre de 20 % de faux négatifs).

Il est utile dans ce cadre d'avoir recours à des investigations complémentaires comme l'IRM ou de réaliser les mêmes clichés à distance du traumatisme pour observer secondairement les processus de consolidation et faire le diagnostic de fracture *a posteriori*.

L'incidence est également réalisée à distance d'un traumatisme. Dans les cas de douleur résiduelle pour vérifier la bonne consolidation des structures, du fait de sa vascularisation, il n'est pas rare que l'os nécrose partiellement ou qu'il soit le terrain d'une pseudarthrose.

Réalisation

Le patient est assis, la main posée sur la table de radio paume vers le bas.



Fig. 6-10. Radiographie du poignet de profil montrant : une fracture de Pouteau-Colles (A); une fracture de Goyrand-Smith (B).



Fig. 6-11. Radiographie de poignet de profil montrant une luxation rétro-lunaire.

- Schreck I : le poing est à moitié fermé, pouce et index en pince. Le poignet est en inclinaison cubitale forcée.

- Schreck II : la main est en position d'écriture. Le pouce et l'index sont en pince, le poignet repose sur le bord cubital en semi-supination.

Radio-anatomie (figure 6.12)

Critères de qualité

- Schreck I :
 - bonne visualisation du scaphoïde de face ;
 - son bord latéral ainsi que ses pôles crânial et caudal sont dégagés sans superposition.
- Schreck II :
 - le corps du scaphoïde est vu de façon déroulée ;
 - le bord médial du scaphoïde tend à se libérer de la superposition avec le capitatum.

Éléments de l'analyse

- Schreck I :
 - le scaphoïde est vu de face et permet une analyse de la corticale de son bord latéral ainsi que de ses pôles crânial et caudal ;

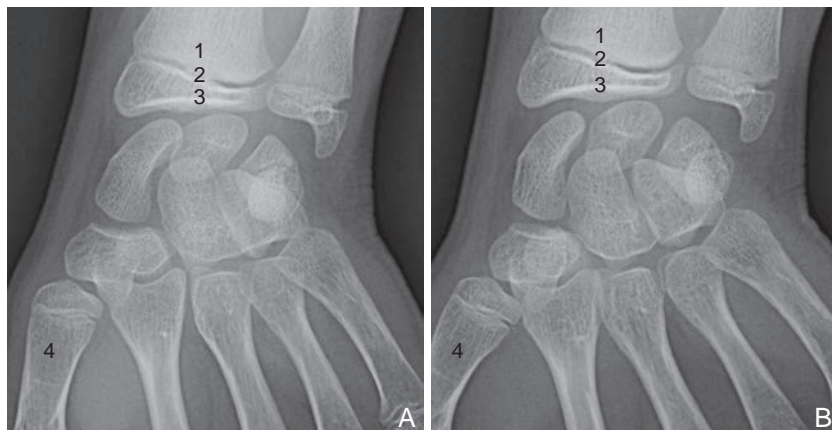


Fig. 6-12. Radio-anatomie des incidences de Schreck I (A) et II (B).

1. Métaphyse radiale. 2. Physe radiale. 3. Épiphysse radiale. 4. 1^{er} métacarpien.



Fig. 6-13. Radiographie de poignet en incidence de Schreck I et II montrant : une fracture du scaphoïde (A); une pseudarthrose du scaphoïde (B).

- l'interligne scapho-trapézien est vu de face ;
- le tubercule du scaphoïde est vu de face.
- Schreck II :
 - la corticale du bord médial du scaphoïde s'analyse mieux ici ;
 - le tubercule du scaphoïde est vu de profil.

Dans les cas de fracture du scaphoïde, la solution de continuité passe souvent inaperçue en radiologie standard en post-traumatique immédiat. Le diagnostic oblige souvent une nouvelle radiographie de contrôle à une semaine d'inter-

valle puis éventuellement une scintigraphie osseuse, un scanner, voire une IRM [5].

Notions de pathologie

La fracture du scaphoïde est la fracture la plus courante du carpe. La prévalence de fracture dans les cas cliniquement suspectés de fracture de scaphoïde est de moins de 50 %. La sensibilité de la radiographie dans le diagnostic de fracture varie de 60 à 80 % (figure 6.13) [6].

La main en incidence de face

Indications spécifiques

Cette incidence permet d'analyser les interlignes des articulations interphalangiennes, de voir les phalanges et les métacarpiens de face. On visualise les os du carpe et les extrémités distales des os de l'avant-bras.

En rhumatologie

Voir [poignet de face](#), p. 61.

En traumatologie

Les incidences de face et de profil de main sont la première étape dans la recherche de fracture, entorse et luxation de la zone. Le bilan comprend au minimum une incidence de face et de profil; en cas de difficulté, des incidences localisées des doigts peuvent être utiles. Il est exceptionnel qu'un complément soit nécessaire par d'autres techniques d'imagerie.

Réalisation

Le patient pose la face palmaire de la main à plat sur la plaque et l'avant-bras sur la table. L'incidence est réalisée de façon bilatérale lorsqu'elle est réalisée dans un bilan de pathologie rhumatismale.

Radio-anatomie (figure 6.14)

Critères de qualité

On visualise les os de la main et la partie distale du radius et de l'ulna.

Les articulations interphalangiennes apparaissent bien dégagées.

Éléments de l'analyse/ images pièges

On analyse l'ensemble des constituants osseux de la main et du poignet. On analyse alors les articulations interphalangiennes et métacarpo-



Fig. 6-14. Radio-anatomie de l'incidence de main de face. **1.** Épiphise du 1^{er} métacarpien. **2.** Diaphyse du 1^{er} métacarpien. **3.** Épiphise de la phalange proximale. **4.** Diaphyse de la phalange proximale. **5.** Épiphise de la phalange distale. **6.** Diaphyse de la phalange distale. **7.** Diaphyse du 2^e métacarpien. **8.** Épiphise du 2^e métacarpien. **9.** Phalange proximale du 2^e doigt. **10.** Phalange moyenne du 2^e doigt. **11.** Phalange distale du 2^e doigt.

phalangiennes. Les parties molles peuvent orienter, quand elles sont tuméfiées, vers la zone traumatique.

Notions de pathologie

En traumatologie

Les fractures des métacarpiens sont fréquentes. Elles peuvent s'associer à des luxations de la base. Ces fractures sont fréquemment le résultat de traumatismes directs en impaction (coup de poing...).

Les fractures du 1^{er} métacarpien sont dominées par les fractures de Rolando – fracture non articulaire de la base du métacarpien – et les fractures de Bennet – fracture articulaire et luxation de la base du métacarpien (figure 6.15a).

Les autres métacarpiens se fracturent moins constamment à la base au détriment de la diaphyse ou du col. La topographie prédomine alors au 5^e métacarpien (figure 6.15b).

Les fractures de phalanges sont généralement le résultat de traumatismes directs. Elles peuvent intéresser toutes les parties de l'os et peuvent concerner plusieurs rayons simultanément. Ces fractures peuvent être une complication de luxation.

En rhumatologie

Les entités cliniques les plus fréquemment retrouvées ici sont l'arthrose, dont la rhizarthrose et les polyarthrites chroniques évolutives périphériques, dominées par la polyarthrite rhumatoïde.

Les signes radiologiques de l'arthrose sont :

- un pincement de l'interligne articulaire (dû à la destruction cartilagineuse) ;
- une ostéosclérose sous-chondrale aux zones de contraintes ;

- une construction ostéophytique aux berges articulaires ;
- des géodes d'hyperpression (cavitations sous-chondrales au contenu liquidien ou fibreux).

La rhizarthrose intéresse l'articulation trapézo-métacarpienne. Elle peut aboutir à la subluxation latérale de la base du 1^{er} métacarpien et donner au premier rayon une forme de « Z » (figure 6.16a).

Les signes radiologiques de la polyarthrite rhumatoïde sont :

- une atteinte symétrique évoluant par poussée, simultanée aux pieds et aux mains ;
- une atteinte initiale aux bords des articulations métacarpo-phalangiennes (encoches péri-chondrales) puis au carpe ;
- l'atteinte évoluant vers la destruction articulaire voire l'ankylose déformante (figure 6.16b).

La main en incidence de 3/4

Cette incidence est indissociable de l'incidence de face.

On ne réalise pas de profil strict de main, car la superposition osseuse rendrait l'interprétation impossible.

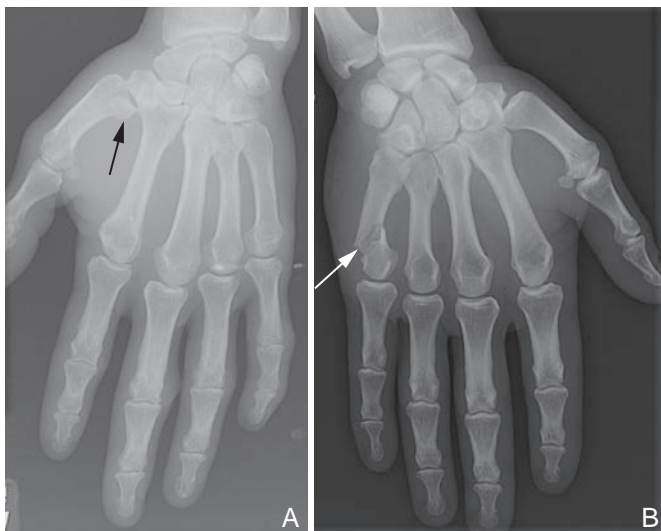


Fig. 6-15. Radiographie de main de face montrant : une fracture de Bennet (A) ; une fracture du 5^e métacarpien (B).



Fig. 6-16. Radiographie de main de face montrant : une rhizarthrose (A) ; une polyarthrite rhumatoïde (B).

Source : Runge M. Radiologie de l'appareil locomoteur, 3^e édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2011.

Indications spécifiques

L'incidence de main de 3/4 est par défaut l'incidence associée à la face. Nous n'obtenons effectivement pas d'incidence orthogonale stricte de

l'ensemble de la main. Par défaut, les incidences localisées de doigts peuvent faire office de complément.

Réalisation

Le patient présente la main, les doigts écartés selon un angle de 45°, bord ulnaire contre la plaque radiographique.

Radio-anatomie (figure 6.17)



Fig. 6-17. Radio-anatomie de l'incidence de main de 3/4.

1. Épiphyse du 1^{er} métacarpien. 2. Diaphyse du 1^{er} métacarpien. 3. Épiphyse de la phalange proximale.
4. Diaphyse de la phalange proximale. 5. Épiphyse de la phalange distale. 6. Diaphyse de la phalange distale.
7. Diaphyse du 2^e métacarpien. 8. Épiphyse du 2^e métacarpien. 9. Phalange proximale du 2^e doigt.
10. Phalange moyenne du 2^e doigt. 11. Phalange distale du 2^e doigt

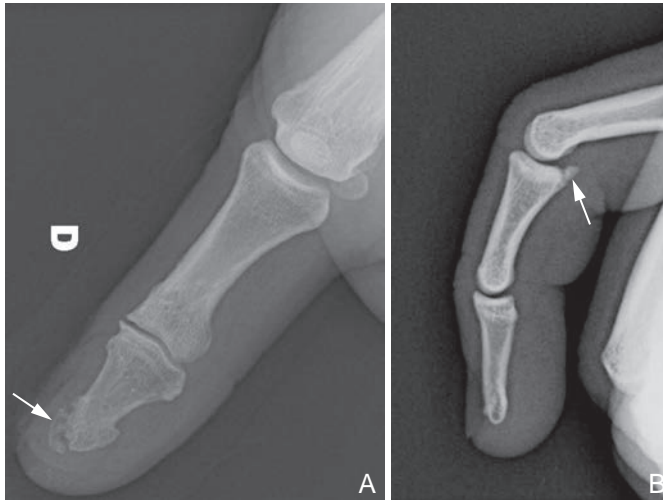


Fig. 6-18. Radiographies de doigts montrant : une fracture par écrasement (A); une fracture par avulsion (B).

Critères de qualité

Les critères de qualité ne sont pas stricts, l'incidence doit permettre de dégager au mieux les phalanges et métacarpes tout en offrant une vue oblique de ceux-ci.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

Voir p. 69.

Les incidences de doigts

Ce sont des incidences de complément à la face et au 3/4 précédemment évoqués.

Réalisation

Elle dépend du doigt étudié. Le patient présente le doigt étudié à plat, puis de profil, voire de 3/4.

Exemples pathologiques

Les phalanges peuvent être touchées par l'arthrose ou des rhumatismes. Les atteintes les plus fréquentes restent traumatiques.

Les atteintes traumatiques sont souvent le résultat de chocs directs en compression, moins souvent le résultat de tractions ligamentaires.

Le *rugby finger* (ou *jersey finger*) : dans les suites de traumatismes en hyperextension de l'interphalangienne distale (souvent le 4^e doigt). Fracture par avulsion distale du tendon du fléchisseur profond (figure 6.18).

Apport à l'ostéopathie

Les fractures, entorses et luxations avérées ou suspectées contre-indiquent formellement la prise en charge structurelle et la mobilisation du poignet et de la main.

Les atteintes inflammatoires et arthrosiques sont des contre-indications à la pratique structurelle en phase de poussée. Ce sont des contre-indications relatives en phase d'état, selon l'état de l'articulation.

La comparaison des incidences de poignet, notamment en incidence de Schreck (car ces incidences nécessitent une mobilisation du poignet), peut avoir un intérêt direct lors de la prise en charge ostéopathique. En effet, nous pouvons analyser ici le comportement cinétique des os du carpe. Si l'incidence est réalisée de façon comparative, alors elle peut contribuer au diagnostic spécifique ostéopathique en argumentant quant à une éventuelle asymétrie d'amplitude mécanique.

Fractures chez l'enfant

Chez l'enfant, l'os présente des caractéristiques anatomiques et mécaniques différentes de l'os adulte. De ce fait, les fractures de l'enfant sont différentes des fractures de l'adulte, on peut les classer selon cinq types [7] :

- les déformations plastiques. Ce sont des déformations amenant l'os à se courber sans se rompre (les traits de fractures microscopiques). Ces fractures intéressent principalement l'ulna, plus rarement la fibula ;
- les fractures en motte de beurre. Elles intéressent la zone de jonction diaphyso-métaphysaire du fait de la différence de densité entre ces deux zones. Ces fractures sont le résultat de forces de compression dans l'axe long de l'os, amenant la diaphyse (plus corticalisée) à s'impacter dans la métaphyse (plus poreuse) ;
- les fractures en bois vert. Ce sont des fractures résultant d'une contrainte semblable à celle de la fracture plastique mais s'aggravant de la rupture de la corticale sur la convexité. La faible densité de l'os dans la concavité y induit une compression, et la solution de continuité ne se propage donc pas à l'autre bord de l'os ;
- les fractures complètes. Comme chez l'adulte, ces fractures prennent des formes dépendantes des contraintes qui les ont produites. Ainsi on distinguera les fractures spiraloïdes, les fractures obliques et les fractures transversales. Et comme chez l'adulte, ces fractures peuvent détacher plusieurs fragments de l'os et donner des fractures en aile de papillon (deux traits de fracture convergent), ou des fractures multifocales (plus de deux traits de fracture), ou encore des fractures comminutives ;
- les fractures physaires. Ces fractures intéressent le cartilage de croissance et peuvent avoir un impact sur le potentiel de croissance de l'os. L'atteinte la plus fréquente [8] intéresse la physe radiale distale.

Ces fractures se classent, selon leur aspect radiologique, en cinq catégories selon la classification de Salter et Harris (figure 6.19) [9]. Cette classification rend compte du risque de complication (notamment sur la croissance ou la mécanique articulaire) suite à la fracture :

- type 1 : l'épiphyse se sépare de la métaphyse du fait du trait de fracture transversal qui passe par la zone cartilagineuse. Les changements radiologiques induits par cette fracture concernent principalement l'épaississement de la physe et, dans les cas plus graves, un éventuel glissement de l'épiphyse sur la métaphyse ;

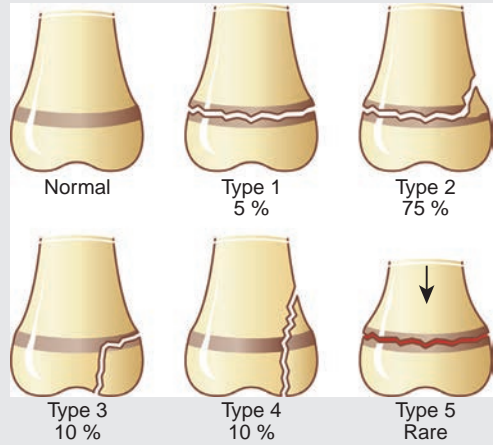


Fig. 6-19. Schématisation de la classification de Salter et Harris.

- type 2 : c'est le type le plus fréquent de fracture de Salter et Harris. Le trait de fracture passe à la fois par le cartilage et par la métaphyse.

Ces deux premiers types de fractures ont rarement de répercussion sur le potentiel de croissance de l'os. Cependant cela peut être le cas, notamment quand la vascularisation de l'épiphyse est interrompue ;

- type 3 : le trait de fracture passe par la métaphyse et la physe, la fracture est donc articulaire. La plupart du temps, ce type de fractures arrive sur un cartilage en cours de fermeture et, de ce fait, le retentissement sur la croissance est rarement majeur ;
 - type 4 : le trait de fracture passe par la métaphyse, la physe et l'épiphyse. Le risque de constitution de ponts osseux lors de la consolidation met en péril le potentiel de croissance résiduel ;
 - type 5 : c'est une fracture en compression dans l'axe long de l'os qui aboutit à un écrasement du cartilage de croissance de telle sorte que l'épiphyse entre en contact avec la métaphyse. Il en résulte un arrêt de la croissance osseuse. Le diagnostic radiologique en est souvent difficile et nécessite parfois une comparaison au cartilage homologue controlatéral.
- Les fractures de l'enfant consolident plus rapidement que les fractures de l'adulte et, de ce fait, nécessitent souvent une prise en charge plus rapide.

Références

- [1] Schmitt R, Lanz U. Diagnostic Imaging of the Hand. In : Thieme; 2007. p. 146.
- [2] Camus EJ, et al. Kinematics of the wrist using 2D and 3D analysis : biomechanical and clinical deductions. *Surg Radiol Anat* 2004; 26 : 399–410.
- [3] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 50.
- [4] Punter JM. Dictionnaire des termes de techniques de radiologie conventionnelle. Springer-Verlag; 2002. p. 274–7.
- [5] Bergh TH, et al. Clinical scaphoid score (CCS) to identify scaphoid fracture with MRI in patients with normal X-ray after a wrist trauma. *Emerg Med J* 2013, En cours de publication.
- [6] Blum A, et al. Le diagnostic des fractures récentes du scaphoïde : revue de littérature. *J Radiol* 2007; 88 : 741–59.
- [7] Green N, Swiontkowski MF. Skeletal trauma in children. 4th ed. Elsevier; 2008. p. 12–6.
- [8] Neer CS, Horwitz BZ. Fractures of the epiphyseal plate. *Clin Orthop* 1965; 41 : 24–32.
- [9] Salter RB, Harris WR. Injuries involving the epiphyseal plate. *J Bone Joint Surg Am* 1963; 45 : 587–622.

Chapitre 7

Imagerie du pelvis

Le bassin est constitué des deux os coxaux, du sacrum et du coccyx. Il s'articule en haut avec le rachis lombaire, en bas avec les deux fémurs.

Nous évoquons ici spécifiquement l'imagerie de la ceinture pelvienne et évoquerons celle de la hanche dans le chapitre 8. Cette dichotomie repose sur des considérations liées à la pratique radiologique.

Les rappels anatomiques intéressants en imagerie conventionnelle sont :

- pour l'os coxal :
 - sa constitution avec l'ilium (aile iliaque et partie crâniale de l'acétabulum), l'ischium (partie dorso-caudale de l'acétabulum, ischion et branche ischio-pubienne) et le pubis (partie ventrale de l'acétabulum, symphyse et branches ischio- et ilio-pubiennes),
 - sa forme en hélice, orientant l'aile iliaque dans un plan regardant médialement, crânialement et ventralement, et orientant le pourtour du foramen obturé dans un plan regardant latéralement, caudalement et ventralement. Le «pivot» entre ces deux plans s'organise autour d'un axe matérialisé par le centre de l'acétabulum. De ce fait, l'incidence qui dégage le mieux le foramen obturé (trois quarts obturateur) présente l'ilium en vue tangente. Inversement, la vue dégageant au mieux l'ilium (trois quarts alaïre) présente le foramen obturé en vue tangente,
 - l'acétabulum est orienté selon un plan regardant latéralement, ventralement et caudalement. De ce fait, sur l'incidence de bassin de face, le bord dorsal de l'acétabulum se projette plus latéralement que le bord ventral,
 - son ossification : à la naissance, l'os coxal est majoritairement ossifié. L'ossification se fait par trois points primitifs : un iliaque, un ischiatique et un pubien. Ces trois points sont séparés par des zones de cartilage de crois-

sance, les fusions se font dans les deux premières décennies. Cinq noyaux d'ossification secondaires apparaissent durant la puberté. Les plus courants sont visibles : aux crêtes iliaques, aux épines iliaques antérosupérieures (EIAS), aux tubérosités ischiatiques, aux symphyse pubiennes (principalement présentes chez la femme) et pour la pièce osseuse en «Y» au centre de l'acétabulum. Leurs fusions s'étendent de la 7^e à la 25^e année [1];

- pour le sacrum : son ossification initie l'ossification du bassin, elle débute vers 3 mois de vie intra-utérine à hauteur de S1. Elle se fait par 35 centres d'ossification primaires⁴¹. L'os n'acquiert sa configuration définitive que tardivement. Les ailes commencent à se former dans la deuxième année et fusionnent, tout comme les surfaces auriculaires, à partir de la puberté [2]. Les fusions entre les corps vertébraux commencent vers la fin de la deuxième décennie de vie [3]. La fusion des processus transverses commence par la partie caudale dans la 22^e année et se termine en S1-S2 plus tardivement, parfois dans la 4^e décennie de vie [4];
- pour la symphyse pubienne :
 - le fibrocartilage la constituant est radio-transparent. Son épaisseur est de l'ordre de quelques millimètres et s'élargit chez la femme enceinte,
 - les deux branches pubiennes en regard sont globalement à la même hauteur. Les variations

⁴¹ Cinq centres d'ossification par segment sacré : un primaire au corps, quatre centres secondaires, un à chaque plateau vertébral et un à chaque héli-arc neural. Les trois premières vertèbres sacrées ont chacune des paires de processus qui donneront les ailes et leurs extrémités développent chacune deux portions articulaires pour constituer la surface auriculaire.

- sont dépendantes de l'asymétrie des os ou d'une éventuelle différence de bascule,
- les surfaces articulaires ont des axes obliques vers caudal et dorsal, formant un angle de 60° avec la verticale,
- sa projection horizontale se retrouve généralement à hauteur du coccyx ;
- pour les articulations sacro-iliaques :
 - les surfaces auriculaires constituant ces articulations synoviales ellipsoïdes sont contenues dans un plan oblique regardant médialement et ventralement selon un angle de 30° avec le plan sagittal,
 - leurs surfaces articulaires ne sont pas planes et sont en rapports étroits ; en radiologie, l'interligne articulaire n'est donc pas parfaitement dégageable.

L'étude de la zone en imagerie peut intéresser toutes les spécialités.

L'algorithme à la base de l'orientation est dépendant de l'étiologie recherchée, du patient et des disponibilités du plateau technique.

L'échographie est, avec la radiographie standard, l'examen le plus accessible. Son coût est relativement faible. L'échographie permet une exploration efficace du contenu viscéral (exception faite du tractus digestif). Ses indications principales sont pour le système gynéco-urinaire.

Il a été démontré par échographie une corrélation significative, chez la femme enceinte, entre la largeur de la symphyse pubienne et les douleurs à cet endroit.

L'IRM permet une étude du contenu viscéral et du contenant pelvien avec une grande sensibilité pour les pathologies infectieuses et tumorales [5].

Le scanner est également très efficace dans l'étude du contenu et du contenant. Il peut parfois nécessiter l'opacification des cavités pelviennes pour en faciliter l'étude. C'est l'examen de référence pour l'étude fine des articulations sacro-iliaques. Le scanner est un excellent complément à l'imagerie standard en traumatologie (quand un doute diagnostique persiste ou en pré-chirurgical [6]).

La scintigraphie est principalement utile dans les bilans de maladies osseuses prolifératives (tumeurs, Paget, etc.). Elle peut également être

un complément dans les recherches de fractures passées inaperçues en radiographie standard.

Indications générales

La radiologie conventionnelle est de première intention dans l'étude ostéo-articulaire. Elle peut également être un support à l'étude de certains organes (comme l'utérus lors des hystéroglyphies, la vessie lors des cystographies rétrogrades ou des urographies intraveineuses).

Le bassin s'explore parfois uniquement selon l'incidence de face. Cette incidence trouve son intérêt dans l'étude globale osseuse, articulaire et posturale. Cette incidence sert souvent d'incidence de débrouillage et dirige alors vers une exploration délocalisée du bassin, de la hanche ou du rachis lombaire par exemple [7].

Les incidences de 3/4 sont utiles secondairement à l'étude osseuse ou de façon primaire dans l'étude du contenu viscéral dans certains cas d'examen avec opacification.

Le bassin en incidence de face

Indications spécifiques

Tout bilan radiologique standard du pelvis commence par cette radiographie.

En traumatologie

L'incidence de bassin de face, en traumatologie, est une incidence de « débrouillage ». Elle permet une vue d'ensemble. Elle permet un certain nombre de diagnostics mais est généralement complétée par des clichés localisés sur la zone d'intérêt (pourtour du foramen obturé, cotyle, hanche, sacrum, etc.).

En rhumatologie

La radiographie de bassin de face permet une visualisation comparative et simultanée des deux sacro-iliaques. L'incidence est recommandée dans le bilan et le suivi des arthrites inflammatoires du bassin [8].

En orthopédie

L'incidence de bassin de face donne une vision de l'équilibre pelvien de face. Elle ne présage cependant pas de l'exact positionnement des membres inférieurs et apporte une limite au diagnostic d'inégalité de longueur de jambes porté ici.

Cette incidence est utile dans le suivi des scolioses, et notamment pour la quantification du potentiel de croissance résiduel (test de Risser).

Douleurs mécaniques du bassin

Les clichés du bassin sont recommandés après 2 à 6 semaines d'évolution [8].

Réalisation

Le patient est en décubitus ou debout en fonction de l'indication et de la capacité du patient. Classiquement, dans un contexte orthopédique ou rhumatologique, la radiographie est réalisée debout pour observer la réponse osseuse, articulaire et posturale à la pesanteur. Dans un contexte traumatologique, la radiographie est réalisée en décubitus. Cela permet un meilleur contraste osseux (compression naturelle). Cela limite le risque de flou et augmente les chances de mettre en évidence les fractures non déplacées.

Les deux membres inférieurs sont en rotation médiale d'une vingtaine de degrés.

Le rayon directeur est horizontal (figure 7.1).

Radio-anatomie (figure 7.2)

Critères de qualité

Le bassin doit apparaître dans sa totalité.

L'image doit apparaître symétrique. L'axe du sacrum doit se projeter dans la continuité de la symphyse pubienne. Les ailes iliaques, les foramens obturés doivent apparaître symétriques par rapport à cet axe.

Les cols fémoraux doivent apparaître « déroulés ».

Les grands trochanters doivent être dégagés du fémur, et leurs grosses tubérosités se superposer. Les petits trochanters doivent affleurer au bord médial de la corticale métaphysaire.

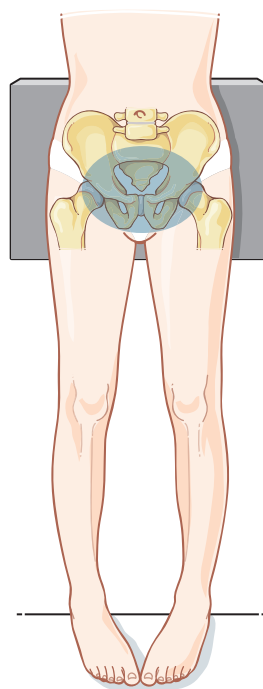


Fig. 7-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de bassin de face.

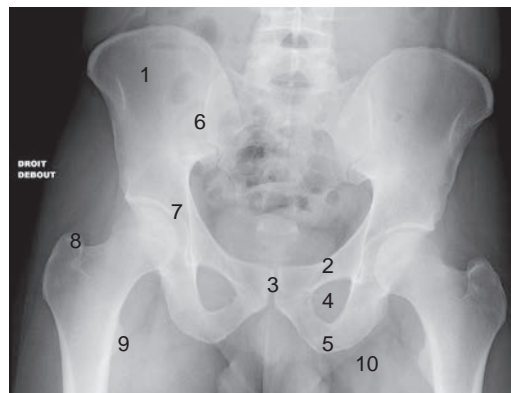


Fig. 7-2. Radio-anatomie de l'incidence de bassin de face.

1. Ilium droit. 2. Branche pubienne. 3. Symphyse pubienne.
4. Foramen obturé. 5. Ischium. 6. Articulation sacro-iliaque.
7. Acétabulum. 8. Grand trochanter. 9. Petit trochanter.
10. Plis cutanés.

Éléments de l'analyse/ images pièges

L'os s'analyse par la corticale et par la trame osseuse.

Certaines images peuvent constituer des pièges diagnostiques. Concernant les risques de diagnostic par excès, évoquons par exemple les zones cartilagineuses épiphysio-métaphysaires ou les projections induites par les tissus mous (plis cutanés ou gaz digestifs par exemple).

Les articulations à considérer ici sont les coxo-fémorales, les sacro-iliaques et la symphyse pubienne. On analyse les rapports osseux, les densités osseuses en regard et les espaces articulaires.

La statique pelvienne peut s'analyser si le patient est en position debout et si les conditions de bonne réalisation sont remplies.

Les mesures effectuées se basent sur la différence de longueur mesurée entre la base du cliché radiographique et deux points identiques à l'image, le haut de la tête fémorale par exemple (figure 7.3).

Dans le suivi des scolioses, le test de Risser permet de déterminer le potentiel de croissance restant et donc d'objectiver les risques d'aggravation de la scoliose. Le test de Risser se base sur le degré d'ossification de la crête iliaque. La crête se divise alors en quatre quarts. L'ossification débute de l'épine iliaque antérosupérieure⁴² et se propage vers l'épine iliaque postérosupérieure. Le liseré osseux de la crête fusionne à l'iliaque 2 à 3 ans après le début de l'ossification (figures 7.4 et 7.5) [9].

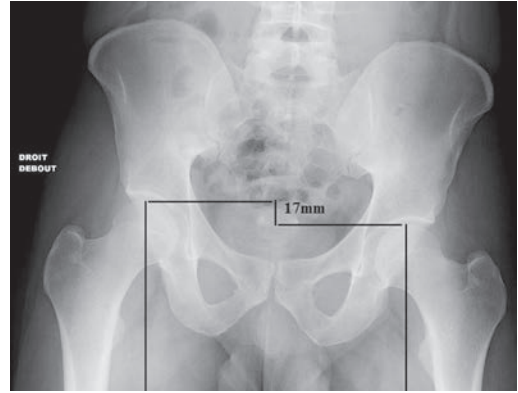


Fig. 7-3. Radiographie de bassin de face montrant une mesure de différence de longueur de membre inférieur.

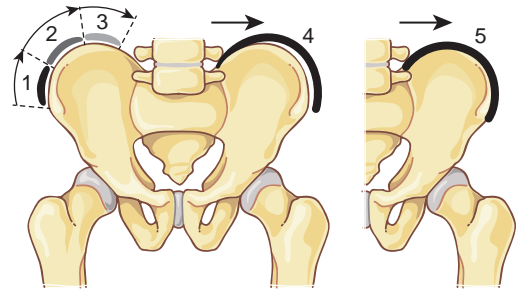


Fig. 7-4. Schématisation du test de Risser.

Au stade 0, l'ossification de la crête n'a pas commencé. Au stade 1, l'ossification intéresse le quart antérieur de la crête iliaque. Au stade 4, l'ossification intéresse la totalité de la crête iliaque, mais il n'y a pas de fusion avec le corps de l'ilium. Au stade 5, le liseré d'ossification est fusionné à l'ilium.

Notions de pathologie

En traumatologie

La suspicion de fracture de col fémoral est une indication à la réalisation de cette incidence en première intention ; les clichés localisés de hanche de profil (Arcelin ou Ducroquet), voire une TDM, sont envisageables en deuxième intention dans ce contexte.

Les fractures de l'iliaque sont relativement rares et surviennent souvent lors de traumatismes à haute énergie cinétique. On différencie alors les

fractures de l'anneau pelvien qui sont particulièrement graves et instables, des fractures ne mettant pas en jeu la stabilité de l'anneau.

En rhumatologie

Cette incidence peut apporter une suspicion d'atteinte sacro-iliaque, mais dans ce cas orientera vers les incidences spécifiques. Elle peut en revanche faire le diagnostic de coxarthrose, au même titre que les incidences de hanche de face. Les signes radiologiques (figure 7.6) sont alors :

- le pincement articulaire ;
- l'ostéosclérose ;
- l'ostéophytose ;
- l'apparition des géodes d'hyperpression.

⁴² Vers 13 ans et 6 mois d'âge osseux chez la fille ; vers 15 ans et 3 mois d'âge osseux chez le garçon.

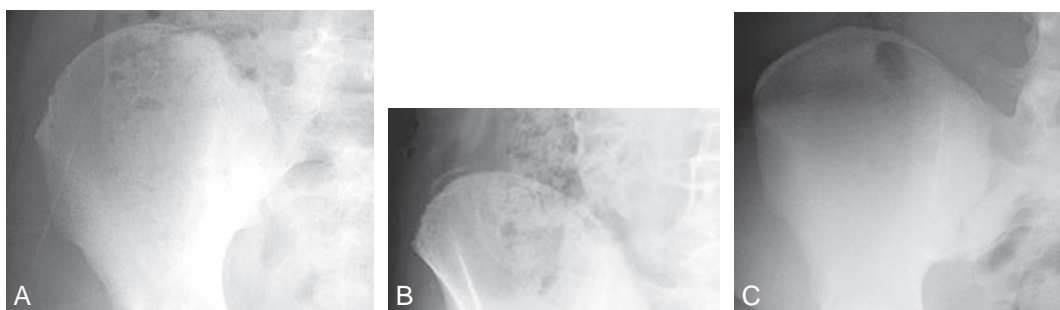


Fig. 7-5. Radiographies de bassin de face montrant différents stades selon la classification de Risser.
A. Risser 0 chez une fille de 10 ans. **B.** Risser 2 chez un garçon de 15 ans. **C.** Risser 4 chez un garçon de 16 ans.



Fig. 7-6. Radiographie de bassin de face montrant une coxarthrose.

Pincement articulaire, ostéosclérose sous-chondrale et ostéophytose à droite. Destruction articulaire à gauche.

La symphyse pubienne peut également présenter des signes d'atteinte arthrosique ou de chondrocalcinose avec l'apparition d'un liseré calcique dans la symphyse. Celui-ci est relativement fréquent et augmente avec l'âge (15–30 % de la population après 70 ans).

En orthopédie

Quatre-vingt-quinze pour cent de la population présentent une inégalité de longueur des membres inférieurs et de 10 à 14 % une inégalité de longueur

de jambe de 10 mm ou plus [10]. La marge d'erreur des mesures effectuées sur clichés est de 2 à 5 mm (elle est de 8 à 10 mm par mesure clinique).

● Remarque

La loi de Delpech relative à la croissance alternée des membres inférieurs explique la fréquence des diagnostics d'inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI) chez l'enfant.

Le bassin en incidence de 3/4 alaire

Cette incidence est également appelée 3/4 endopelvien ou incidence oblique interne.

Indications spécifiques

L'intérêt est ici d'apporter une vision étalée du foramen obturé et une vision tangente de l'aile iliaque. Ceci est principalement intéressant en traumatologie.

Réalisation

Le patient est en décubitus (rarement debout), membres inférieurs en extension.

Le patient est tourné à 45° sur le côté et maintenu dans cette position grâce à une cale.

On radiographie ici le côté reposant contre la table.

Schématisation des projections pelviennes lors des incidences de 3/4

Le 3/4 alaire et le 3/4 obturateur sont des incidences orthogonales. Lorsque la partie droite d'un pelvis est en vue alaire, sa partie gauche est en vue obturatrice (figure 7.7).

Critères de qualité

Les pourtours du foramen obturé sont totalement superposés.

Le cotyle est vu de profil.

L'iliaque est vu totalement étalé.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

Cette incidence est utile pour l'analyse osseuse qu'elle permet des différents constituants de l'iliaque, et pour l'étude de l'articulation sacro-iliaque et du cotyle.

Le côté opposé du bassin est vu en projection exopelvienne.

Le bassin en incidence de 3/4 obturateur

Cette incidence est également appelée 3/4 exopelvien ou incidence oblique externe.

Elle complète le 3/4 alaire dont elle est généralement indissociable.

Indications spécifiques

L'intérêt est ici d'apporter une vision étalée de l'aile iliaque et une vision tangente du foramen obturé. Ceci est principalement intéressant en traumatologie.

Réalisation

Le patient est en décubitus (rarement debout) membres inférieurs en extension.

Le patient est tourné à 45° sur le côté et maintenu dans cette position grâce à une cale.

On radiographie ici le côté décollé de la table.

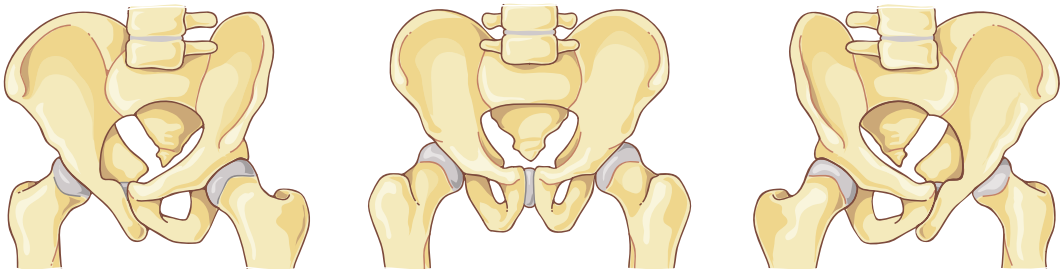


Fig. 7-7. Représentation volumétrique de pelvis en fonction de sa présentation.

Radio-anatomie (figure 7.8)

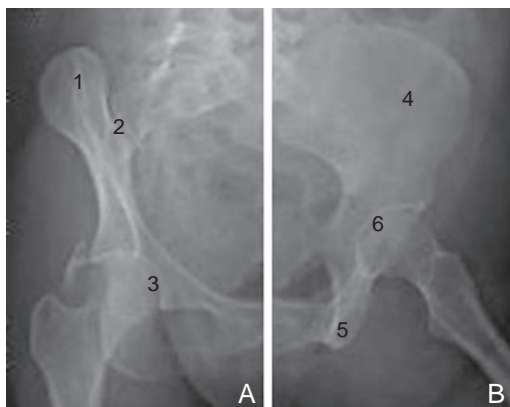


Fig. 7-8. Radio-anatomie de l'incidence de bassin en 3/4 obturateur (A) et en 3/4 alaire (B).

1. Crête iliaque droite. 2. Articulation sacro-iliaque droite.
3. Articulation coxo-fémorale droite. 4. Aile iliaque gauche.
5. Branche ilio-pubienne et ischio-pubienne superposées.
6. Articulation coxo-fémorale gauche.

Critères de qualité

Le pourtour du foramen obturé est totalement visible.

Le cotyle est vu « ouvert ».

L'iliaque est vue tangentiellement. L'épine iliaque antérosupérieure et l'épine iliaque postéro-supérieure sont superposées.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

L'incidence exopelvienne est le complément orthogonal de l'incidence endopelvienne. C'est à ce titre que les deux incidences sont indissociables en traumatologie.

Les fractures du pourtour du foramen obturé sont parmi les fractures les plus fréquentes du bassin. Elles arrivent principalement chez le sujet âgé, et même sur des traumatismes minimes. Leur diagnostic radiologique est souvent difficile, car elles sont souvent peu déplacées et arrivent dans un contexte de déminéralisation avancée (figure 7.9).

Les articulations sacro-iliaques

Les articulations sacro-iliaques peuvent s'analyser sur l'incidence de 3/4 alaire. Cette incidence permet une étude symétrique et simultanée des articulations sacro-iliaques.

Indications spécifiques

L'indication unique à la réalisation de cette incidence est la visualisation de l'interligne articulaire en rhumatologie.

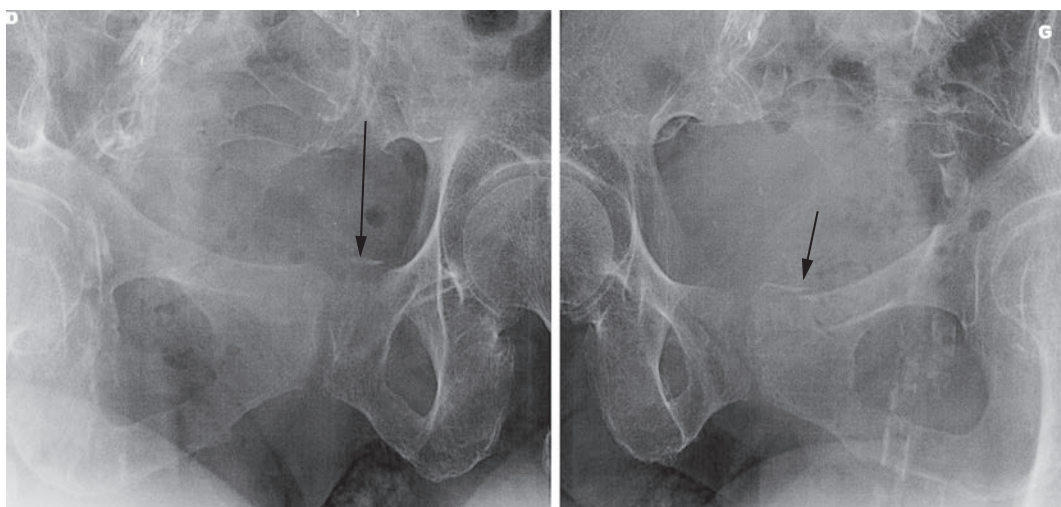


Fig. 7-9. Radiographie de bassin en 3/4 obturateur centrée sur le foramen obturé montrant une fracture de la branche pubienne.

Réalisation

Le patient est en procubitus.

Le rayon directeur est incliné crânialement de 15° (figure 7.10).

Radio-anatomie (figure 7.11)

Critères de qualité

Les deux espaces articulaires doivent être analysables.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

À l'état sain, une articulation sacro-iliaque n'est pas forcément parfaitement enfilée du fait de sa configuration. Cependant, on doit pouvoir distinguer ses bords et qualifier l'espace articulaire.

Les atteintes sacro-iliaques les plus fréquentes et ayant une traduction radiologique sont : l'arthrose et les sacro-iliites (infectieuses ou rhumatismales) [11].

L'arthrose sacro-iliaque est relativement fréquente chez l'adulte (de 10 à 80 %) [12]. Sa traduction radiologique est moins typique qu'aux membres. Elle se manifeste souvent par l'ostéosclérose chez la femme et par l'ostéophytose chez l'homme [13].

Les sacro-iliites de la spondylarthrite ankylosante sont parmi les plus communes. Leur aspect radiologique est ici bilatéral. Son évolution commence par un élargissement des berges articulaires. Celles-ci deviennent ensuite floues avant de s'éroder et de se densifier. Cette évolution va jusqu'à l'ankylose articulaire. Bien que l'atteinte de l'articulation soit relativement tardive dans l'évolution de la maladie (7 ans en moyenne après le début des symptômes), le signe radiologique de son atteinte est un des critères obligatoires à son diagnostic selon les critères de New York modifiés (figure 7.12) [14].

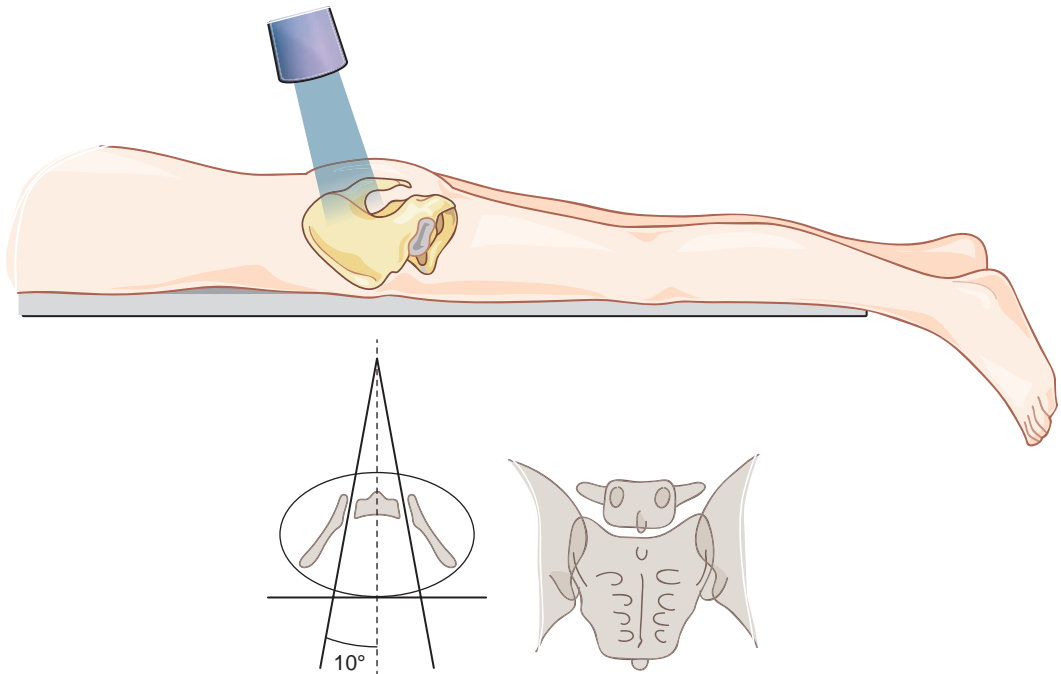


Fig. 7-10. Radiographie de bassin en 3/4 obturateur centrée sur le foramen obturé montrant une fracture de la branche pubienne.



Fig. 7-11. Radio-anatomie de l'incidence des articulations sacro-iliaques.
 1. Articulation sacro-iliaque droite. 2. Aile sacrée gauche.
 3. Branche pubienne.



Fig. 7-12. Radiographie des articulations sacro-iliaques montrant une sacro-iliite bilatérale (érosion et ostéosclérose à droite, ankylose à gauche).

Le sacrum et le coccyx en incidence de face et de profil

Le sacrum et le coccyx s'analysent sur les clichés de rachis lombaire et de bassin. Les incidences dédiées permettent cependant une meilleure analyse de la structure, car elles

apportent un meilleur dégagement et un meilleur contraste.

Indications spécifiques

En traumatologie

La sensibilité de la radiographie standard dans la recherche de fractures du sacrum et du coccyx n'est pas excellente. De plus, la prise en charge du patient n'est pas grandement influencée par le diagnostic posé en imagerie. L'utilité des clichés est de ce fait remise en cause [15, 16]. Les recommandations tendent néanmoins à orienter vers la radiographie dans les cas de traumatismes du sacrum mais pas dans les traumatismes isolés du coccyx [17].

Réalisation

- Incidence de face : le patient est en décubitus, le rayon directeur peut être incliné vers les pieds pour dégager le coccyx de sa superposition avec le pubis.
- Incidence de profil : le patient est en décubitus latéral strict.

Radio-anatomie (figure 7.13)

Critères de qualité

- Incidence de face : le sacrum doit bien apparaître de face et doit pouvoir s'analyser dans sa totalité, sans superposition osseuse.
- Incidence de profil : le sacrum doit apparaître de profil strict, sans dédoublement des murs antérieur et postérieur.

Éléments de l'analyse

Seul le cadre osseux est pris en compte ici.

On analyse la continuité des lignes radiologiques.

Sur l'incidence de face, la présence de gaz intestinaux peut compliquer l'interprétation du cliché, souvent le profil sera plus contributif.

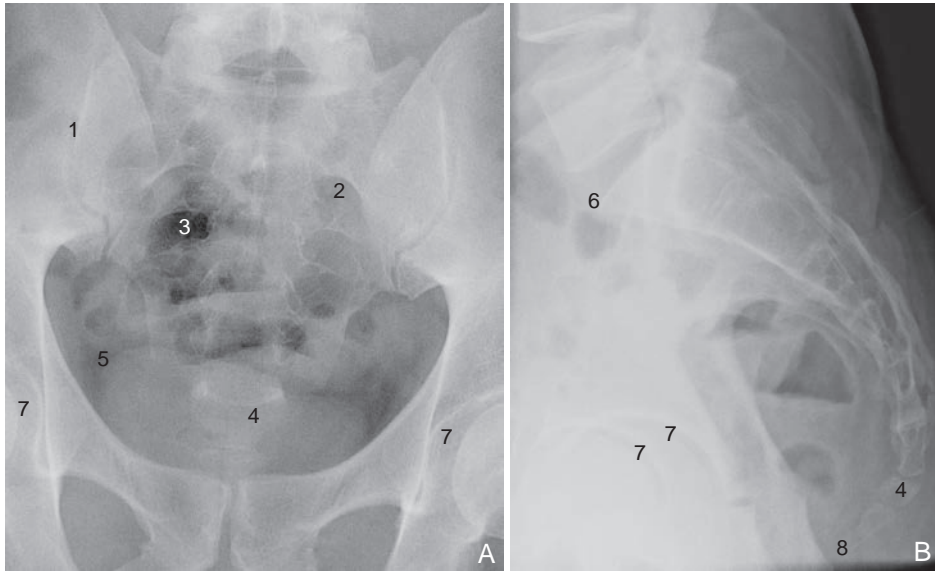


Fig. 7-13. Radio-anatomie des incidences de sacrum de face (A) et de profil (B).

1. Articulation sacro-iliaque droite. 2. 1^{er} foramen sacré gauche. 3. Gaz intestinal superposé au 2^e foramen sacré droit. 4. Articulation sacro-coccygienne. 5. Contours de la vessie. 6. Promontoire sacré. 7. Articulations coxo-fémorales. 8. Pointe du coccyx.

Notions de pathologie

Les fractures sacrées siègent préférentiellement dans la moitié inférieure de l'os. Les fractures hautes représentent de 3 à 5 % des fractures du sacrum et passent souvent inaperçues en radiographie standard (figure 7.14) [18].

Apport à l'ostéopathie

Les incidences de bassin peuvent être pourvoyeuses de contre-indications à la pratique ostéopathique :

- contre-indications absolues à la mobilisation de la zone : fractures, luxations fraîches, suspectées ou avérées ;
- contre-indications absolues aux manipulations structurelles du bassin : fractures, luxations ou chirurgie de moins de 90 jours de l'ilium, de 60 jours du cadre obturateur, de 30 jours du sacrum ;
- contre-indications relatives à la technique employée :
 - arthrose ou arthrite en poussée inflammatoire,

– arthrose, arthrite, Paget, etc., évoluées si elles fragilisent l'os ou si elles modifient la mécanique articulaire.

Certaines données de l'imagerie du bassin ont un intérêt particulier lors de la prise en charge globale du patient.

Rappelons tout d'abord que la bascule pelvienne mesurée sur le seul cliché de bassin de face debout (ou sur l'incidence de De Seize) ne présage pas de l'origine de celle-ci (anatomique ou fonctionnelle), et que l'inégalité de longueur de membres perçue ici peut être faussée par une position inadaptée du sujet.

Néanmoins, l'image apporte une vision de l'adaptation du pelvis aux membres inférieurs et des lombaires basses au pelvis.

Rappelons qu'il a été démontré une corrélation entre l'inégalité de longueur de membre et l'arthrose plus évoluée du côté « long » à la hanche et au genou. De même, il a été démontré une prévalence accrue de lombalgie quand il existe une différence de longueur de jambes [10].

Plusieurs études anthropologiques montrent une corrélation entre la forme du sacrum et la forme des surfaces articulaires sacro-iliaques, des études radio-cliniques mériteraient d'en quantifier l'intérêt en pratique clinique ostéopathique [19].

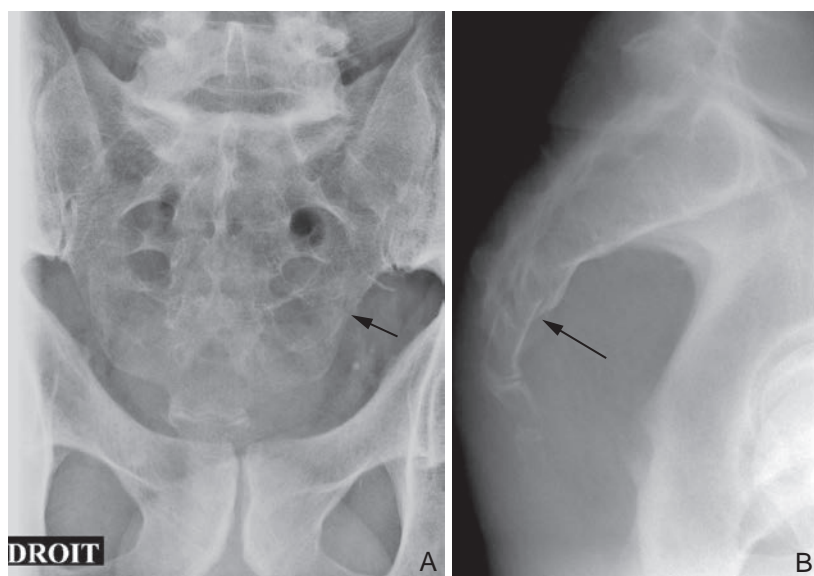


Fig. 7-14. Radiographies du sacrum de face (A) et de profil (B) montrant une fracture.

Références

- [1] Gray H. Anatomy of the human body. 20th. Lea & Febiger; 1918.
- [2] Esses SI, Botsford DJ, Huler RJ, Rauschnig W. Surgical anatomy of the sacrum : a guide for rational screw fixation. *Spine* 1991; 16 : 283–8.
- [3] Cheng JS, Song JK. Anatomy of the sacrum. *Neurosurgery Focus* 2003; 15 : 1–4.
- [4] Johnston FE. Sequence of epiphyseal union in a prehistoric Kentucky population, Indian Knoll. *Human Biology* 1961; 33 : 66–81.
- [5] Conseil des enseignants de radiologie en France (CERF). Indication des examens d'imagerie. CERF; 1997. p. 66.
- [6] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}. 2005, 2005. p. 59.*
- [7] HAS, service évaluation des actes professionnels. Indications de la radiographie du bassin. Rapport d'évaluation technologique. Paris : HAS; février 2008. p. 7–19.
- [8] Conseil des enseignants de radiologie en France (CERF). Indication des examens d'imagerie. CERF; 1997. p. 30.
- [9] Vital JM, et al. Étude de l'évolution radiologique des cartilages du bassin et de l'extrémité supérieure du fémur pendant la croissance. Application à la surveillance des scolioses. *Chir Pédiatr*, vol. 30; 1989. p. 103–8.
- [10] Pommerol P, et al. Étude bibliographique sur l'inégalité de longueur des membres inférieurs. *Kiné scientifique* 2003; 432 : 31–7.
- [11] Régent D, et al. Aspects radiologiques de la pathologie des articulations sacro-iliaques chez l'adulte. In : *FMC Rad. 1977; p. 1956–63.*
- [12] Jajic I, Jajic Z. The prevalence of osteoarthritis of the sacroiliac joints in a urban population. *Clin Rheumatol* 1987; 6 : 39–41.
- [13] Fafia CP, et al. Variation in the appearance of the normal sacroiliac joint on pelvic CT. *Clin Radiol* 1998; 53 : 742–6.
- [14] Van Der Linden S, et al. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis. A proposal for modification of the New York criteria. *Arthritis Rheum* 1984; 27(4) : 361–8.
- [15] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 60.*
- [16] Conseil des enseignants de radiologie en France (CERF). Indication des examens d'imagerie. CERF; 1997. p. 79.
- [17] HAS, service évaluation des actes professionnels. Indications et «non-indications» des radiographies du bassin et du thorax en cas de traumatismes,

- rapport d'évaluation technique. Paris : HAS; septembre 2009. p. 10.
- [18] Hessmann M, et al. Transverse sacral fracture with intrapelvic intrusion of the lumbosacral spine : case report and review of the literature. *J Trauma* 2000; 49(4) : 754-7.
- [19] Marc L, Matthew T. Variation de forme du sacrum : implications en clinique et en recherche. *La Revue de l'Ostéopathie* 2013, mars; 5-10.

Chapitre 8

Imagerie de la hanche et de la cuisse

Nous évoquerons ici le fémur et sa relation avec l'os coxal.

Le fémur est l'unique os de la cuisse, il s'agit de l'os le plus long du squelette humain dont il représente un quart de la hauteur. C'est également l'os le plus volumineux et le plus résistant. Son ossification se fait par un unique centre primaire dans la diaphyse et par quatre centres d'ossification secondaires : un pour chaque trochanter, un pour chaque épiphyse.

On lui décrit une épiphyse proximale, une diaphyse et une épiphyse distale.

L'épiphyse proximale comprend :

- la tête fémorale. Elle se présente comme les deux tiers d'une sphère de 25 mm de diamètre. Elle est encroûtée de cartilage répondant au cartilage de la surface semi-lunaire de l'acétabulum. Elle présente une dépression à son versant dorsal : la fovea capitis (zone d'insertion du ligament de la tête fémorale). La tête regarde en direction médiale, crâniale et ventrale.

Le noyau d'ossification (secondaire) de la tête apparaît à 6 mois de vie, il fusionne au col fémoral entre 12 et 16 ans.

Le système trabéculaire à ce niveau est toujours très visible en radiographie standard, il est le reflet des contraintes mécaniques exercées à ce niveau. On décrit un système trabéculaire principal (céphalo-diaphysaire et céphalo-cervical) et un système accessoire (trochantéro-diaphysaire et trochantérique);

- le col fémoral. Il est de forme cylindrique, légèrement aplati d'avant en arrière. Il continue l'axe de la tête fémorale, de façon à décrire avec le plan longitudinal un angle ouvert en direction ventrale et médiale. Cet angle « de déclinaison » est de 40° chez l'enfant et de 15° chez l'adulte.

Le col décrit avec l'axe de la diaphyse un angle ouvert en direction ventrale, médiale et caudale. Cet angle « d'inclinaison » est de 150° chez l'enfant et de 125° chez l'adulte.

La base du col donne insertion à la capsule de l'articulation coxo-fémorale;

- le grand trochanter. Tubérosité osseuse développée en direction crâniale selon le plan du col fémoral à la partie latérale de celui-ci. Il donne insertion à de nombreux muscles. Le centre d'ossification (secondaire) du grand trochanter apparaît vers 3–4 ans et se ferme entre 14 et 16 ans;
- le petit trochanter. Il s'agit d'une proéminence osseuse moins volumineuse, située sur le versant dorso-médial de la diaphyse, sous le niveau du grand trochanter. Son centre d'ossification (secondaire) apparaît entre 7 et 9 ans et fusionne à la diaphyse vers 16–17 ans. Il donne insertion au muscle psoas.

La diaphyse fémorale :

- elle est de section grossièrement triangulaire à la coupe avec une base ventrale. L'os compact à ce niveau est épais et la cavité (canal) médullaire s'étend sur toute la longueur de la diaphyse. L'ossification de la diaphyse se fait par un seul noyau (seul noyau primaire d'ossification de l'os), celui-ci apparaît à la 8^e semaine de vie intra-utérine, à la 16^e semaine de vie intra-utérine la totalité de la diaphyse est ossifiée [1];
 - la croissance de l'os se fait au niveau des zones physaires crâniale et caudale. On estime que 29 % de la croissance de l'os se fait au niveau crânial et 71 % au niveau caudal [2].
- L'épiphyse distale présente :

- les condyles fémoraux (latéral et médial), encroûtés de cartilage ;
- l'échancrure intercondylienne, cartilagineuse également. Sa face ventrale constitue la gouttière où glisse la patella. Cette gouttière se creuse au fur et à mesure de la croissance ;
- son noyau d'ossification apparaît au cours du 3^e trimestre de vie intra-utérine et fusionne entre 14 et 18 ans.

La partie de l'os coxal articulaire au fémur est l'acétabulum. L'acétabulum est une excavation sphéroïde et profonde. Son pourtour (à ses trois quarts supérieurs) est surmonté du limbus acétabulaire. Son fond est creusé de l'incisure acétabulaire (partie non cartilagineuse) ouverte caudalement. Les connaissances radio-anatomiques à posséder ici sont les dates d'apparition et de fusion de ses différents constituants osseux :

- le limbus se développe à la faveur du fibrocartilage au pourtour de l'acétabulum [3] ;
- l'acétabulum est la zone où se rencontrent les trois constituants principaux de l'os coxal (ilium, ischium et pubis), la fermeture des zones physiques à ce niveau intervient entre 11 et 15 ans ;
- les branches ischio- et ilio-pubiennes fusionnent vers 12–13 ans [4].

L'exploration de la hanche en imagerie fait la part belle à l'exploration conventionnelle. La radiographie standard sera effectivement souvent de première intention, notamment en traumatologie.

L'échographie sera notamment utile en orthopédie pédiatrique dans l'exploration des luxations congénitales, en agrément de l'examen clinique⁴³. Chez l'adulte, l'échographie trouve un intérêt dans les pathologies synoviales et musculo-ligamentaires mais est souvent détrônée dans ces dernières par l'IRM.

L'IRM est l'examen le plus sensible dans l'exploration d'atteinte de l'os trabéculaire (ostéonécroses de la tête fémorale, algodystrophie et fracture de fatigue en premier lieu).

L'utilité du scanner dans la zone vise souvent à spécifier un diagnostic non formel en radiographie standard (fracture de fatigue par exemple) ou

argumenter pour l'orientation thérapeutique (fractures compliquées, etc.).

La scintigraphie est plus précocement sensible que la radiographie simple dans le diagnostic de l'algodystrophie et de la fracture de fatigue [5].

L'exploration du fémur en imagerie s'initie pratiquement toujours par les incidences radiologiques de face et de profil. Les examens complémentaires prennent leur intérêt dans des cas particuliers.

L'échographie permet une analyse des structures musculaires de la cuisse (dans les recherches de déchirures notamment).

Le scanner sert en complément de la radiographie pour spécifier des fractures complexes. D'une façon générale, le scanner est mieux adapté dans l'exploration de l'os cortical.

L'IRM est l'examen complémentaire préféré pour l'étude de l'os spongieux, de la moelle osseuse et parfois des tissus mous.

La scintigraphie osseuse peut être pertinente dans l'étude de l'activité ostéoblastique du fémur, dans les cas de maladie de Paget par exemple [6].

Indications générales

Il existe relativement peu d'incidences dans l'étude de la hanche en radiologie standard. Cependant, elles sont généralement suffisantes pour l'analyse osseuse et articulaire.

On décrit généralement une incidence de face stricte et une incidence de face, rayon directeur ascendant, et trois incidences de profil (faux profil de Lequesne, profil urétral et profil d'Arcelin).

Le bilan radiologique standard est indiqué, de façon initiale, dans les cas de douleurs de hanche. Qu'elles soient post-traumatiques ou non. Il l'est également dans les cas de retentissements fonctionnels (boiterie), notamment chez l'enfant [7].

La hanche en incidence de face

Indications spécifiques

Cette incidence est l'incidence de base quel que soit le motif de l'exploration de la hanche. Elle est

⁴³ La radiographie devient plus sensible que l'échographie après le 4^e mois.

souvent associée à une radiographie du bassin de face dans sa globalité et également fréquemment associée à une incidence de profil (déterminée en fonction de l'indication).

Ses intérêts majeurs résident dans l'exploration, dans un contexte traumatique (recherche de fracture et de luxation), ainsi qu'en orthopédie (mesure des angles, des couvertures, etc.) et en rhumatologie (dans l'exploration du squelette vieillissant par exemple).

En traumatologie

La fracture du col fémoral intéresse principalement l'adulte au-delà de 60 ans et s'explique par la déminéralisation de l'os. L'incidence de face doit donc permettre une bonne visualisation de la trame osseuse. L'analyse des structures cherche à déterminer un éventuel déplacement des structures [8].

La luxation de hanche (postérosupérieure dans 75 % des cas) doit toujours faire rechercher des lésions osseuses associées (fracture de la tête fémorale ou du rebord cotyloïdien).

Dans ces deux cas, une incidence de profil sera obligatoire pour compléter l'analyse.

En rhumatologie

L'incidence permet de visualiser l'interligne articulaire coxo-fémoral. Elle trouve son intérêt dans l'exploration des processus dégénératifs (coxarthrose ou arthrite). Elle est également intéressante, mais souvent plus tardivement, pour certaines pathologies associées à la croissance de l'os comme l'épiphysiolyse de la hanche (déplacement non traumatique de la tête coulissant sur son cartilage de croissance sans fracture associée) ou l'ostéochondrite de hanche (nécrose ischémique de la tête fémorale chez l'enfant en croissance avant 8 ans).

En orthopédie

Dans la suspicion de dysplasie de hanche chez l'enfant, après 4 mois, la radiographie est plus performante que l'échographie. L'incidence réalisée est alors spécifique : incidence de Lauenstein (elle ressemble davantage à une incidence de bassin qu'à une incidence de hanche).

L'incidence permet de mesurer l'angle cervico-diaphysaire (normalement de 125°), l'angle de couverture latérale du toit du cotyle (normalement de 25°) et l'angle d'obliquité du toit du cotyle (normalement de 10°).

Réalisation

Le patient est couché (dans un contexte traumatique) ou debout (dans un bilan orthopédique ou rhumatologique). Il positionne le membre inférieur du côté examiné en rotation médiale.

● Remarque

Une variante de réalisation est possible en inclinant le tube en direction crâniale de 10°. Cela permet de dégager la partie cranio-ventrale de la tête fémorale (lieu fréquent des nécroses et des arthroses débutantes).

Radio-anatomie (figure 8.1)

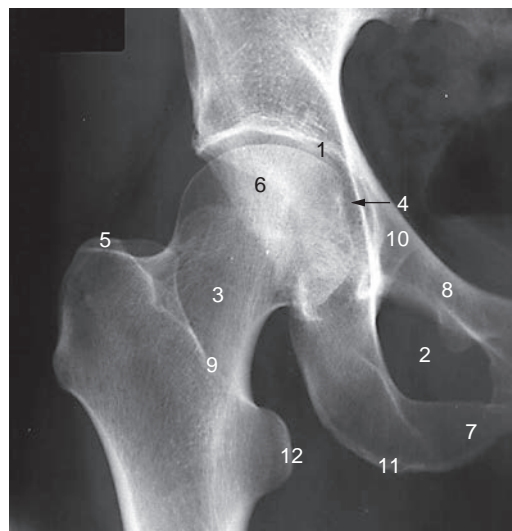


Fig. 8-1. Radio-anatomie de l'incidence de hanche de face.

1. Acétabulum. 2. Foramen obturé. 3. Col du fémur.
4. Fovéa de la tête fémorale. 5. Grand trochanter du fémur.
6. Tête du fémur. 7. Branche inférieure du pubis.
8. Branche supérieure du pubis. 9. Ligne intertrochantérique. 10. Épine ischiatique. 11. Tubérosité ischiatique. 12. Petit trochanter du fémur.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Critères de qualité

L'incidence est réussie si :

- le grand trochanter apparaît bien dégagé et ses deux tubercules superposés (cela signe une bonne rotation du membre inférieur);
- le col fémoral apparaît bien déroulé;
- le petit trochanter apparaît tangentiellement à la corticale médiale de la diaphyse.

Éléments de l'analyse

L'analyse peut débuter par le cadre osseux général et l'observation de la densité osseuse. La trame osseuse raréfiée ou un os globalement «clair» peuvent faire suspecter une déminéralisation. La notion de continuité des arches trabéculaires est importante en traumatologie et un défaut à ce niveau peut parfois être le seul signe évocateur d'une fracture.

Dans un deuxième temps, les rapports articulaires sont à apprécier (trophicité de l'interligne, intégrité du cintre cervico-obturateur).

Pour finir, l'intégrité osseuse (dans un contexte traumatique) doit s'analyser par toutes les lignes radio-construites.

La coxométrie peut être l'indication unique de la réalisation de cette incidence. Pour autant l'analyse des paramètres précédemment cités reste importante (figure 8.2).

Notions de pathologie/ images pièges

La coxa valga correspond à une ouverture de l'angle d'inclinaison de plus de 135° . La coxa vara correspond à une fermeture de l'angle d'inclinaison sous les 125° (figure 8.3).

L'épiphysiolyse ne montre initialement pas de déplacement, mais un élargissement et une irrégularité de la physe. Progressivement, l'épiphyse va glisser en direction caudale et dorsale jusqu'à un désaxement au retentissement fonctionnel majeur (figure 8.4).

L'ostéochondrite primitive de la hanche donne tardivement des signes radiologiques (figure 8.5) :

- à l'épiphyse :
 - image en coup d'ongle au bord cranio-latéral de la tête (=décollement sous-chondral),
 - condensation et fragmentation du noyau,
 - aplatissement épiphysaire;

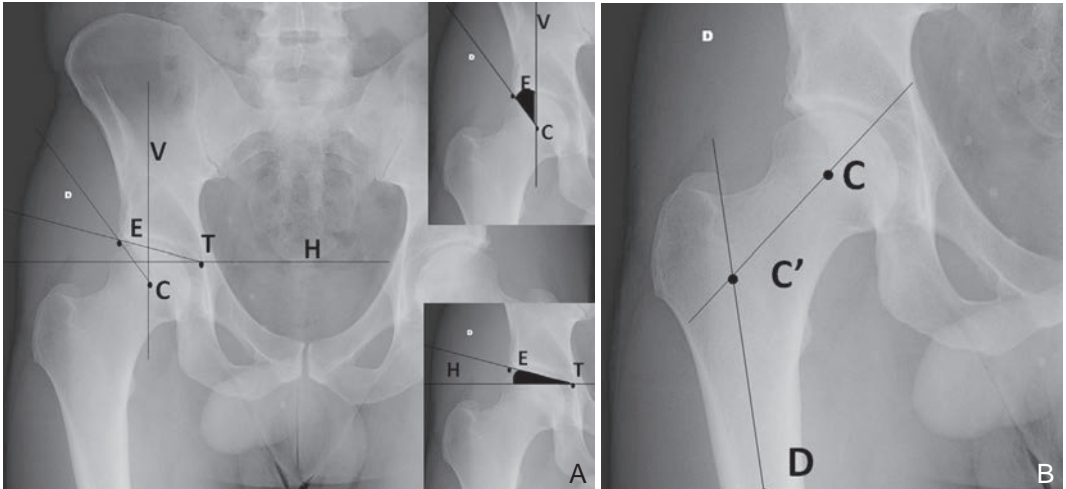


Fig. 8-2. Radiographies de hanche de face et ses mesures coxométriques.

C : centre de la tête fémorale; CC' : axe du col; DC' : axe de la diaphyse fémorale; T : point interne du fond du cotyle; E : point externe du toit du cotyle; H : ligne horizontale; V : ligne verticale.

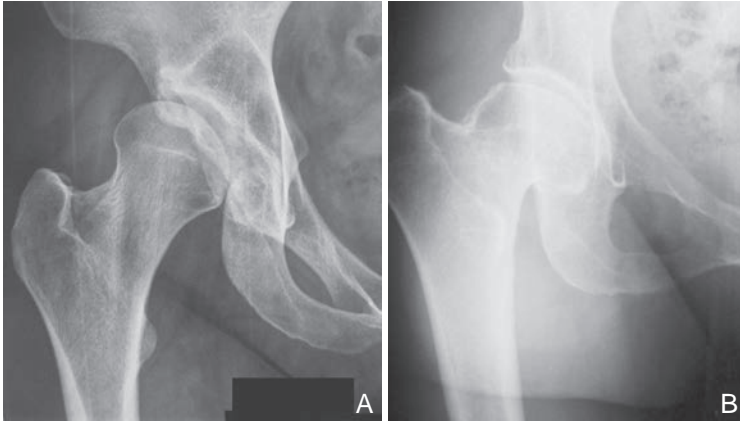


Fig. 8-3. Radiographie de hanche de face montrant : une coxa valga (A); une coxa vara (B).

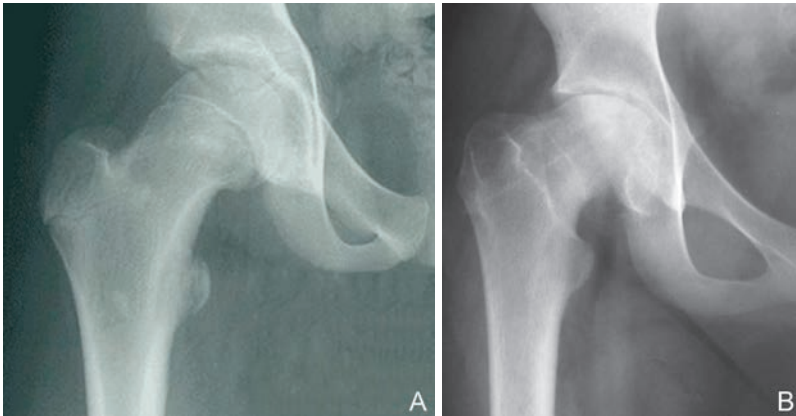


Fig. 8-4. Radiographie de hanche de face montrant : une épiphysiolyse débutante (A); une épiphysiolyse évoluée (B).

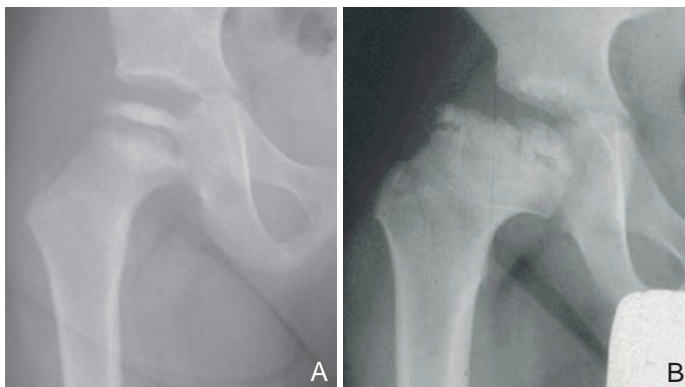


Fig. 8-5. Radiographie de hanche de face montrant : une ostéochondrite de hanche débutante (A); une ostéochondrite de hanche évoluée (B).

- à la physe :
 - épaissement,
 - perte de sa régularité;
- à la métaphyse :
 - élargissement,
 - ostéoporose;
- à l'interligne articulaire :
 - élargissement,
 - débord latéral de la tête fémorale induit par l'élargissement cartilagineux et la perte de sphéricité de la métaphyse.

La coxarthrose évolue progressivement (figure 8.6) et montre :

- le pincement articulaire (signe de l'usure cartilagineuse) le plus souvent au pôle supérieur;
- la condensation des berges articulaires aux zones d'hyperpression;
- les ostéophytes. Leur développement peut entraîner une ankylose articulaire;
- l'apparition des géodes, qui est généralement plus tardive.

Les fractures du col fémoral ne sont pas toujours de diagnostic évident. Une attention particulière doit être portée aux trabécules osseuses, à l'harmonie du cintre cervico-obturateur et, en cas de fracture avérée, à la localisation et au sens de déplacement des fragments (figure 8.7).

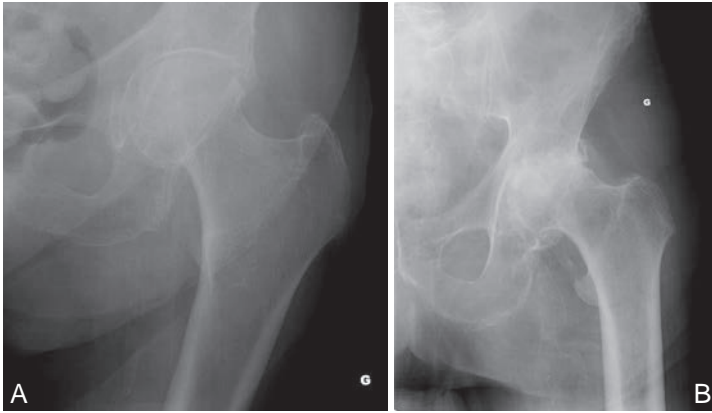


Fig. 8-6. Radiographie de hanche de face montrant : une coxarthrose débutante (A) et une coxarthrose évoluée (B).
A. Femme de 86 ans. À noter : le pincement articulaire et l'ostéosclérose. **B.** Femme de 95 ans. À noter : les géodes d'hyperpression, la déformation osseuse et l'ostéophytose.

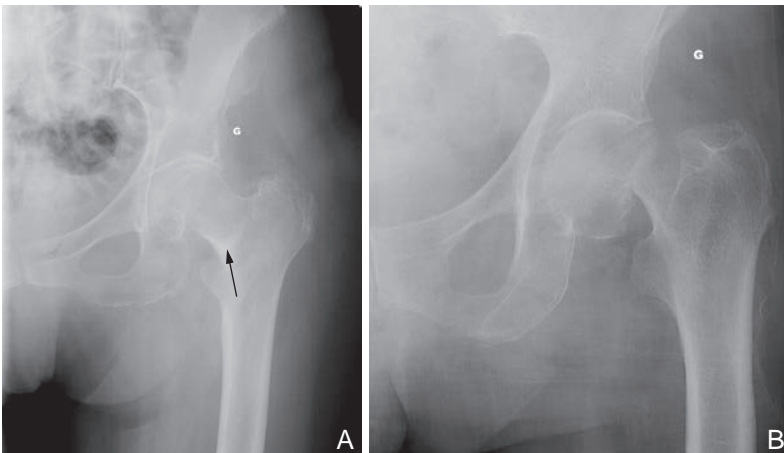


Fig. 8-7. Radiographie de hanche de face montrant : une fracture du col fémoral peu déplacée (A); une fracture du col fémoral déplacée en coxa valga (B).

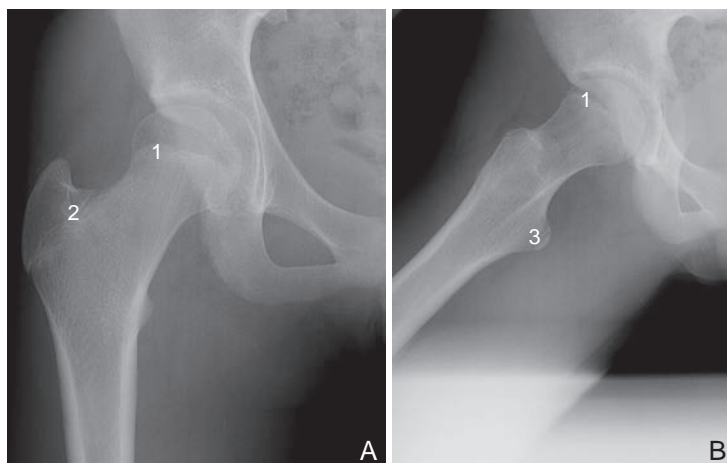


Fig. 8-8. Radiographie de hanche de face et de profil chez un enfant de 14 ans montrant les différentes zones physisaires.

1. Cartilage de la tête fémorale. 2. Cartilage du grand trochanter. 3. Cartilage du petit trochanter.

Chez l'enfant, avant les fusions métaphyso-épiphysaires, les physes peuvent, à tort, faire penser à des solutions de continuité (figure 8.8).

La hanche en faux profil de Lequesne

Il existe plusieurs incidences de profil de hanche. Le profil strict n'existe pas du fait de la superposition trop importante des structures droites et gauches. Toutes ont des indications spécifiques (en pré-chirurgical, traumatologie, etc.). L'incidence du faux profil de Lequesne est la plus réalisée. C'est celle que l'on retrouve généralement en pratique de cabinet.

Citons cependant l'incidence d'Arcelin et l'incidence de Ducroquet.

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence n'est classiquement pas utilisée en traumatologie (car réalisée en charge). On lui préférera, dans ce contexte, les incidences en décubitus.

En rhumatologie

L'incidence permet d'examiner l'interligne articulaire (le cartilage). Un élargissement peut signer une ostéochondrite ou un épanchement. Un rétrécissement peut se voir dans les arthroses ou les arthrites évoluées.

L'incidence permet également une analyse de la tête. Une perte de sphéricité isolée peut être le signe d'une nécrose ancienne ou encore d'une arthrite évoluée.

En orthopédie

L'incidence permet la mesure de l'angle de couverture antérieure de la tête. Normalement, cet angle est supérieur à 25°.

Réalisation

Le patient est obligatoirement debout. Il se présente de profil, côté exploré au contact du potter. Le pied du côté de la hanche radiographiée est donc parallèle à la plaque. Il tourne alors le pied du côté de la hanche non radiographiée de 90° latéralement et fait une rotation du bassin d'une trentaine de degrés vers le tube (figure 8.9).

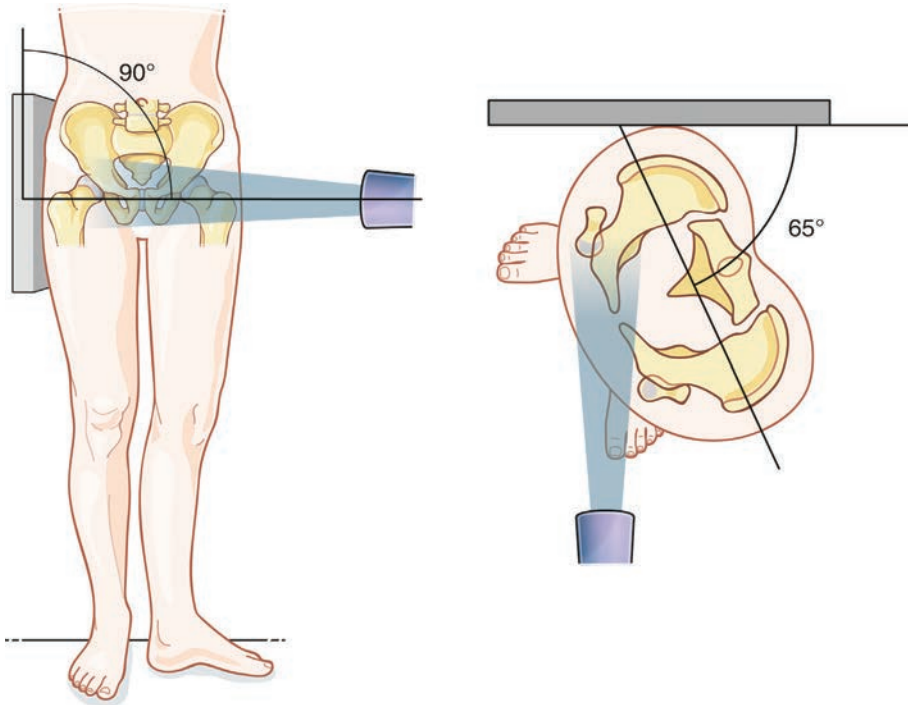


Fig. 8-9. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence du faux profil de Lequesne.

Radio-anatomie (figure 8.10)

Critères de qualité

La radiographie est réussie si :

- les deux têtes fémorales apparaissent espacées de l'équivalent du diamètre d'une tête ;
- le grand trochanter du côté exploré apparaît superposé au col fémoral.

Éléments de l'analyse

On analyse moyennement les structures osseuses sur cette incidence. En revanche, l'interligne articulaire est parfaitement visible d'avant en arrière. C'est l'intérêt majeur de l'incidence.

Notions de pathologie

La coxarthrose débute généralement au bord ventral de l'interligne. Cette incidence permet donc un diagnostic précoce de l'atteinte.

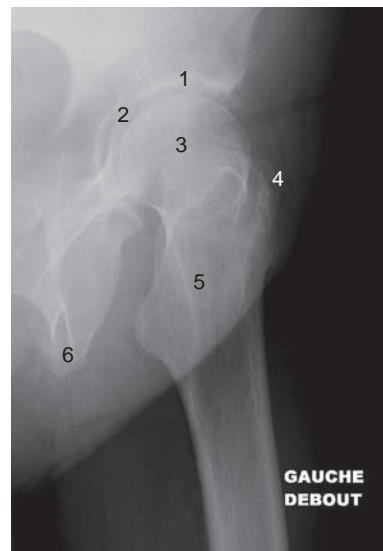


Fig. 8-10. Radio-anatomie de l'incidence du faux profil de Lequesne.

1. Toit du cotyle.
2. Bord antérieur du cotyle (projeté en avant de la tête).
3. Tête fémorale.
4. Bord antérieur du grand trochanter.
5. Bord postérieur du col fémoral.
6. Ischion.

La mesure de l'angle de couverture antérieure de la tête est effectuée sur cette incidence. Un angle inférieur à 25° prédispose à la coxarthrose (figures 8.11 et 8.12).

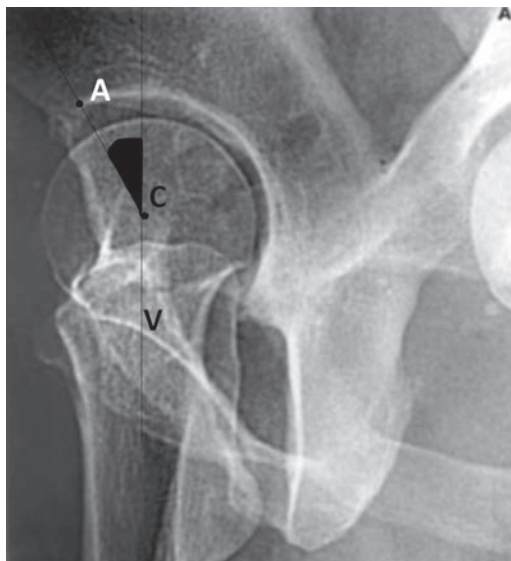


Fig. 8-11. Radiographie de hanche en faux profil de Lequesne et mesure d'angle de couverture antérieure de la tête fémorale.

C : centre de la tête fémorale; V : ligne verticale passant par le centre de la tête fémorale; A : limite antérieure du condensé du toit du cotyle.



Fig. 8-12. Radiographie de hanche en faux profil de Lequesne montrant une coxarthrose.

Les autres incidences de profil de hanche

Nous n'évoquerons ici que succinctement les quelques incidences les plus fréquentes, sachant que leur utilité est souvent très spécifique.

Indications spécifiques

Elles sont fonction de l'incidence considérée :

- profil d'Arcelin (ou profil chirurgical) : permet une visualisation du col de profil sans mobiliser la jambe considérée. Cette incidence est réalisée dans les cas de fracture avérée ou sur la table d'opération ;
- profil urétral : permet de visualiser l'articulation coxo-fémorale en 3/4 allaire. Cette incidence ne permet pas de voir le col fémoral car le grand trochanter s'y superpose ;
- profil de Ducroquet : permet de voir le col de profil en flexion, abduction et rotation latérale de cuisse.

Réalisation (figure 8.13)

Exemple (figure 8.14)

Critères de qualité

- Profil d'Arcelin (ou profil chirurgical) : le col fémoral est vu de profil ; le grand trochanter, le petit trochanter et le 1/4 distal du col fémoral apparaissent superposés.
- Profil urétral : le bassin est en 3/4 allaire ; la tête fémorale est bien ronde ; le col fémoral et le grand trochanter se superposent ; le petit trochanter est saillant caudalement.
- Profil de Ducroquet : l'os coxal et la coxo-fémorale apparaissent de face stricte ; le col fémoral est vu de profil strict ; le grand trochanter est déjeté latéralement ; la diaphyse fémorale apparaît agrandie du fait de son positionnement en avant par rapport à la hanche.

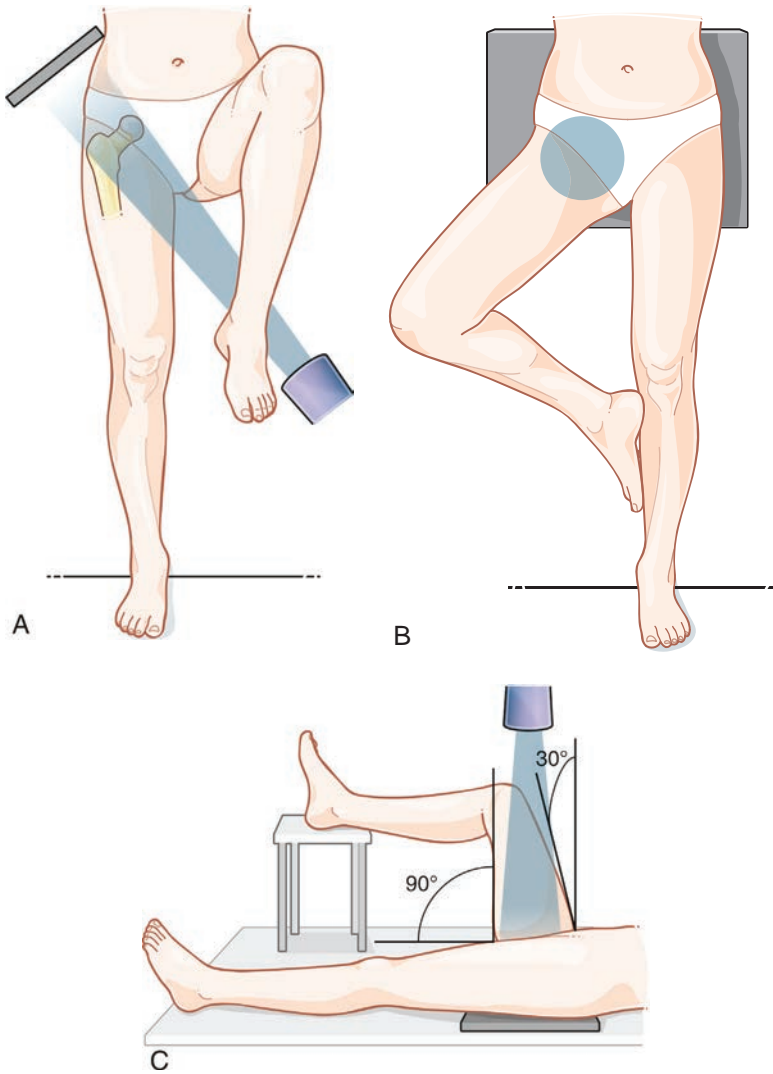


Fig. 8-13. Positionnement du patient et réalisation des incidences de hanche en profil : d'Arcelin (A); urétral (B); de Ducroquet (C).

Le fémur en incidence de face et de profil

Ces incidences sont toujours réalisées ensemble, rarement une incidence de 3/4 sera utile en complément.

Indications spécifiques

L'exploration radiologique isolée du fémur reste rare et principalement indiquée en traumatologie à la recherche de fractures de la diaphyse.

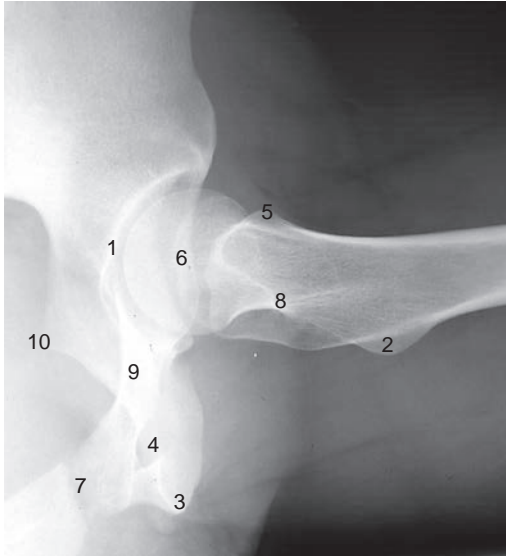


Fig. 8-14. Radiographie de hanche de profil.

1. Acétabulum. 2. Petit trochanter du fémur. 3. Tubérosité ischiatique. 4. Foramen obturé. 5. Grand trochanter du fémur. 6. Tête du fémur. 7. Symphyse pubienne. 8. Crête intertrochantérique du fémur. 9. Branche supérieure du pubis. 10. Épine ischiatique.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

En traumatologie

Il est à noter que les lésions diaphysaires peuvent s'associer à des lésions épiphysaires, d'où l'intérêt sur cette incidence de visualiser l'articulation coxo-fémorale et le genou.

Réalisation

Pratiquées dans un contexte traumatique, les deux incidences sont réalisées patient allongé : en décubitus, pour l'incidence de face ; en décubitus latéral, pour l'incidence de profil.

Radio-anatomie (figure 8.15)

Critères de qualité

Les radiographies sont de bonne réalisation quand :

- pour la face : les articulations sus- et sous-jacentes sont vues de face ;
- pour le profil : l'articulation du genou est vue de profil ; l'articulation coxo-fémorale n'est pas analysable sur cette incidence du fait de la superposition d'un trop grand nombre de structures.

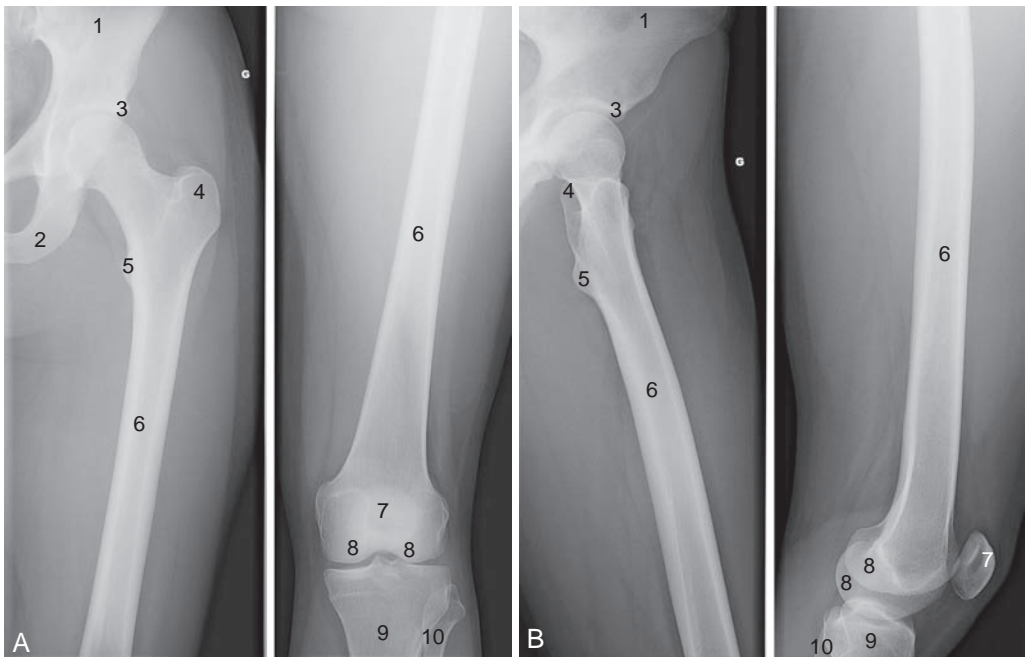


Fig. 8-15. Radio-anatomie des radiographies de fémur de face (A) et de profil (B).

1. Os iliaque gauche. 2. Ischion. 3. Labrum. 4. Grand trochanter. 5. Petit trochanter. 6. Diaphyse fémorale. 7. Patella. 8. Condyles fémoraux. 9. Tibia gauche. 10. Fibula gauche.

Éléments de l'analyse/ images pièges

On analyse la structure osseuse (corticale et os spongieux). On analyse les articulations sus- et sous-jacentes.

Notions de pathologie (figures 8.16 et 8.17)



Fig. 8-16. Radiographie de fémur de face montrant une fracture de la diaphyse.



Fig. 8-17. Téléradiographie des membres inférieurs et points de mesure goniométriques.

Goniométrie des membres inférieurs

Cet examen radiologique est réalisé dans le but d'objectiver radiologiquement un valgus ou un varus de genou et son retentissement sur la statique du membre inférieur et du bassin. Il est indispensable avant et après une chirurgie du genou (ostéotomie, prothèse, etc.).

Réalisation : le patient est debout, dos à la plaque radiographique, les pieds sont parallèles. Les deux genoux sont en extension maximale. Le tube radiogène est positionné à 2–3 mètres du patient de façon à réduire l'agrandissement de l'image et à minimiser la déformation angulaire. Une variante peut s'envisager en appui monopodal.

Critères de réussite : on observe parfaitement la coxo-fémorale, le genou et la tibio-tarsienne ; le fémur apparaît de face en rotation neutre ; les tubercules intercondyliaires sont à hauteur de l'échancrure intercondylienne.

Mesures : on détermine trois points à l'image, le centre de la tête fémorale, le centre du genou et le centre de l'articulation tibio-tarsienne. Les deux points supérieurs

déterminent l'axe de la cuisse, les deux points inférieurs déterminent l'axe de la jambe.

La norme est d'avoir ces deux axes alignés. S'il existe une désaxation, l'angle définit le valgus (angle ouvert latéralement) ou le varus (angle ouvert médialement).

Remarque : cette radiographie, bien réalisée, est le seul moyen, en imagerie standard, de déterminer précisément s'il existe une inégalité réelle de membres inférieurs. Cependant, pour limiter l'irradiation du patient, le diagnostic d'ILMI est souvent porté sur de simples clichés de bassin de face. Ces mesures comportent des approximations liées, notamment, à un manque d'informations, par exemple, concernant le comportement des structures osseuses, dans le plan sagittal et dans le plan transversal [9, 10].

Apport à l'ostéopathie

Les incidences de hanches et de fémurs peuvent être vectrices de contre-indications à la pratique ostéopathique :

- contre-indications absolues à la mobilisation articulaire : fractures et luxations récentes de hanche ou de cuisse ;
- contre-indications absolues aux techniques structurelles :
 - fractures et luxations de hanche, de moins de 90 jours,
 - manipulations structurelles sur matériel chirurgical récemment posé (moins de 90 jours) ;
- contre-indications relatives à la technique ostéopathique employée :
 - pathologie de la minéralisation osseuse évoluée,
 - atteinte arthrosique ou arthritique en poussée inflammatoire ou évoluée.

Références

- [1] Green NE, Swiontkowski MF. Skeletal trauma in Children. 4th. Saunders Elsevier; 2009. p. 397.
- [2] Anderson M, et al. The classic. Growth and prediction of growth in the lower extremities by Margaret Anderson, M.S., William T. Green, M.D. and Mary Blail Messner, A.B. from the journal of bone and joint surgery : 45A : 1, 1963. Clin Orthop Relat Res 1978; 136 : 7–21.
- [3] Landa J, et al. The limbus and the neolimbus in developmental dysplasia of the hip. Clin Orthop Relat Res 2008; 466 : 776–81.
- [4] Vital JM, et al. Étude de l'évolution radiologique des cartilages du bassin et de l'extrémité supérieure du fémur pendant la croissance. Application à la surveillance des scolioses. Chir Péd 1989; 30 : 103–8.
- [5] Bendaoud S, et al. Traumatismes de la hanche. In : Radiologie et imagerie médicale : musculosquelettique – neurologique – maxillofaciale. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Vol. 7; 2012. p. 15, num. 3.
- [6] Thévenin F, et al. Imagerie de la jambe. Technique d'exploration et anatomie en coupe. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris) 2012; Vol. 7 : 11, num. 3.
- [7] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 79.
- [8] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 59–60.
- [9] Vallée C, et al. Étude critique des mesures de l'équilibre pelvien. Bassin et hanche, SIMS, GETROAGEL, opus XXXIV; 2007. p. 35.
- [10] Caton J, Chatelain P. Inégalité de longueur des membres inférieurs : cause, diagnostic, prévision et traitement. In : Appareil locomoteur. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris); 2008. p. 24.

Chapitre 9

Imagerie du genou et de la jambe

Le genou est constitué des quatre pièces osseuses que sont : l'épiphyse distale du fémur, la patella, les épiphyses proximales du tibia et de la fibula. La congruence articulaire est assurée par le système capsulo-ligamentaire.

Les notions d'anatomie importantes dans l'étude en imagerie de la zone sont :

- pour l'épiphyse distale du fémur :
 - les condyles fémoraux. Le condyle médial est plus déjeté que le condyle latéral par rapport à l'axe du fémur, et est plus étendu cranio-caudalement. Ils délimitent ventralement la surface patellaire et dorso-caudalement, l'échancrure intercondylienne. Ils sont recouverts de cartilage articulaire (radio-transparent),
 - l'épicondyle latéral présente à sa face latérale deux sillons (visibles sur les incidences de face) : le sillon crânial pour l'insertion du tendon du gastrocnémien latéral; le sillon caudal pour l'insertion du muscle poplité. Entre les deux, s'insère le ligament collatéral fibulaire,
 - l'épicondyle médial est plus saillant et porte à sa face crâniale le tubercule de l'adducteur,
 - la surface patellaire, à la face antérieure. Elle est formée de la gorge entre les deux condyles et de leurs versants adjacents. Cette surface est recouverte de cartilage, elle est articulaire avec la patella. Sa profondeur est approximativement de 0,5 cm,
 - l'échancrure intercondylienne, elle, continue caudalement puis dorsalement la surface patellaire. À sa paroi latérale, dorsalement, s'insère le ligament croisé antérieur (LCA). À sa paroi médiale, ventralement, s'insère le ligament croisé postérieur,
 - la capsule articulaire s'insère aux pourtours des surfaces cartilagineuses des condyles;

- pour la patella :
 - son positionnement dans la gouttière aux différents degrés de flexion du genou,
 - la forme de sa surface articulaire avec le fémur. Cette surface présente en son centre une crête sagittale répondant à la surface patellaire du fémur. Cette surface est cartilagineuse,
 - son pôle crânial donne insertion au tendon quadriceps fémoral, son pôle caudal donne insertion au ligament patellaire,
 - la capsule articulaire s'insère au pourtour de la surface articulaire,
 - l'ossification de la patella se fait par un, parfois deux, plus rarement davantage, centres d'ossification. Ceux-ci apparaissent vers l'âge de 2-3 ans.
Quand il existe plusieurs points et que ceux-ci ne fusionnent pas, cela produit une patella bipartite. La prévalence est de l'ordre de 1 à 6 % de la population générale, avec un ratio largement en faveur des hommes (8/1); 75 % des patellas bipartites intéressent le pôle cranio-latéral; 20 % la portion latérale; 5 % le pôle caudal et 43 % des patellas bipartites sont bilatérales [1];
- pour l'épiphyse proximale du tibia :
 - les plateaux tibiaux portent les ménisques : latéral et médial (ils sont radio-transparents). On leur distingue les cornes antérieures et postérieures. Les ménisques sont adhérents sur leurs périphéries à la capsule articulaire et à leurs extrémités au tibia,
 - les tubercules intercondyliaires (épines tibiales) forment deux saillies osseuses dans l'échancrure intercondyloire,
 - le ligament croisé antérieur s'insère dans l'aire intercondyloire antérieure. Le ligament croisé

- postérieur s'insère dans l'aire intercondyloire postérieure,
- la surface articulaire avec la fibula au versant latéro-dorsal de l'épiphysse. C'est une surface plane, contenue dans un plan oblique dorsalement et latéralement. La capsule de l'articulation s'insère au pourtour, cette cavité est indépendante de celle du complexe fémoro-tibio-patellaire,
- la capsule articulaire s'insère au pourtour des plateaux en s'insinuant dans l'espace interarticulaire de façon à exclure les ligaments croisés de la cavité synoviale;
- pour l'épiphysse proximale de la fibula : l'orientation de sa surface articulaire répond à l'orientation de la surface fibulaire du tibia;
- la fabella :
 - os inconstant (de 10 à 30 % de la population) à la face dorsale du genou, c'est un sésamoïde généralement contenu dans le tendon du gastrocnémien latéral,
 - son ossification débute vers 12–15 ans, sa taille est très variable. Elle peut aller jusqu'à 15 mm [2].

Une fois encore, l'imagerie conventionnelle a, ici, une place prédominante et sera souvent la première étape dans l'exploration du genou en traumatologie, rhumatologie ou orthopédie.

L'arthrographie du genou permet, par l'injection de produit de contraste dans la cavité synoviale, d'opacifier la cavité liquidienne, et de faire apparaître les structures usuellement radio-transparentes qui s'y trouvent. Cette exploration intéresse en premier lieu l'analyse des ménisques (à la recherche de fractures), les cartilages articulaires (à la recherche de fissures), les ligaments (à la recherche de ruptures).

Le scanner est utile : en traumatologie, en complément de la radiologie standard dans les cas de diagnostics litigieux ou en préchirurgical; en orthopédie, dans les bilans d'instabilité rotulienne. Dans la mesure de TA-GT⁴⁴, le scanner est plus sensible que la radiographie.

⁴⁴ TA-GT : distance entre la tubérosité tibiale antérieure et la gorge de la trochlée. Mesurée à 30° de flexion de genou, elle est pathologique au-dessus de 20 mm.

L'IRM est l'imagerie de référence dans les bilans de pathologies méniscales, ligamentaires et ostéocondrales. L'IRM est également un complément possible en traumatologie, notamment dans les luxations patellaires, elle présente l'avantage d'apporter un bilan de l'atteinte ligamentaire et cartilagineuse. Dans les cas d'une poussée douloureuse non expliquée en radiographie, l'IRM peut être indiquée pour argumenter la recherche de pathologies de l'os sous-chondral ou du système capsulo-ligamentaire.

L'échographie peut être indiquée dans la recherche d'atteinte du système ligamentaire collatéral. Elle est également indiquée dans la recherche de kyste poplité, bursopathie, tendinopathie.

Indications générales

En traumatologie, la réalisation d'une imagerie est dictée par la présence d'un des critères d'Ottawa. Un score nul exclut une fracture post-traumatique aiguë avec une sensibilité proche des 100 % [3].

Règles d'Ottawa [4]. Des radiographies ne sont requises chez les sujets victimes d'un traumatisme du genou que s'ils présentent l'un des critères suivants :

- âge d'au moins 55 ans;
- une douleur isolée de la patella (sans douleur osseuse du genou autre que celle-ci);
- une douleur de la tête de la fibula;
- une incapacité de flexion à 90°;
- une incapacité de mise en charge sur quatre pas, immédiatement après le traumatisme et dans la salle d'examen (incapacité de mise en charge deux fois sur chaque jambe, avec ou sans boiterie).

En rhumatologie, la radiologie conventionnelle permet d'objectiver et de quantifier une atteinte arthrosique, éventuellement d'en déterminer une cause anatomique. La radiographie standard peut être utilisée en première intention pour rechercher un corps étranger articulaire dans les cas de blocage articulaire.

En orthopédie, la radiographie standard est très utilisée. Le pangonogramme en charge, uni- ou bilatéral, permet une vision d'ensemble du membre, les incidences localisées du genou en sont souvent des compléments utiles.

Le genou en incidence de face

Indications spécifiques

Les incidences de face et de profil sont indissociables pour une analyse de l'articulation.

En traumatologie

L'incidence de genou de face est indiquée lorsque l'un des critères d'Ottawa est présent. Elle permet d'argumenter en faveur d'une fracture ou de luxation de l'un des constituants osseux de l'articulation (avec la limite induite par les superpositions osseuses, patella en premier lieu).

En rhumatologie

Cette incidence a un intérêt dans le diagnostic et le suivi d'arthrose fémoro-tibiale, dans le diagnostic de chondrocalcinoses, etc.

En orthopédie

Le cliché de face (réalisé en charge uni- ou bipodale) permet une étude des axes osseux (associée au pangonogramme). Des épreuves dynamiques en addo-abduction permettent d'évaluer la contention ligamentaire dans le plan frontal.

Réalisation

Le patient est en décubitus (dans un contexte traumatique, inflammatoire ou infectieux) ou debout (dans un contexte rhumatologique ou autre). Le pied est face au tube (légère rotation interne par rapport à la position physiologique). Le genou est en extension.

Radio-anatomie (figure 9.1)

Critères de qualité

- Les bords axiaux de deux condyles fémoraux sont symétriques.
- Les tubercules intercondyliques apparaissent centrés dans la fosse intercondylienne.
- La fibula se superpose partiellement au tibia.

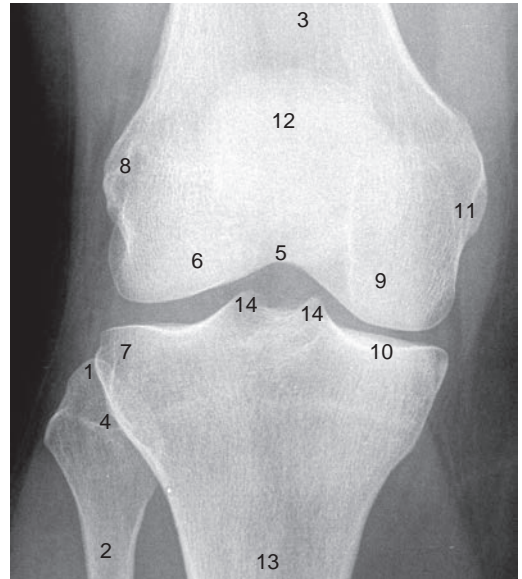


Fig. 9-1. Radio-anatomie de l'incidence de genou de face.

1. Apex (processus styloïde) de la fibula.
2. Col de la fibula.
3. Fémur.
4. Tête de la fibula.
5. Incisure intercondylienne.
6. Condyle latéral du fémur.
7. Plateau tibial latéral.
8. Épicondyle latéral du fémur.
9. Condyle médial du fémur.
10. Plateau tibial médial.
11. Épicondyle médial du fémur.
12. Patella.
13. Tibia.
14. Tubercules de l'éminence intercondylienne.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Remarque

La différence d'obliquité des plateaux tibiaux ne permet pas d'enfiler les deux interlignes fémoro-tibiales de façon parfaite simultanément.

Éléments de l'analyse

On analyse la structure osseuse (d'autant plus facilement si le cliché est réalisé en décubitus), la corticale et la trame. La densité osseuse sous-chondrale doit être symétrique au compartiment médial et latéral. La tubérosité tibiale antérieure crée une légère surdensité osseuse à la partie proximale du tibia.

On analyse les rapports osseux entre le tibia et le fémur, entre le tibia et la fibula.

On analyse de façon indirecte les tissus mous péri-articulaires et intra-articulaires.

● Remarque

En position d'extension, c'est la partie antérieure de l'interligne fémoro-tibial que l'on analyse.

Notions de pathologie

En termes de traumatologie, les fractures du genou peuvent être articulaires ou extra-articulaires. Sur cette incidence, les fractures de la patella et de la fibula passent souvent inaperçues. Les fractures par impaction (souvent des plateaux tibiaux) peuvent également être de diagnostic difficile.

Les lésions méniscales et ligamentaires ne se voient pas spontanément en radiographie standard, à moins qu'elles soient associées à un arrachement osseux (fracture par avulsion du massif des tubercules intercondyliques par traction du ligament croisé antérieur par exemple).

La gonarthrose est relativement fréquente, elle peut intéresser tous les compartiments articulaires du genou. Les signes (figure 9.2) sont :

- le rétrécissement de l'interligne articulaire ;
- la sclérose sous-chondrale ;
- la déformation osseuse (ostéophytes tibiaux, fémoraux...);



Fig. 9-2. Radiographie du genou de face montrant des signes d'arthrose.



Fig. 9-3. Radiographie du genou de face montrant des signes de chondrocalcinose.

Source : Runge M. Radiologie de l'appareil locomoteur, 3^e édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2011.

- les géodes sous-chondrales ;
- l'émoussement des tubercules intercondyliques.

La chondrocalcinose (arthropathie microcristalline) est bien visible radiologiquement au genou. Elle se traduit par une calcification méniscale et une destruction lente de l'articulation évoluant vers l'arthrose (figure 9.3).

Le genou en incidence de profil

Indications spécifiques

En traumatologie

Sa réalisation est conditionnée par la présence d'un des critères d'Ottawa.

Réalisée orthogonalement à l'incidence de face, elle en est le complément indissociable, notamment en traumatologie.

Cette incidence permet, notamment, une analyse de l'intégrité de la patella et des rapports fémoro-patellaires (sur une projection latérale).

En rhumatologie

Cette incidence permet l'étude des articulations fémoro-tibiale et fémoro-patellaire.

En orthopédie

Nous pouvons obtenir, à partir de cette incidence, de nombreux éléments concernant la stabilité patellaire (hauteur de la patella, dysplasie trochléenne, TA-GT).

Nous pouvons également, lors de manœuvres dynamiques de tiroirs antéropostérieurs, évaluer la contention ligamentaire selon le plan sagittal.

Réalisation

Le patient est debout ou en décubitus latéral, avec une légère flexion du genou (parfois jusqu'à 30°). Le rayon directeur est centré sur l'interligne articulaire et pénètre par le bord médial du genou. Le rayon est incliné d'une dizaine de degrés en caudo-crânial pour bien enfilet l'interligne.

Radio-anatomie (figure 9.4)

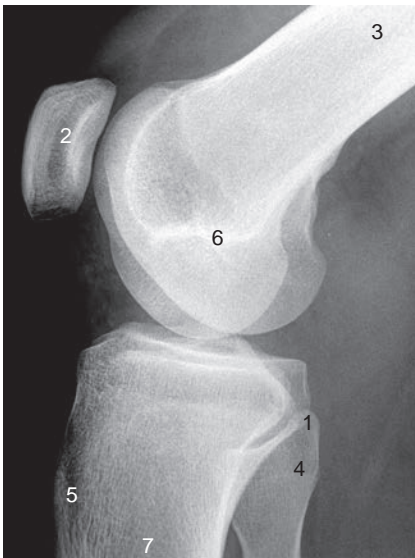


Fig. 9-4. Radio-anatomie de l'incidence de genou de profil.

1. Apex. 2. Patella. 3. Fémur. 4. Tête de la fibula. 5. Tubérosité du tibia. 6. Condyles fémoraux superposés. 7. Tibia.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Critères de qualité

Les deux berges de la trochlée doivent apparaître superposées.

Les deux condyles fémoraux doivent apparaître superposés sauf dans leur partie dorso-caudale.

Les interlignes fémoro-patellaire et fémoro-tibiale doivent apparaître parfaitement enfilés.

Éléments de l'analyse

Ce cliché permet une analyse directe de la structure osseuse et articulaire, par exemple dans les explorations traumatologiques (fractures, luxations) ou orthopédiques (trophicité trochléaire, position patellaire).

Il peut apporter des arguments concernant une atteinte ligamentaire ou méniscale, soit par des rapports osseux atypiques ou lors de manœuvres dynamiques.

L'analyse des tissus mous en traumatologie peut mettre en évidence une hémarthrose ou une lipohémarthrose. Cela nécessite la réalisation du cliché en décubitus, avec un rayon directeur horizontal. Dans ces conditions, la présence de graisse et de sang dans la cavité synoviale produit une surnagerance de la fraction lipidique. La différence de densité entre structure grasseuse et liquidienne étant visible en radiologie, l'image produite laisse donc voir une phase supérieure (graisseuse) plus dense que la phase inférieure (hydrique) plus claire. La lipohémarthrose signe souvent une fracture articulaire (figure 9.5).

Notions de pathologie

La dysplasie de trochlée donne quatre signes radiologiques principaux (figure 9.6) :

- une profondeur de trochlée de moins de 3 mm [5];
- le signe du croisement. C'est le croisement anormal de la ligne du fond de la trochlée et de la ligne du bord antérieur des condyles;
- le signe du double contour. C'est le dédoublement de la berge interne de la trochlée, il est anormal s'il descend sous le signe du croisement;



Fig. 9-5. Radiographie de genou de profil montrant une lipohémarthrose.

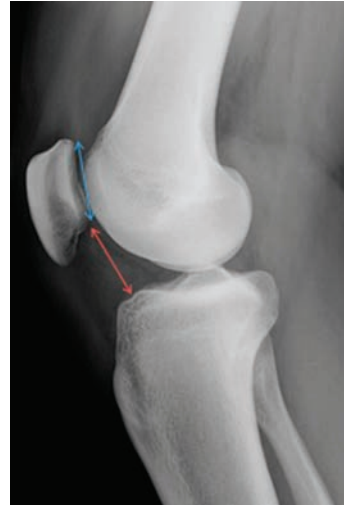


Fig. 9-7. Représentation de l'index patellaire.

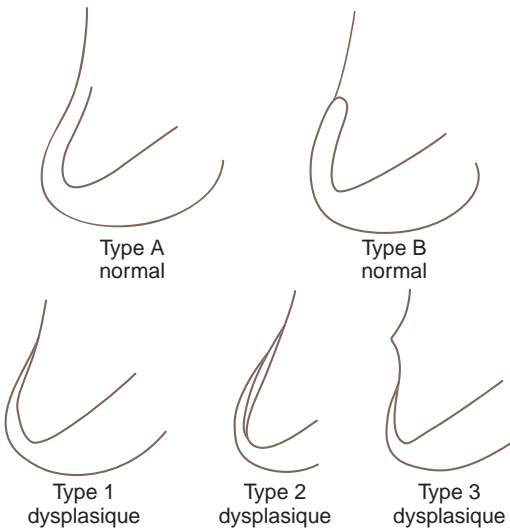


Fig. 9-6. Schématisation des signes de dysplasie de trochlée d'après Walch et Dejour.

- le signe de l'éperon sus-trochléen. C'est la proéminence globale de la trochlée en forme d'éperon au-dessus de celle-ci.

La hauteur de la patella se définit en comparant le ratio entre la surface articulaire de la patella (figure 9.7 : flèche bleue) et la distance entre le bord caudal de celle-ci et le point ventro-crânien du plateau tibial (figure 9.7 :

flèche rouge). Cet index (indice de Caton) est normalement de $1 \pm 0,3$. Le diagnostic de patella alta est posé si l'index est de plus de 1,3.

La pente tibiale et l'échancrure intercondylienne sont des facteurs prédictifs du risque de la rupture du LCA [7]. La pente tibiale s'évalue sur un cliché de profil. Une pente tibiale élevée semble prédisposer aux ruptures du LCA. L'échancrure intercondylienne s'évalue sur le cliché de face et en schuss. Une échancrure étroite semble prédisposer aux ruptures du LCA.

Les maladies d'Osgood-Schlatter et de Sinding-Larsen sont des épiphysites de croissance. Leur traduction radiologique peut donner à voir respectivement une tubérosité tibiale antérieure ou une pointe caudale de patella morcelées ou condensées. On retrouve également fréquemment des spicules osseux dans le tendon patellaire, à la proximité des entheses. Le diagnostic de ces pathologies est clinique mais la radiologie peut l'agrémenter et prédire, en fin de croissance, le risque de séquelles [8, 9]. Ces signes radiologiques ne sont cependant pas spécifiques et la maladie d'Osgood-Schlatter peut n'avoir aucune traduction à l'image, ce qui fait dire aux experts que la réalisation de clichés radiologiques dans le diagnostic de la maladie n'est pas indiquée [10].

Le genou en incidence de schuss

Indications spécifiques

Cette incidence complète toujours l'incidence de face.

En traumatologie

L'incidence de Schuss n'est classiquement pas indiquée dans un contexte traumatique.

En rhumatologie

C'est l'indication principale. Cette incidence permet de mettre en évidence des arthroses débutantes, elle sert également de cotation de l'arthrose évoluée.

Réalisation

Le patient est debout, en ventre plaque. Le genou est fléchi à 30°. De façon exceptionnelle, cette incidence peut se voir réalisée en procubitus, mais on perd alors la notion de contrainte liée à la mise en charge de l'articulation (figure 9.8).

Radio-anatomie (figure 9.9)

Critères de qualité

Les critères de bonne réalisation sont les mêmes que pour l'incidence de face stricte.

Éléments de l'analyse

À 30° de flexion, c'est la partie postérieure de l'interligne fémoro-tibial que l'on explore.

Grâce à la flexion, les bords axiaux des condyles sont analysables.

Notions de pathologie

La partie dorsale des condyles est le siège des ostéonécroses.

La partie médiane des condyles fémoraux est le siège des ostéochondrites.

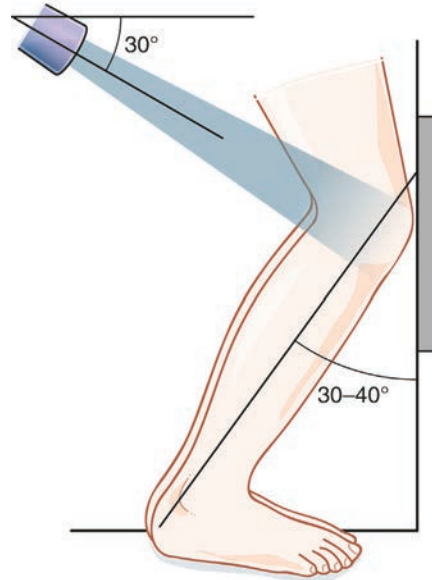


Fig. 9-8. Schématisation de la réalisation de l'incidence de genou en schuss.

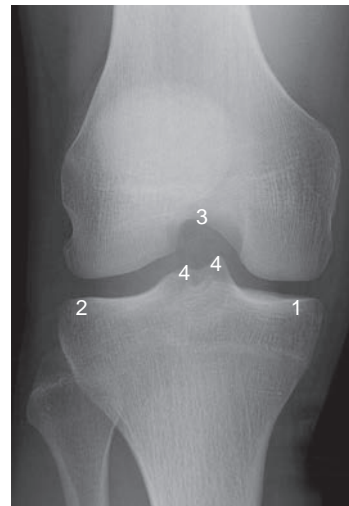


Fig. 9-9. Radio-anatomie de l'incidence de genou de schuss.

1. Condyle médial. 2. Condyle latéral. 3. Échancrure intercondylienne. 4. Tubercules intercondyliaires.

La partie dorsale de l'interligne fémoro-tibial est le siège de l'arthrose débutante.

L'échancrure intercondylienne est une zone de localisation potentielle des corps étrangers intra-articulaires.

Les patellas en incidence axiale

Cette incidence est également appelée incidence fémoro-patellaire (ou défilé fémoro-patellaire ou DFP).

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence est utile pour fournir une incidence orthogonale de la patella par rapport à l'incidence de profil. Rappelons que l'incidence de face, du fait des superpositions osseuses, est rarement contributive en traumatologie de la patella. Notons également que la réalisation de cette incidence nécessite une légère mobilisation du membre et peut donc, chez le patient algique, devenir de réalisation impossible.

En orthopédie

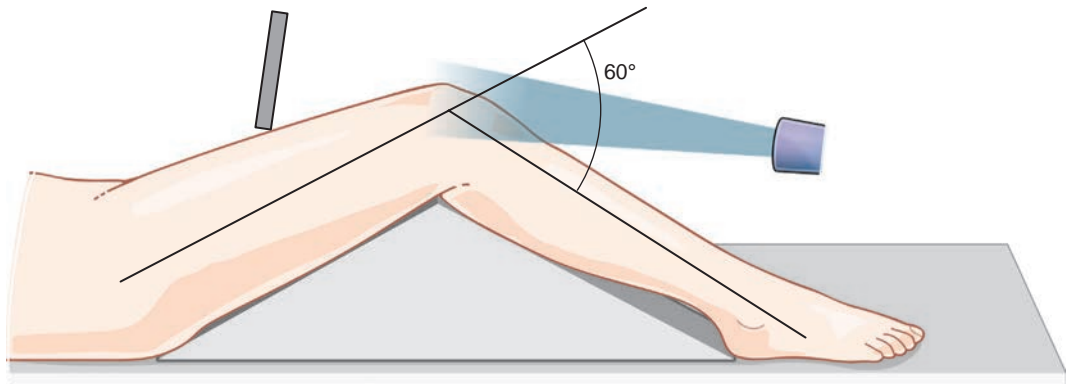
Cette incidence permet de déterminer les rapports de la patella avec la gouttière condylienne. La réalisation à plusieurs degrés de flexion de genou reflète la dynamique patellaire.

En rhumatologie

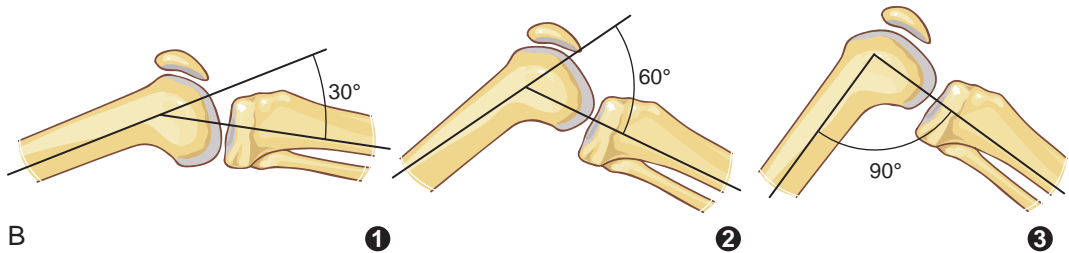
Le DFP permet le diagnostic et le suivi de pathologies fémoro-patellaires (arthrose, arthrite, etc.).

Réalisation

Le patient est en décubitus, les genoux sont fléchis à 30, 45, 60 ou 90°. La plaque radiologique est présentée perpendiculairement au tube radiogène, le rayon directeur est tangent à l'interligne fémoro-patellaire (figure 9.10).



A



B

Fig. 9-10. Incidence axiale de la patella

A. Positionnement du patient lors de la réalisation de la radiographie de patella en incidence axiale. **B.** Détails des rapports articulaires en fonction du degré de flexion du genou.

Radio-anatomie (figure 9.11)

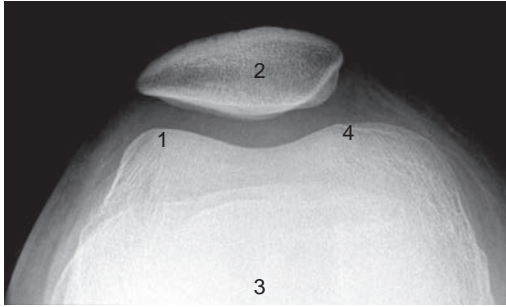


Fig. 9-11. Radio-anatomie de l'incidence axiale de patella.

1. Condyle latéral du fémur. 2. Patella. 3. Fémur.
4. Condyle médial du fémur.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Critères de qualité

Quel que soit le degré de flexion considéré, l'interligne artriculaire doit être parfaitement visible, sans dédoublement osseux.

Éléments de l'analyse/ images pièges

Le compartiment artriculaire latéral est celui qui subit le plus de contraintes mécaniques. De ce fait, l'os sous-chondral à ce niveau est plus dense et les travées osseuses s'orientent dans le sens de la contrainte.

À 30° de flexion, les berges trochléennes apparaissent anguleuses (plus qu'à un degré de flexion plus important), le versant médial apparaît plus court.



Fig. 9-12. La classification de Wiberg des dysplasies patellaires.

Notions de pathologie

L'incidence à 30° de flexion permet la mise en évidence des arthroses fémoro-patellaires débutantes. C'est effectivement entre la partie latéro-caudale du cartilage patellaire et la partie latéro-crâniale du cartilage fémoral que l'usure articulaire commence habituellement.

L'instabilité patellaire intéresse également les tout premiers degrés de flexion du genou, c'est donc encore sur l'incidence à 30° de flexion que l'analyse des rapports patella-trochlée sera la plus pertinente.

L'incidence à 60° de flexion du genou permet une analyse de la partie moyenne des rapports de la patella et de la trochlée.

L'incidence à 90° de flexion du genou permet une analyse de la partie caudale de la surface articulaire de la trochlée et de la partie crâniale de la surface articulaire de la patella.

La forme de la patella est un facteur prédictif de son instabilité éventuelle. La classification de Wiberg en quatre stades cote les dysplasies patellaires (figure 9.12).

Le genou en incidence de 3/4

Cette incidence n'est pas conventionnelle. Elle vient en complément du bilan standard, en traumatologie, pour la recherche de fracture suspectée, mais passée inaperçue sur la face et le profil standard.

Réalisation

Le patient est en décubitus, il présente le genou en rotation latérale puis médiale.

Radio-anatomie (figure 9.13)

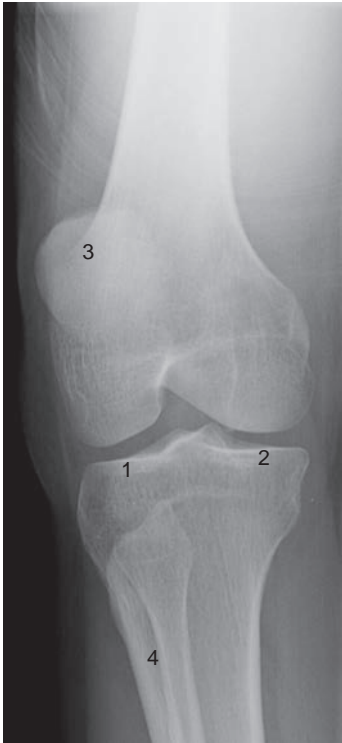


Fig. 9-13. Radio-anatomie de l'incidence de genou de 3/4. 1. Plateau tibial latéral. 2. Plateau tibial médial. 3. Patella. 4. Fibula.

La jambe en incidence de face et de profil

Indications spécifiques

En traumatologie

C'est l'unique indication de cette incidence. Elle sert :

- de façon primaire, à mettre en évidence une atteinte d'un des os longs de la jambe ;
- de façon secondaire, à rechercher une lésion associée à une atteinte vue sur un cliché localisé (cheville ou genou).

Réalisation

Le patient est en décubitus pour l'incidence de face puis en décubitus latéral pour l'incidence de profil.

Radio-anatomie (figure 9.14)

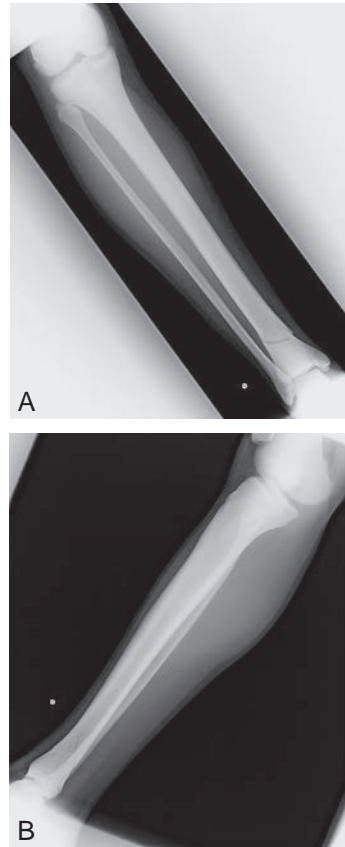


Fig. 9-14. Radio-anatomie des incidences de jambe de face (A) et de profil (B).

Critères de qualité

La jambe doit être vue dans sa totalité, les articulations sus- et sous-jacentes doivent être analysées selon des critères stricts de face ou de profil.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

L'analyse précise des articulations se fait sur les clichés centrés. Nous analysons ici une vue d'ensemble de la jambe selon :

- sa structure globale. Intégrité intrinsèque (trame et corticale) ;
- ses relations aux os adjacents.

Il n'est effectivement pas exceptionnel de voir, associées à des fractures du tibia, des luxations tibio-fibulaires.

Le pangonogramme

Le pangonogramme est un cliché d'ensemble des membres inférieurs.

Il permet la prise de mesures goniométriques.

Indications spécifiques

En orthopédie

L'indication unique de ce cliché concerne le diagnostic apporté par la mesure objective de l'alignement des constituants de la jambe.

Réalisation

Le patient est debout en dos plaque, en appui bi-ou unipodal. Les membres sont en légère rotation médiale et en extension complète.

Radio-anatomie (figure 9.15)

Critères de qualité

Les membres inférieurs apparaissent parfaitement de face, les membres apparaissent donc de façon symétrique [11].

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

Notons : H, le centre de la tête fémorale; K, le centre de l'articulation fémoro-tibiale; A, le centre de l'articulation talo-crurale.

L'angle HKA représente l'axe mécanique du membre inférieur.

À l'état normal, les trois points sont alignés donnant un angle HKA de 180°. La perte d'alignement produit un angle reflétant le degré de valgus ou de varus du membre.



Fig. 9-15. Radio-anatomie d'un pangonogramme.
1. Iliaque gauche. 2. Fémur gauche. 3. Tibia gauche.
4. Fibula gauche.

Apport à l'ostéopathie

L'imagerie du genou peut apporter des contre-indications à la prise en charge ostéopathique :

- contre-indications absolues à la mobilisation de la zone : fractures et entorses suspectées ou avérées;
- contre-indications absolues aux manipulations structurelles de la zone :
 - fractures ou chirurgie orthopédique de moins de 90 jours (60 jours pour la patella),
 - entorses graves (instabilités majeures et arrachements osseux) de moins de 2 à 4 mois;

- contre-indications relatives en fonction de la technique employée : atteinte rhumatismale ou arthrosique en poussée inflammatoire; les déformations articulaires susceptibles de modifier le comportement articulaire.

L'imagerie dynamique du genou peut objectiver l'amplitude articulaire de l'articulation. De ce fait, et dans les cas où les valeurs obtenues restent en dessous des valeurs pathologiques, le diagnostic cinétique ostéopathique peut s'enrichir d'une valeur chiffrée à confronter au ressenti clinique. Ces mesures peuvent être utiles en pratique clinique et en recherche.

Dans son livre *Adventures in Healing*, Parnell Bradbury utilise des radiographies de jambes pour objectiver l'intérêt d'un traitement manuel lors du processus de consolidation après fracture [12].

Références

- [1] Lee WJ, et al. Pain in both knees. *CMAJ* 2008; 11 : 1227, no 179.
- [2] Kawashima T, et al. Anatomical study of the fabella, fabellar complex and its clinical implications. *Surgical and Radiologic Anatomy* 2007; 29(8) : 611–6.
- [3] Bachmann L, et al. The accuracy of the Ottawa rule out knee fractures. A systematic review. *Ann Intern Med* 2004; 140 : 121–4.
- [4] Stiell I, et al. Implementation of the Ottawa knee rule for the use of radiography in acute knee injuries. *JAMA* 1997; 278(23) : 2075–9.
- [5] Pfirrmann CW, et al. Femoral trochlear dysplasia : MR findings. *Radiology* 2000; 216(3) : 858–64.
- [6] Dejour, et al. La dysplasie de la trochlée fémorale. *Rev Chir Orthop* 1990; 76 : 45.
- [7] Jaafar R. Pente tibiale échancrure condylienne et rupture LCA. Communication lors des IV^e Journées d'enseignement Chirurgie Orthopédique Traumatologie; 2011.
- [8] Bacquaert P. Images radiologiques de la maladie d'Osgood-Schlatter. Institut Régional de Biologie et de Médecine du Sport; 2005. En ligne, <http://librable.fr/p/4474999>.
- [9] Gholve PA, et al. Osgood Schlatter syndrome. *Curr Opin Pediatr* 2007; 19(1) : 44–50.
- [10] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 79.
- [11] Deschamps G. The pangonogram (hip-knee-ankle film) : the key to good pre-operative planning. *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT*, vol. 61. Elsevier; 1997. p. 96–9.
- [12] Bradbury P. *Adventures in Healing*, with illustrations by Andrea Bradbury. Neville Spearman; 1969. p. 170.

Chapitre 10

Imagerie de la cheville

Pour des raisons anatomo-cliniques, l'imagerie de la cheville et celle du pied sont dissociées. Effectivement, les indications qui mènent à l'exploration de la cheville en imagerie sont souvent différentes de celles qui mènent à l'exploration du pied. D'un point de vue technique, les modalités de réalisation (en imagerie standard) des incidences de cheville et de pied sont bien distinctes du fait de l'anatomie de la zone.

Les notions d'anatomie à posséder lors de l'analyse radiologique de la zone sont :

- la configuration des articulations de la zone :
 - l'articulation tibio-fibulaire distale. Située dans un plan quasiment sagittal, légèrement oblique ventro-latéralement. Elle se situe à la face latérale du tibia. La surface articulaire tibiale est une concavité longitudinale, alors que la surface fibulaire est convexe. En radiologie standard, pour enfiler cet interligne, la jambe devra donc être en légère rotation médiale,
 - l'articulation talo-crurale unit la mortaise tibio-fibulaire au tenon talien. Le plan articulaire est globalement concave caudalement selon un axe transversal. La surface articulaire talienne est une trochlée à grand axe ventro-dorsal, à laquelle répond la surface caudale du tibia,
 - l'articulation sous-talair présente deux surfaces articulaires. La surface articulaire postérieure est une ellipsoïde. Son grand axe est oblique ventro-latéralement. La surface articulaire antérieure est une sphéroïde qui unit le talus, le calcaneus et le naviculaire. Les deux surfaces articulaires sont séparées par le sinus du tarse dont l'axe suit celui des surfaces articulaires,
 - l'articulation transverse du tarse⁴⁵ unit l'arrière-pied et le médio-pied. Elle est consti-

tuée de l'articulation talo-calcaneó-naviculaire et de l'articulation calcaneó-cuboïdienne. Cette articulation s'analyse de profil sur les incidences de cheville de profil, et de face sur les incidences de pied de face ;

- le développement osseux de la cheville durant la croissance :
 - les noyaux d'ossification secondaires apparaissent entre 6 mois et 2 ans à l'épiphyse distale du tibia, entre 9 mois et 2 ans à l'épiphyse fibulaire distale,
 - le processus de fusion métaphyso-épiphysaire distale du tibia dure environ 18 mois pour se terminer entre 12 et 17 ans. La fusion débute à la partie moyenne de la physe, puis se propage dorso-médialement avant de se propager ventro-latéralement. L'épiphyse fibulaire distale fusionne dans les 12 à 24 mois qui suivent la fermeture de la physe tibiale distale,
 - la présence de noyaux d'ossification accessoires est relativement fréquente aux apex malléolaires (os sous-tibial 20 %, os sous-fibulaire 1 %). Ceux-ci apparaissent entre 7 et 10 ans, pour éventuellement fusionner aux noyaux secondaires des malléoles dans la deuxième décennie de vie. Ces variations sont classiquement asymptomatiques et sont découvertes fortuitement. Leur présence, dans un contexte traumatique, peut porter à confusion et laisser le doute quant à une éventuelle fracture par avulsion. Dans ce cas, si l'analyse de la corticale n'est pas suffisante, le diagnostic différentiel peut être porté par scintigraphie osseuse [1].

L'imagerie de la cheville est classiquement débutée par une exploration conventionnelle.

Le scanner peut être intéressant en deuxième intention, lorsque la radiographie conventionnelle n'a pas été suffisante, ou en préchirurgical.

⁴⁵ Anciennement articulation de Chopard.

L'IRM est également un recours de deuxième intention dans l'étude de tissus mous de la cheville, notamment dans un contexte inflammatoire ou tumoral.

L'échographie peut être de première intention dans l'étude de tendinopathies ou dans la recherche de lésions traumatiques capsulo-ligamentaires [2].

La scintigraphie est principalement utilisée dans les contextes d'algodystrophie.

Indications générales

La radiographie est le premier pas dans l'exploration de la cheville. Les incidences de face et de profil en sont la base et peuvent être complétées d'incidences complémentaires. Les incidences de 3/4 en sont les plus fréquentes (dont l'incidence de cheville en rotation médiale de 45°). Elle permet de dégager la fibula et l'interligne tibio-fibulaire distale. L'incidence tangente du calcaneus permet de dégager la tubérosité du calcaneus et le sustentaculum tali de face. L'incidence du sinus du tarse permet de dégager le col du talus, et donne une vision oblique de la talo-calcaneo-naviculaire.

La cheville en incidence de face

Cette incidence est indissociable de l'incidence de profil. Ces deux radiographies sont le socle minimum de l'exploration de la zone et peuvent être complétées d'incidences spécifiques (incidences de 3/4 notamment).

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence est particulièrement intéressante dans l'exploration des entorses à la recherche de lésions osseuses associées.

En rhumatologie

L'incidence de cheville de face permet de mettre en évidence des atteintes rhumatismales, arthrosiques ou inflammatoires de l'articulation talo-crurale.

Réalisation

Dans un contexte traumatique, cette incidence est réalisée le patient en décubitus, jambe en extension et en légère rotation médiane (axe vertical passant par le 4^e orteil).

Dans un contexte orthopédique ou rhumatismal, l'incidence est réalisée patient debout.

Radio-anatomie (figure 10.1)



Fig. 10-1. Radio-anatomie de l'incidence de cheville de face.

1. Tibia gauche. 2. Fibula. 3. Talus. 4. Base du 5^e métatarsien.

Critères de qualité

Le tibia et la fibula sont vus de face, le tibia se superposant approximativement sur le tiers médial de la fibula.

L'interligne talo-crurale doit apparaître bien dégagée.

● Remarque

L'arrière-pied n'est pas analysable ici du fait des superpositions.

Éléments de l'analyse/ images pièges

L'image s'analyse en commençant par le cadre osseux, son intégrité, sa densité. On analyse alors les rapports articulaires, éventuellement les tissus mous puis les axes osseux.

À l'état sain, l'os est homogène, la trame est intègre. La corticale osseuse s'analyse sur tous les pourtours osseux et ne doit pas montrer de défauts.

L'interligne talo-crurale est d'épaisseur harmonieuse, sans corps étranger, et les bords articulaires sont lisses. Les berges articulaires ne doivent pas montrer de densification prononcée.

Notions de pathologie

En traumatologie

L'entorse de la cheville est une atteinte très fréquente, elle représente 10 % des motifs de consultations aux urgences. L'atteinte de la zone intéresse en premier lieu les structures les plus fragiles, à savoir la chape ligamentaire chez l'adulte et les zones cartilagineuses chez l'enfant [3].

L'entorse simple est une atteinte exclusivement ligamentaire et à ce titre n'a pas de traduction radiologique directe. En revanche, une entorse grave avec avulsion osseuse donnera à voir un fragment osseux en regard de la zone de désinsertion.

Les règles d'Ottawa à la cheville ont pour but de limiter les réalisations inutiles de radiographies de la cheville. Leur sensibilité est de 100 % et leur spécificité de 40 % chez l'adulte et sont respectivement de 83 et 50 % chez l'enfant [4, 5].

La règle est de prescrire l'examen radiographique, uniquement si l'on retrouve au moins l'un des critères suivants (figure 10.2.) :

- douleur siégeant à moins de 6 cm de l'extrémité distale d'une des malléoles ;
- impossibilité de réaliser quatre pas consécutifs en appui sur la cheville lésée, immédiatement après le traumatisme et dans la salle d'examen ;
- douleur élective à la styloïde du 5^e métatarsien ou au naviculaire.



Fig. 10-2. Radiographie de cheville de face, réalisée dans le cadre d'une entorse montrant une fracture par avulsion.

Sur cette incidence, un diastasis tibio-fibulaire distal de plus de 4 mm signe une atteinte des moyens de contention à ce niveau. Celle-ci se matérialise également par une asymétrie des espaces latéraux et médiaux de la talo-crurale.

Chez l'enfant, l'atteinte traumatique de la cheville touche volontiers les zones cartilagineuses (voir Fractures de Salter et Harris, p. 72).

En orthopédie

Ce cliché peut être réalisé dans le but de quantifier un valgus ou varus d'arrière-pied. La réalisation, en position debout, nécessite alors le cerclage de la cheville à la peau par un fil de métal radio-opaque⁴⁶ (figure 10.3).

Des épreuves dynamiques peuvent être envisagées grâce à ce cliché, dans le cadre d'instabilité chronique de la cheville.

L'opérateur impose alors successivement un valgus, puis un varus de cheville pour en objectiver l'amplitude (figure 10.4).

La mesure doit être comparative pour différencier une laxité résultant d'une lésion ligamentaire d'une hyperlaxité physiologique.

⁴⁶ C'est l'incidence de Méary.



Fig. 10-3. Radiographie de cheville de face montrant une mesure de valgus d'arrière-pied.

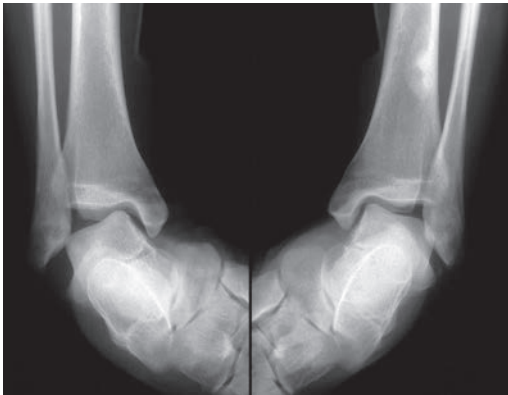


Fig. 10-4. Radiographie de cheville de face en épreuve dynamique, montrant une mesure de laxité en valgus.

En rhumatologie

L'arthrose de cheville est relativement rare en comparaison des autres articulations portantes, et est généralement la résultante d'un traumatisme (fractures articulaires, instabilités résultantes d'entorses, etc.). Les signes radiologiques en sont alors :

- pincement articulaire ;
- ostéophytose ;
- ostéosclérose ;
- apparition de corps étrangers intra-articulaires ;
- géodes d'hyperpression.

La cheville en incidence de profil

Indications spécifiques

En traumatologie

L'incidence est utile dans les cas d'entorse et de fracture de la cheville et de l'arrière-pied.

En rhumatologie

L'incidence est utile dans les explorations d'arthropathies talo-crurale, sous-talaire ou talo-naviculaire.

Réalisation

Dans un contexte traumatologique, le patient est en décubitus latéral du côté examiné, de façon à présenter la cheville traumatisée bord latéral sur la table. Le patient réalise une légère rotation médiale de pied (pour avoir l'axe bimalléolaire perpendiculaire à la table).

Dans un contexte orthopédique/rhumatismal, le cliché est réalisé en charge.

Radio-anatomie (figure 10.5)



Fig. 10-5. Radio-anatomie de l'incidence de cheville de profil.

1. Tibia. 2. Fibula. 3. Talus. 4. Calcaneum. 5. Naviculaire.

Critères de qualité

Les deux malléoles doivent être superposées.

Le talus doit apparaître de profil, les bords supérieurs de la trochlée parfaitement superposés.

L'interligne talo-crutale apparaît alors bien enfilée.

Le contraste de l'image doit permettre de voir le tendon d'Achille.

Éléments de l'analyse/ images pièges

L'analyse de la structure osseuse apporte des renseignements sur la partie distale du tibia et de la fibula, du talus, du calcaneus et du naviculaire.

Ainsi, on analyse les articulations talo-crutale, sous-talaire et talo-naviculaire.

Ici, l'analyse des tissus mous péri-articulaires peut orienter le diagnostic de façon pertinente.

Un certain nombre d'os surnuméraires peuvent se voir ici. Ainsi, l'os trigone résulte de la non-fusion, chez l'adulte, du processus trigone du talus. Situé à la marge postérieure du talus, l'os trigone donne insertion au ligament talo-fibulaire postérieur. Cette variante de la norme est relativement fréquente (jusqu'à 25 % de la population). La néo-syndesmose formée peu mimer une fracture de Shepard, l'analyse des bords de l'os est alors primordiale, l'os trigone ayant des bords arrondis [6].

Notons qu'un os trigone large peut se retrouver pincé entre le bord postérieur du tibia et le bord crânial de la tubérosité du calcaneus. Ce conflit peut aller jusqu'à l'inflammation, l'arthrose ou la pseudarthrose.

Notions de pathologie

En traumatologie

Dans les entorses en inversion/éversion, cette incidence sert principalement à analyser l'arrière-pied à la recherche d'arrachements osseux.

Dans les fractures malléolaires, l'incidence de profil apporte une vision orthogonale (par rapport à la face) intéressante pour qualifier un déplacement dorso-ventral.



Fig. 10-6. Radiographie de cheville de profil montrant un épanchement artériel.

L'incidence apporte une vue du talus et du calcaneus de profil tout à fait pertinente dans la recherche de fractures.

Un épanchement artériel, en mettant la cavité articulaire en surpression, produit un bombement antérieur (voire postérieur) de celle-ci visible en radiographie standard. Ce signe est en faveur d'une atteinte articulaire voire d'une fracture intra-articulaire occulte (figure 10.6).

Le triangle de Kager est un récessus graisseux limité dorsalement par le bord antérieur du tendon d'Achille. Il est limité ventralement par le bord dorsal du tibia et caudalement par le bord crânial de la tubérosité du calcaneus. Le triangle de Kager est un récessus graisseux dont l'analyse en radiologie permet de déterminer l'intégrité du tendon d'Achille. La disparition de la limite postérieure du triangle signe une désinsertion du tendon.

En orthopédie

L'inclinaison calcanéenne est l'angle formé entre le sol et le bord inférieur du calcaneus, il est normalement de $20^\circ (\pm 2^\circ)$. Un angle diminué prédispose aux problèmes d'aponévrosites plantaires alors qu'un angle augmenté prédispose aux pathologies du tendon d'Achille.

Cette incidence peut servir à objectiver une éventuelle laxité antéropostérieure lors de manœuvres dynamiques. Cette laxité est normale jusqu'à 10 mm (figure 10.7).

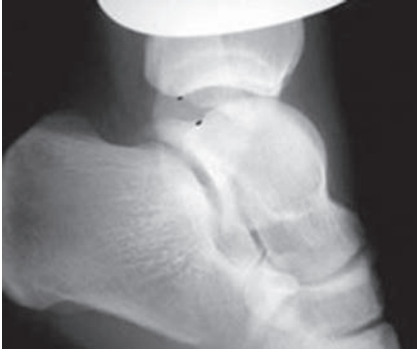


Fig. 10-7. Radiographie de cheville de profil en épreuve dynamique montrant une mesure d'un tiroir antéropostérieur.

La cheville en incidence de 3/4 médial

● Remarque

Le 3/4 latéral est également réalisé. Quand c'est le cas, c'est généralement pour apporter une vue supplémentaire de la malléole médiale ou pour dégager l'articulation talo-crurale sur son bord médial.

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence permet de dégager complètement la malléole fibulaire de sa superposition avec le tibia et d'en analyser plus finement les détails.

Elle permet également une vue complémentaire intéressante des autres constituants de la cheville.

En rhumatologie

L'incidence de 3/4 médial de cheville dégage l'interligne tibio-fibulaire distale et l'interligne talo-fibulaire. Elle dégage également le sinus du tarse.

Réalisation

Le patient est allongé. La réalisation est la même que pour une incidence de face, sauf que la cheville est en rotation médiale de 45°.

Radio-anatomie (figure 10.8)



Fig. 10-8. Radio-anatomie de l'incidence de cheville de 3/4 médial.

1. Tibia. 2. Fibula. 3. Talus. 4. Calcaneum. 5. Naviculaire. 6. Cuboïde. 7. Cunéiforme. 8. 1^{er} métatarsien.

Critères de qualité

Les interlignes talo-crurale et tibio-fibulaire doivent être dégagés.

La fibula doit apparaître sans superposition avec le tibia.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

Le cas présenté à la [figure 10.9](#) montre un exemple d'intérêt de l'incidence de cheville de 3/4. L'incidence de face montre un léger décroché de la corticale, l'incidence de profil ne montre rien. En revanche, l'incidence de 3/4 montre clairement la fracture spiroïde de la métaphyse fibulaire.

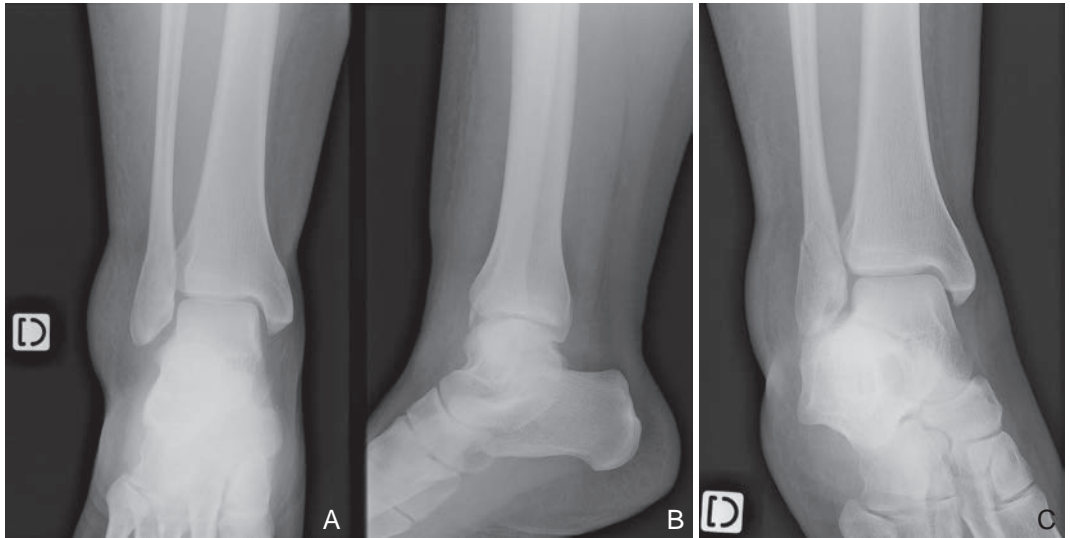


Fig. 10-9. Radiographie de cheville de 3/4 médial (C). Incidences de face (A) et de profil (B) correspondantes.

Apport à l'ostéopathie

L'imagerie du pied peut diriger l'orientation de la prise en charge ostéopathique, notamment par les contre-indications qu'elle apporte :

- contre-indications absolues à la mobilisation de la zone : fractures et entorses suspectées ou avérées ;
- contre-indications absolues aux manipulations structurelles de la cheville :
 - fractures ou chirurgie orthopédique de moins de 4 mois,
 - entorses graves (instabilités majeures et arrachements osseux) de moins de 2 à 4 mois ;
- contre-indications relatives en fonction de la technique employée : atteinte rhumatismale ou arthrosique en poussée inflammatoire ou évoluée, notamment si la déformation risque de modifier les réactions articulaires.

L'imagerie, par les manœuvres dynamiques appliquées à la cheville, peut objectiver l'amplitude articulaire de la talo-crurale. De ce fait, et dans les cas où les valeurs obtenues restent en dessous des valeurs pathologiques, le diagnostic cinétique ostéopathique peut s'enrichir d'une valeur

chiffrée à confronter au ressenti clinique. Ces mesures peuvent être utiles en pratique clinique et en recherche [7].

Références

- [1] Green NE, Swiontkowski MF. Skeletal trauma in children. 4th ed. Saunders Elsevier; 2009. p. 508.
- [2] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. 1^{re}. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom; 2005. p. 60.
- [3] Malanga GA, Ramirez Del Toro JA. Common injuries of the foot and ankle in child and adolescent athlete. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2008; 19(2) : 347-71.
- [4] Stiell IG, et al. A study to develop clinical decision rules for the use of radiography in acute ankle injuries. *Ann Emerg Med* 1992; 21(4) : 384-90.
- [5] Clark KD, Tanner S. Evaluation of the Ottawa ankle rules in children. *Pediatr Emerg Care* 2003; 19(2) : 73-8.
- [6] Koulouris G, et al. Foot and ankle disorders : radiographic signs. In : *Seminars in Roentgenology*; 2005. p. 358-79.
- [7] Buzzle KA, et al. X-ray evaluation of the hindfoot and talar tilt. *J AM Osteopath Assoc* 1969; 69(4) : 376-87.

Chapitre 11

Imagerie du pied

L'imagerie du pied demande quelques notions d'anatomie. Notamment :

- l'orientation des surfaces articulaires, car celle-ci explique la difficulté à les dégager en radiographie standard :
 - l'articulation transverse du tarse⁴⁷. Elle associe l'articulation calcanéocuboïdienne (articulation en selle) et l'articulation talocalcanéo-naviculaire (articulation sphéroïde). Ces articulations présentent des surfaces à courbures inversées, ce qui confère à l'interligne un aspect en S allongé selon un plan transversal,
 - les articulations des os du tarse distal entre eux. Elles sont contenues dans des plans différents mais qui tendent à converger ensemble caudalement,
 - l'articulation tarso-métatarsienne⁴⁸. C'est une ligne brisée à grand axe transversal,
 - les articulations métatarso-phalangiennes et interphalangiennes. Elles s'organisent globalement selon des arcs de cercle à concavité dorsale ;
- l'ostéogenèse du pied, car elle peut mener à des difficultés d'interprétation chez l'enfant mais également chez l'adulte :
 - à la naissance, l'ossification du pied est partiellement débutée. Les noyaux primaires d'ossification des phalanges, des métatarses, du cuboïde, du talus et du calcaneus sont généralement présents,
 - le noyau primaire d'ossification du cunéiforme latéral apparaît vers 1 an, ceux des autres cuné-

formes apparaissent vers 4 ans. Le noyau d'ossification du naviculaire apparaît vers 3 ans,

- les noyaux d'ossification secondaires apparaissent à 3 ans aux têtes des quatre derniers métatarsiens et à la base du premier, ainsi qu'à la base des phalanges. Leur fusion se fait vers 18 ans,
- le noyau secondaire d'ossification de la tubérosité du calcaneus apparaît vers 10 ans et fusionne à l'os vers 16 ans.

À l'âge adulte, une grande variété d'os accessoires peut être retrouvée, les plus courants étant le reliquat de la non-union de noyaux d'ossification secondaires ou encore les os sésamoïdes (figure 11.1).

L'imagerie du pied laisse une large place à la radiographie conventionnelle. Cependant les autres modalités sont parfois indispensables au diagnostic.

L'échographie trouve une grande place dans l'étude des structures molles, elle est de première intention dans les recherches de corps étrangers radio-transparents, de tendinopathies ou d'exploration des syndromes de Morton.

Le scanner et l'IRM sont généralement de deuxième intention après la radiographie standard, voire après l'échographie. Le scanner a une sensibilité plus grande dans l'étude des structures ostéo-articulaires, ce qui est intéressant dans les cas de fractures complexes de l'arrière-pied ou du médio-pied [5]. L'IRM sera plus sensible dans l'exploration de pathologies inflammatoires et tumorales.

La scintigraphie trouve ici une place importante en deuxième intention dans le diagnostic de fracture de fatigue, d'algodystrophie ou éventuellement pour différencier un os surnuméraire d'un fragment osseux [6].

⁴⁷ Anciennement articulation de Chopard.

⁴⁸ Anciennement articulation de Lisfranc.

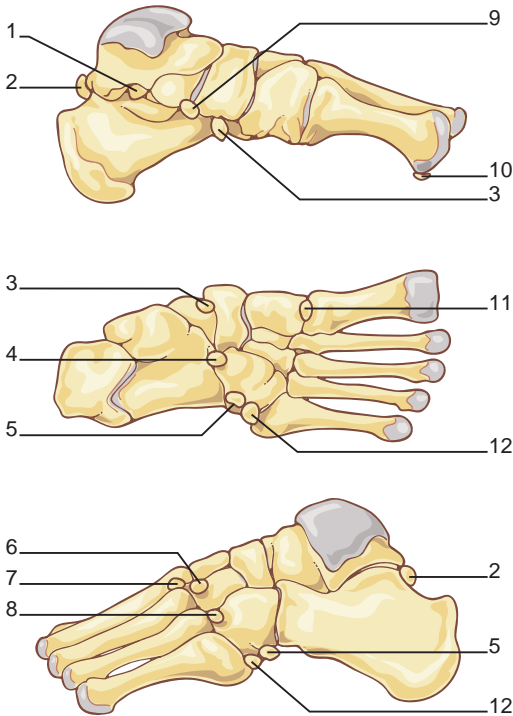


Fig. 11-1. Représentation des localisations des os accessoires les plus fréquents aux pieds.

1. Os talus accessoire. 2. Os trigone (présent chez 7 % de la population) [1]. 3. Os naviculaire accessoire (ou os tibial externum, de 4 à 20 % de la population, bilatéral dans 50 à 90 % des cas) [3]. 4. Os cuboïde secondaire. 5. Os fibulaire (ou os cuboïde accessoire) présent dans ¼ de la population [2]. 6. Os inter-cunéiforme. 7. Os inter-métatarsien. 8. Os calcanéus secondaire (présent dans 5 % de la population) [4]. 9. Os sustentaculum. 10. Os sésamoïdes à la tête du premier métatarsien. 11. Pars peronea metatarsalia. 12. Os vesalianum.

Indications générales

L'exploration du pied en imagerie commence toujours par la radiographie standard. Elle débute par l'incidence de face et de profil en charge dans la plupart des indications à l'exception de la traumatologie ou elle commence par l'incidence de face et de 3/4 en décharge. Les incidences en charge fournissent des informations biomécaniques, révélant l'existence de désaxations subtiles ou de vraies déformations, alors que les incidences en décharge seront plus à même de révéler les

lésions osseuses. Les incidences de 3/4 de pied permettent de visualiser l'articulation transverse du tarse et le médio-pied qui, sur l'incidence de profil, présente trop de superpositions.

Le pied en incidence de face

Cette incidence inaugure le bilan radiographique du pied et est complétée de l'incidence de profil strict en charge dans un contexte orthopédique. Dans un contexte traumatique, elle est complétée par l'incidence de pied en déroulé (3/4) ou d'incidences localisées des orteils.

Indications spécifiques

En traumatologie

L'incidence est indiquée dans la recherche de fractures, luxations des différents os et articulations du pied.

En rhumatologie

L'incidence de pied de face est indiquée dans l'exploration articulaire de l'avant-pied.

Réalisation

En traumatologie, l'incidence est réalisée en décubitus. Le patient présente son pied à plat posé sur la cassette.

En orthopédie, l'incidence est réalisée en position debout, les deux pieds sont posés sur la cassette.

Dans les deux cas de figure, le rayon directeur est incliné perpendiculairement au cou-de-pied.

Radio-anatomie (figure 11.2)

Critères de qualité

Le pied est vu dans sa totalité.

Les interlignes articulaires interphalangienne et métatarso-phalangienne sont enfilées.



Fig. 11-2. Radio-anatomie de l'incidence de pied de face.

1. Naviculaire. 2. 1^{er} métatarsien. 3. Phalange proximale du 1^{er} métatarsien. 4. Phalange distale du 1^{er} métatarsien. 5. Phalange proximale du 2^e métatarsien. 6. Phalange moyenne du 2^e métatarsien. 7. Phalange distale du 2^e métatarsien.

Éléments de l'analyse/ images pièges

Le cadre osseux s'analyse selon sa densité et son intégrité. Les rapports articulaires et les axes osseux (lorsque l'incidence est réalisée debout) de l'avant-pied s'analysent selon le plan transversal. Les tissus mous peuvent indiquer une zone œdématiée.

À l'état sain, l'os (corticale et trame) est homogène et intègre.

Les interlignes articulaires sont d'épaisseur harmonieuse, les berges articulaires sont lisses et ne montrent pas de densification.

Les variantes de la norme sont nombreuses aux pieds et peuvent mimer des fractures [7].

Citons, pour cette incidence, l'os naviculaire accessoire (ou os tibial latéral), celui-ci peut se présenter sous trois formes différentes (figure 11.3) :

- un petit os arrondi à la face latérale du naviculaire. Cet os est un sésamoïde du tendon du muscle tibial postérieur et ne pose généralement pas de problème, sa découverte est souvent fortuite ;
- un os triangulaire volumineux, relié au naviculaire par une synchondrose. Le tendon du muscle tibial postérieur s'insère sur cet os. Cette forme peut mener à des pathologies de la

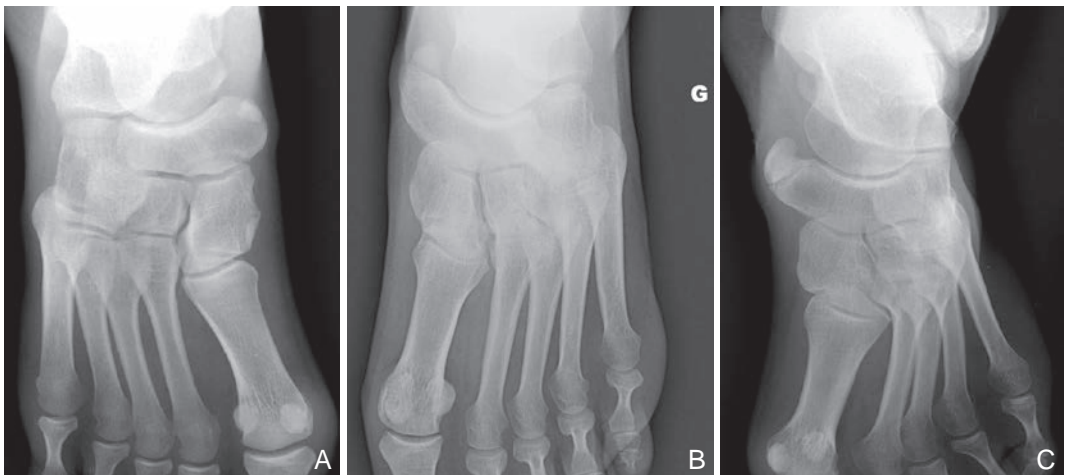


Fig. 11-3. Radiographie de pied de face présentant un os naviculaire accessoire de type 1 (A), 2 (B) et 3 (C).

néo-articulation si les contraintes du tendon y sont trop importantes ;

- une tubérosité dorso-médiale proéminente, donnant au naviculaire l'aspect et le nom d'os naviculaire cornu. Les pathologies rencontrées dans ce cas concernent le tendon du muscle tibial postérieur du fait des contraintes en compression qu'il subit entre l'os naviculaire cornu et le bord médial du col du talus.

Notions de pathologie

En traumatologie

Les traumatismes du pied résultent généralement d'entorses de l'arrière-pied ou de chocs directs, ces derniers étant les plus fréquents.

Parmi les différentes atteintes fracturaires, celles des métatarses sont de loin les plus fréquentes, suivies par les fractures des phalanges. Dans une moindre mesure viennent ensuite les fractures du naviculaire, du talus, du calcaneus puis du cuboïde.

Les fractures de fatigue sont une atteinte relativement fréquente. Elles sont rarement vues en radiographie standard initialement. La radiographie se positivra alors tardivement lors du remaniement osseux. Le diagnostic en sera plus sensible en scintigraphie (voir plus loin [figure 11.9](#)) [8].

En orthopédie

Les métatarses ont des longueurs qui aboutissent à positionner leurs têtes selon un arc de cercle. Cette disposition a un rôle fonctionnel important dans la répartition des contraintes lors de la marche. Un deuxième rayon trop long est à risque de fracture de fatigue et prédispose le pied à une usure anormale, des tendinopathies, etc.

Les métatarses sont configurés selon une ouverture de 20 à 28°. Le premier rayon présente un varus physiologique de 5 à 10° par rapport au deuxième rayon. Un métatarsus varus au-delà de 12° est souvent associé à l'hallux valgus.

L'hallux valgus se définit par l'angulation entre le premier métatarsien et la phalange proximale de plus de 12° (la norme étant entre 8 et 12°). Une

déformation en hallux valgus prédispose l'articulation métatarso-phalangienne à l'arthrose et à l'ostéophytose médiale.

● Remarque

La radiographie de pied dans le cadre d'un hallux valgus n'est indiquée qu'en préopératoire.

En rhumatologie

L'arthrose du pied n'est pas rare, mais souvent secondaire (hallux valgus, traumatisme, etc.). Les localisations préférentielles en sont :

- la première articulation métatarso-phalangienne ;
- l'interphalangienne de l'hallux.

Les arthropathies inflammatoires les plus fréquentes aux pieds sont :

- la goutte. Ses signes radiologiques sont :
 - les tophi : ce sont des densifications des parties molles, parfois calcifiées, à la base du gros orteil,
 - les érosions para-articulaires excentrées, limitées, en regard des tophi, pouvant être associées à des densifications périostées,
 - les géodes, souvent ovalaires et dans l'axe de l'os. Elles peuvent être polycycliques et donner un aspect d'os soufflé,
 - le pincement articulaire, qui est tardif dans l'évolution de la pathologie,
 - l'ostéophytose, qui est tardive et de petite importance,
 - l'absence de déminéralisation osseuse ;
- la polyarthrite rhumatoïde. Ses signes radiologiques sont :
 - la tuméfaction synoviale et l'infiltration des parties molles,
 - le pincement précoce de l'interligne articulaire,
 - la déminéralisation épiphysaire,
 - l'érosion marginale,
 - la luxation puis l'ankylose de l'articulation,
 - l'atteinte de l'interligne articulaire interphalangien distal, qui est rare.

Le pied en incidence de profil

Cette incidence est réalisée en charge, à l'inverse de l'incidence de 3/4 de pied.

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence n'est pas réalisée en traumatologie au profit de l'incidence de 3/4 du fait de la superposition des métatarses et des phalanges.

En orthopédie

Cette incidence permet de diagnostiquer des anomalies de la posture plantaire (pied plat, pied creux) et des causes anatomiques éventuelles à celles-ci.

Réalisation

Le patient est debout, généralement la plaque radiologique est positionnée entre les deux pieds et face au tube radiogène de façon à ce que le pied radiographié présente sa face latérale face au tube (figure 11.4).

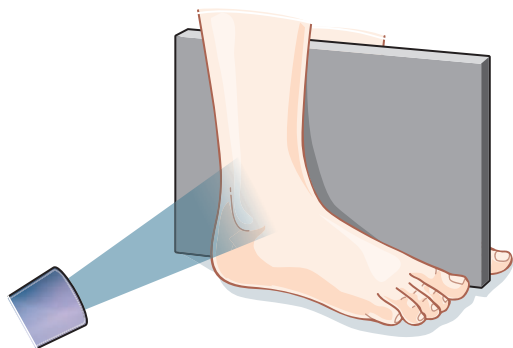


Fig. 11-4. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de pied de profil en charge.

Radio-anatomie (figure 11.5)

Critères de qualité

Comme pour l'incidence de cheville de profil, les deux malléoles doivent être superposées et le talus doit apparaître de profil.

On doit pouvoir, sur cette incidence, observer la totalité du pied, du calcaneus aux phalanges.

Éléments de l'analyse

On analyse ici principalement les axes articulaires, l'analyse du cadre osseux permet d'y déceler d'éventuelles anomalies anatomiques (cunéiformisation du naviculaire, etc.).

Notions de pathologie

De nombreux axes et angles ont été décrits (figure 11.6), citons parmi eux :

- l'angle de Djian-Annonier : c'est l'angle formé entre l'axe passant par le point inférieur du calcaneus et le point inférieur de l'interligne talo-naviculaire et l'axe passant par le point inférieur du sésamoïde latéral et le point inférieur de l'interligne talo-naviculaire. Cet angle doit être de 120 à 128°. En dessous est porté le diagnostic de pied creux, en dessus, celui de pied plat ;
- l'angle de Meary : c'est l'angle formé entre l'axe du talus et l'axe du 1^{er} métatarsien. Cet angle doit être de 180°.

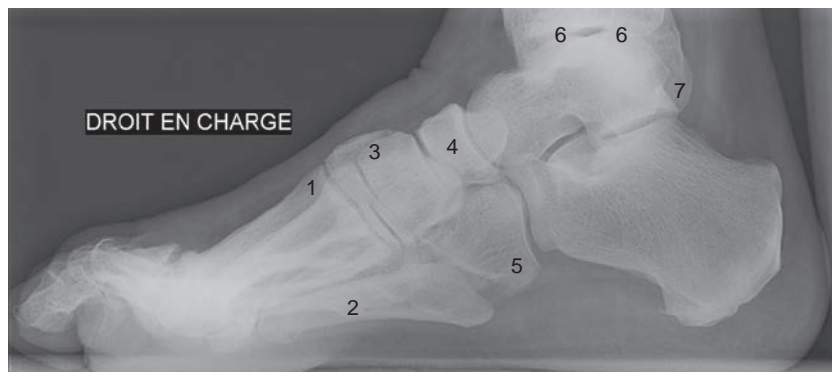


Fig. 11-5. Radio-anatomie de l'incidence de pied de profil.

1. 1^{er} métatarsien. 2. 5^e métatarsien. 3. 1^{er} cunéiforme. 4. Naviculaire. 5. Cuboïde. 6. Dômes taliens. 7. Épiphyse fibulaire.

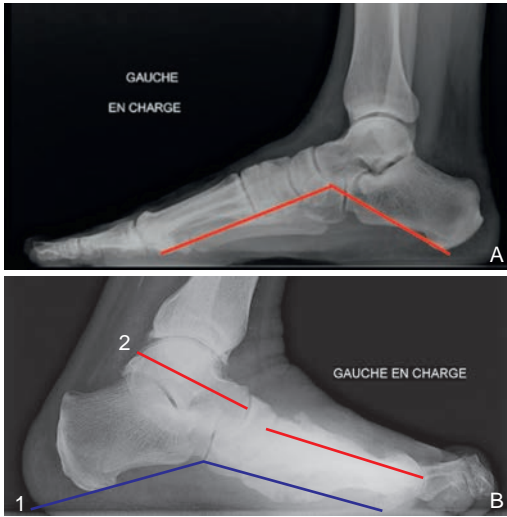


Fig. 11-6. Radiographie de pied de profil montrant les principales mesures des pieds.

A. Angle de Djian Annonier (l'angle au sommet de l'arche médiale est normalement compris entre 120° et 125°). **B.** Axe de Meary-Tomeno (les axes du talus et du 1^{er} métatarsien sont normalement alignés).

Le pied en incidence de 3/4

Il existe plusieurs variantes de cette incidence, souvent abusivement appelée incidence de pied de profil. L'incidence de 3/4 se nomme également incidence de pied déroulé.

Indications spécifiques

Cette incidence permet, à l'inverse de l'incidence de profil strict, de dégager l'avant-pied des superpositions osseuses.

En traumatologie

L'incidence est particulièrement utile dans la recherche de fractures de l'avant-pied. Elle est également utile dans les entorses de cheville pour observer la styloïde du 5^e métatarsien à la recherche d'une fracture par avulsion à cet endroit.

En rhumatologie

L'incidence peut permettre de dégager certains interlignes articulaires, invisibles sur l'incidence de face.

Réalisation

Le patient est en décubitus, positionne le pied comme pour l'incidence de face de pied puis tourne le pied de 45°.

Radio-anatomie (figure 11.7)



Fig. 11-7. Radio-anatomie de l'incidence de pied de 3/4. 1. 1^{er} métatarsien. 2. 1^{er} cunéiforme. 3. Naviculaire. 4. Talus. 5. Calcaneum. 6. Fibula. 7. 5^e métatarsien.

Critères de qualité

L'ensemble du pied doit être visible.

Le tarse antérieur et la base des métatarses doivent se superposer au minimum.

Éléments de l'analyse/ images pièges

L'incidence sert principalement à l'étude du cadre osseux. Les tuméfactions des tissus mous peuvent orienter la zone de recherche (en plus de la clinique).

L'os fibulaire (ou os péronéum ou os cuboïde accessoire) est un os accessoire relativement fréquent que l'on trouve au bord latéral du cuboïde (figure 11.8). Il s'agit d'un sésamoïde, dans le tendon du muscle long fibulaire situé à hauteur où ce dernier passe sous le cuboïde. Parfois cet os peut être multipartite, mais on doit alors suspecter une pathologie tendineuse sous-jacente (tendinite, ténosynovite ou déchirure).

Notions de pathologie

Les fractures les plus fréquentes intéressent les métatarses (figure 11.9).



Fig. 11-8. Radiographie de pied de 3/4 présentant un os fibulaire.

Le calcanéum en incidence axiale

Cette incidence est également appelée incidence rétro-tibiale.

Dans l'étude analytique du calcanéum, le bilan contient une incidence de profil et une incidence de face.

L'incidence de profil s'obtient de la même manière que l'incidence de cheville de profil. Il est parfois utile ici de réaliser successivement un profil médial et un profil latéral de façon à obtenir des superpositions différentes pour une complémentarité dans l'analyse.

Indications spécifiques

En traumatologie

C'est l'indication la plus courante de cette incidence.



Fig. 11-9. Radiographie de pied de 3/4 présentant une fracture.

Réalisation

Le patient est en décubitus, jambe du côté analysé en extension et ramène le pied en flexion maximale et le maintient en place grâce à une sangle.

Le rayon directeur est incliné céphaliquement et pénètre le talon par le tiers dorsal de la plante du pied.

Radio-anatomie (figure 11.10)



Fig. 11-10. Radio-anatomie de l'incidence axiale du calcanéum.

1. Grosse tubérosité calcanéenne. 2. Articulation sustentaculaire. 3. Styloïde du 5^e métatarsien.

Critères de qualité

Le calcanéum est dégagé sous forme d'une cloche renversée.

Éléments de l'analyse

On analyse la structure osseuse et sa corticale.

Il est parfois possible d'observer la partie dorsale de l'articulation sous-talaire.

Notions de pathologie

Les fractures du calcanéus peuvent être extra- ou intra-articulaires.

Les fractures extra-articulaires résultent d'avulsions osseuses par traction du tendon achilléen ou du muscle court extenseur du 5^e orteil. Ces fractures se retrouvent généralement chez le patient diabétique ou sont associées à des entorses de la cheville.

Les fractures intra-articulaires sont souvent complexes et résultent de traumatismes en impaction (figure 11.11).

Les sésamoïdes en incidence axiale

Cette incidence est également appelée incidence de Walter-Muller.

L'étude des sésamoïdes peut être utile à plusieurs égards. Si l'analyse nécessite un complément orthogonal, alors l'incidence de profil de pied, localisée à la tête du 1^{er} métatarsien, peut s'avérer utile.

Indications spécifiques

En traumatologie

Cette incidence est utile dans la recherche de fractures des sésamoïdes.

En orthopédie

L'incidence permet de mettre en évidence une luxation des sésamoïdes.

Réalisation

Le patient est en procubitus, le pied repose par les orteils sur la cassette de façon à ce que le pied soit en flexion de cheville et extension d'orteils (figure 11.12).

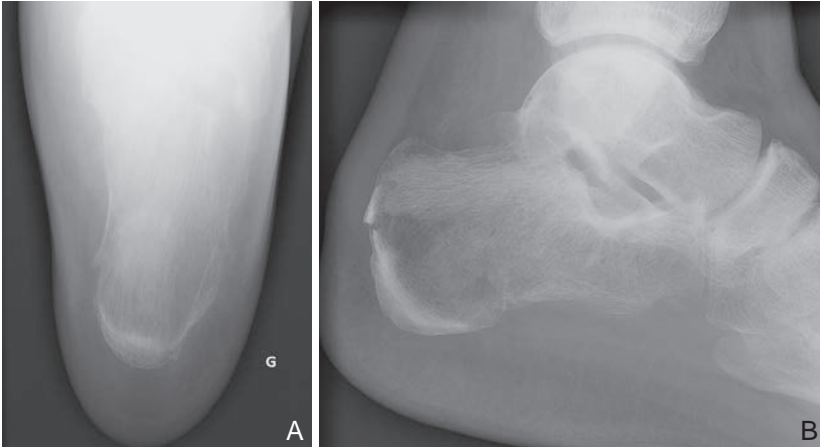


Fig. 11-11. Radiographie axiale de calcanéum présentant une fracture.

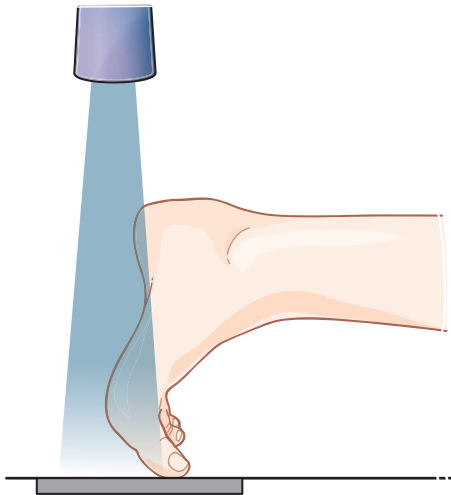


Fig. 11-12. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence axiale de sésamoïdes.

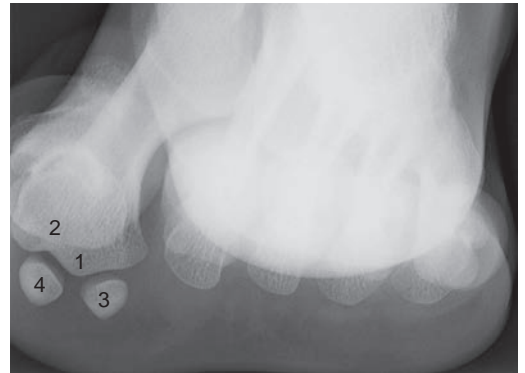


Fig. 11-13. Radio-anatomie de l'incidence axiale de sésamoïdes.

1. Tête du 1^{er} métatarsien.
2. Phalange distale.
3. Sésamoïde latéral.
4. Sésamoïde médial.

Radio-anatomie (figure 11.13)

Critères de qualité

L'interligne articulaire sésamoïdo-capito-métatarsienne apparaît parfaitement dégagée.

Éléments de l'analyse/ notions de pathologie

On analyse ici l'intégrité des sésamoïdes, les rapports articulaires et l'interligne sésamoïdo-capito-métatarsienne.

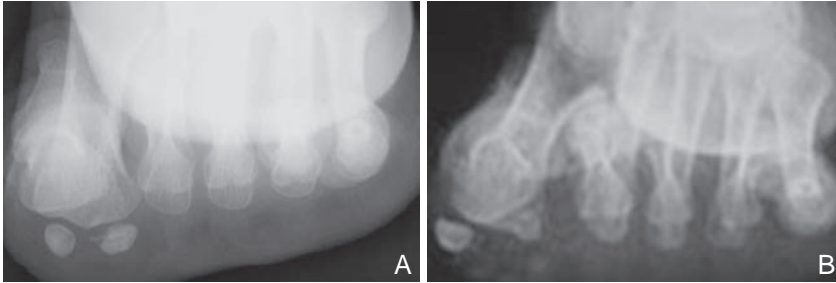


Fig. 11-14. Radiographie axiale de sésamoïdes présentant : une fracture (A) ; une luxation (B).

Les sésamoïdes de l'hallux sont situés dans les tendons du muscle court fléchisseur de l'hallux, et reçoivent pour le sésamoïde médial le tendon du muscle adducteur de l'hallux et, pour le sésamoïde latéral, le tendon du muscle adducteur de l'hallux. Ces os sont multipartites dans un tiers des cas (plus souvent bipartites que tripartites). Plus fréquemment présente au sésamoïde latéral, cette variante est bilatérale dans 50 à 85 % des cas. Un sésamoïde multipartite peut mimer une fracture, l'argumentation repose alors sur l'étude de la corticale qui doit apparaître lisse, la clarté est transversale, la somme des parties doit être supérieure à la taille du sésamoïde adjacent. En cas de doute résiduel, la scintigraphie fera la différence [9].

Les pathologies touchant les sésamoïdes sont de deux ordres :

- les fractures : elles résultent de traumatismes directs ou de microtraumatismes à répétition (figure 11.14a) ;
- les luxations : elles accompagnent les hallux valus à un stade avancé (figure 11.14b).

Épine calcanéenne

L'aponévrosite plantaire est une affection douloureuse de la plante du pied, elle se localise principalement en regard de la tubérosité calcanéenne. Cette atteinte est due à la sur-sollicitation de l'aponévrose plantaire pour des raisons généralement mécaniques, traumatiques ou posturales. La douleur est d'étiologie mal connue, *a priori* rarement liée à une atteinte inflammatoire, parfois liée à un syndrome de compression nerveuse [10].

L'épine calcanéenne (figure 11.15) désigne une production osseuse, plus ou moins importante, développée aux dépens de la partie postéro-médiale de la protubérance calcanéenne.

On retrouve, à la radiographie, une épine calcanéenne chez 50 % des patients présentant une douleur d'aponévrosite et chez 13 % de la population asymptomatique [11]. Notons également, en dissection, que chez environ la moitié des sujets présentant une épine osseuse, l'aponévrose n'a pas de point d'insertion sur celle-ci [12].

Les lois de production osseuse expliquent la formation de ce relief osseux. Dans le cas présent, la tension est probablement assurée, avant tout, par le muscle abducteur de l'hallux et parfois par l'aponévrose plantaire.

Autant on peut classiquement associer la douleur à cette tension musculo-aponévrotique, et de façon encore plus pertinente, à l'origine de cette tension ; autant on peut disculper l'épine de ce trouble.

De ce fait, la terminologie d'«épine irritative» devrait être abandonnée. De même la procédure thérapeutique classique à base de semelle orthopédique évidée devrait être utilisée avec parcimonie au risque de voir apparaître une décompensation à ce qui n'est ici qu'un traitement symptomatique. Il est clair que l'aspect de l'épine osseuse peut sembler expliquer son potentiel irritatif, mais c'est sans compter sur l'organisation tissulaire périphérique et invisible en radiographie. Une telle production osseuse se fait sur des années, la chronologie de la douleur est souvent autre lors d'une première consultation. Un traitement bien tenu ne vise pas à agir sur l'épine mais bien sur la source de sa production car bien que l'épine formée risque de ne pas se résorber, la douleur peut, la plupart du temps, se gérer par un traitement étiologique (postural ou autre).

À ce titre les collègues d'expert ne recommandent pas d'exploration en imagerie standard à la recherche d'épine mais tendent, au besoin, à orienter vers l'échographie ou l'IRM [13].



Fig. 11-15. Radiographie de pied de profil montrant une épine calcanéenne.

Apport à l'ostéopathie

L'imagerie du pied peut diriger l'orientation de la prise en charge ostéopathique, notamment par les contre-indications qu'elle apporte :

- contre-indications absolues à la mobilisation de la zone : fractures et entorses suspectées ou avérées ;
- contre-indications absolues aux manipulations structurelles du pied : fractures ou chirurgie orthopédique de moins de 90 jours ;
- contre-indications relatives en fonction de la technique employée : atteinte rhumatismale ou arthrosique en poussée inflammatoire ou si évoluées au point de modifier les réactions articulaires.

L'imagerie a également une valeur prédictive intéressante dans le cadre d'une prise en charge préventive en ostéopathie (on sait par exemple qu'un deuxième rayon bref prédispose à une symptomatologie de Morton et à l'inverse qu'un deuxième rayon long prédispose aux fractures de fatigue) .

Références

- [1] Karasick D, Schweitzer ME. The os trigonum syndrome : imaging features. *AJR Am J Roentgenol* 1996; 166(1) : 125-9.
- [2] Peterson JJ, Bancroft LW. Os peroneal fracture with associated peroneus longus tendinopathy. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 177(1) : 257-8.
- [3] Miller TT, et al. The symptomatic accessory tarsal navicular bone : assessment with MR imaging. *Radiology* 1995; 195(3) : 849-53.
- [4] Hodge JC. Anterior process fracture of calcaneus secundarius : a case report. *J Emerg Med* 1999; 17(2) : 305-9.
- [5] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom*. 1^{re}; 2005. p. 60.
- [6] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. In : *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom*. 1^{re}; 2005. p. 17.
- [7] Koulouris G, et al. Foot and ankle disorders : radiographic signs. *Seminars in Roentgenology* 2005; 40(4) : 358-79.
- [8] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom*. 1^{re}; 2005. p. 60.
- [9] Taylor JA, et al. Painful conditions affecting the first metatarsal sesamoid bones. *Radiographics* 1993; 13(4) : 817-30.
- [10] Cutts S, et al. Plantar fasciitis. *Ann R Coll Surg Engl* 2012; 94(8) : 539-42.
- [11] Shmokler RL, et al. A new use of instrumentation in fluoroscopy controlled heel spur surgery. *J Am Podiatr Med Assoc* 1988; 78(4) : 194-7.
- [12] Barret SL, et al. Endoscopic heel anatomy : analysis of 200 fresh frozen specimens. *J Foot Ankle Surg* 1995; 34(1) : 51-6.
- [13] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. *Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom*. 1^{re}; 2005. p. 22.

Chapitre 12

Imagerie du crâne et de la face

Le crâne est constitué de 28 os⁴⁹, répartis en neurocrâne et viscérocrâne. Le neurocrâne (la boîte crânienne) est constitué de la calvaria (d'origine membraneuse) et de la base (d'origine cartilagineuse). Cela représente huit os, plus trois paires d'osselets. Le viscérocrâne (squelette de la face) est formé de 13 os d'origine cartilagineuse. Il est articulaire avec la mandibule (l'os hyoïde n'est pas inclus ici, car il sera traité avec le rachis cervical). Les articulations du squelette céphalique sont celles de la chaîne ossiculaire, celles de la mandibule avec les temporaux et les maxillaires⁵⁰ et, encore, celles de l'occiput avec l'atlas. Le neurocrâne contient l'encéphale et présente plusieurs cavités aériques (sinus frontaux, ethmoïdaux, sphénoïdaux et mastoïdiens), il supporte également le système vestibulo-cochléaire. Le viscérocrâne porte les cavités oculaires, nasales, buccale et leur contenu. Il supporte, en outre, les sinus maxillaires. Le neurocrâne et, dans une moindre mesure, le viscérocrâne présentent également les forams de passage des structures vasculonerveuses (moelle épinière, nerfs crâniens, artères et veines) [1].

L'ossification du crâne est mixte, membraneuse pour les os de la voûte et de la majorité des os de la face, et enchondrale pour les os de la base. Les articulations des os du crâne (les

sutures) sont très mobiles dans la première partie de vie. Elles permettent une grande plasticité lors de l'accouchement et une grande expansivité de l'ensemble. Effectivement dans les six premiers mois de vie, le crâne double son volume, le triple avant 2 ans et à 3 ans est à 80 % de sa taille adulte.

Les sutures de la voûte (sutures coronale, sagittale, temporo-pariétale et lambdoïde) sont visibles en radiologie tout au long de la vie.

Un certain nombre d'anomalies de fusion des sutures peuvent avoir un retentissement anatomique et fonctionnel important. Ce sont notamment les craniosténoses et les craniosténoses.

Les fontanelles ne sont visibles que chez l'enfant :

- la fontanelle lambdoïde jusqu'au 2^e mois ;
- les fontanelles ptériques jusqu'à 4–6 mois ;
- les fontanelles astériques jusqu'à 18 mois–2 ans ;
- la fontanelle bregmatique jusqu'à 2–3 ans.

Le crâne peut nécessiter une investigation en imagerie pour de multiples raisons, mais globalement le recours à la radiographie standard s'est largement restreint depuis l'arrivée du scanner et de l'IRM [2].

Le scanner est l'examen de référence pour l'étude osseuse fine. Il permet également une bonne analyse du parenchyme cérébral sans et/ou avec injection de produit de contraste. Pour l'étude du crâne et de la face en traumatologie, le scanner est l'examen privilégié. Il est également de bonne sensibilité dans la recherche de tumeur intracrânienne et est donc très fréquemment utilisé en cancérologie.

L'IRM est l'examen de premier choix dans l'analyse des pathologies neurodégénératives, elle est également excellente dans l'étude des tumeurs intracrâniennes. Elle peut se réaliser avec ou sans

⁴⁹ L'occiput, l'ethmoïde, le sphénoïde, le frontal, les deux pariétaux, les deux temporaux ; les deux maxillaires, les deux palatins, les deux zygomatiques, les deux lacrymaux, les deux nasaux (OPN), les deux cornets inférieurs, le vomer ; la mandibule.

⁵⁰ Articulations interarcades ; nous n'évoquons pas ici les articulations alvéolo-dentaires ni les articulations interdentaires.

injection de produit de contraste. En raison de sa technologie, à l'inverse des examens ionisants, l'IRM peut faire ressortir le signal des flux circulants sans avoir à injecter de produit de contraste (en modulant les paramètres d'acquisition de la séquence).

L'échographie n'a globalement que peu d'intérêt dans l'étude de l'extrémité céphalique. Elle est utilisée pour l'analyse des quelques structures molles en avant de la structure osseuse (glandes salivaires en premier lieu). Elle est également utilisée pour l'analyse, au travers des fontanelles, des quelques structures cérébrales analysables par cette «fenêtre» chez le jeune enfant [3].

L'imagerie fonctionnelle du cerveau est possible en tomographie par émission de positons (TEP) ou encore en IRM fonctionnelle (IRMf). Ces types d'imageries sont intéressants en cancérologie ou encore dans l'analyse des fonctions cérébrales supérieures. L'IRMf permet de mettre en évidence l'activité d'une aire du cerveau lors d'une sollicitation donnée. Cette technique n'utilise pas de produit de contraste mais se base sur la différence de concentration en oxygène dans les zones «actives» du cerveau. La TEP se base sur les différences de fixations du traceur injecté. Cette technique est utilisée en neurosciences mais également en cancérologie.

Le recours à la radiographie standard dans l'étude de la zone céphalique est donc restreint. En effet, la sensibilité et la spécificité de l'imagerie conventionnelle sont moindres que celles des autres modalités d'imagerie dans la plupart des cas de figure. Ce constat restreint les indications persistantes qui sont principalement liées aux explorations stomatologiques et, dans une moindre mesure, à l'exploration ORL (oto-rhino-laryngologie).

On dénombre une vingtaine d'incidences radiologiques spécifiques de l'extrémité céphalique⁵¹, mais cinq d'entre elles représentent 98 % des réalisations. Ce sont celles que nous allons évoquer.

⁵¹ Incidences de : face basse, face haute, Worms, Blondeau, plancher de l'orbite, Waters, Gosserez, Hirtz, Hirtz latéralisé, Stenvers, défilé maxillaire, orthopantomogramme, profil, téléradiographies.

Indications générales

Le recours en première intention à l'imagerie conventionnelle du crâne tient à deux indications principales :

- en stomatologie/odontologie : dans les bilans pré-, per- et post-traitement. Dans ces cas, les incidences indiquées sont souvent l'orthopantomogramme, les téléradiographies de face et de profil ;
- en ORL : dans les recherches de foyers infectieux chroniques. Dans ce cas, les incidences indiquées sont l'incidence de Blondeau et l'incidence de crâne de profil.

De façon secondaire, en traumatologie, l'incidence des os propres du nez (OPN) garde son intérêt. En effet, sa sensibilité est largement suffisante pour une dose délivrée relativement limitée. De façon générale, un traumatisé crânien ne présentant pas de signes neurologiques n'aura pas d'imagerie. S'il présente des signes neurologiques, alors il sera orienté vers un scanner ou une IRM.

La radiographie du crâne en incidence de face haute

Elle prend son nom par analogie aux incidences de face dites «droites» et «basses» (que nous ne traiterons pas ici). La différence étant liée à la partie du crâne que l'on cherche à mettre en évidence.

Indications spécifiques

En traumatologie

Avant l'arrivée du scanner, cette incidence pouvait avoir le rôle «de débrouillage» inaugurant le bilan radiologique du crâne. Elle se réalisait alors avant les incidences plus spécifiques, adaptées à la clinique, des arcades zygomatiques, des rochers, de la voûte, etc. Aujourd'hui, la traumatologie ne constitue plus une indication à la réalisation de clichés standard. S'il y a lieu d'avoir une imagerie, il s'agira d'un scanner en première inten-

tion, mais l'IRM, qui reste difficile d'accès, tend à s'imposer comme référence en la matière [4].

En stomatologie

La stomatologie représente l'indication principale à la réalisation de cette incidence, elle se réalise alors spécifiquement avec une distance focale importante (3 m), pour réduire les agrandissements et permettre la prise de mesures à l'échelle réelle. La radiographie est alors faite avant, pendant et après traitement (orthodontique ou chirurgical) [5].

Avant une IRM

Avant la réalisation d'une IRM, si le patient présente des antécédents de pénétration oculaire par des corps étrangers métalliques ou s'il en est potentiellement porteur. On réalise alors ce cliché centré sur la cavité orbitaire. Le but étant de prévenir le risque de déplacement des fragments pendant l'examen [6].

Réalisation

Le cliché peut être réalisé patient debout ou couché en antéropostérieur ou en postéro-antérieur, sauf dans un contexte d'exploration odontolo-

gique, le cliché sera alors réalisé patient assis, la tête maintenue en position par un dispositif de maintien du crâne (figure 12.1).

Radio-anatomie (figure 12.2)

Critères de qualité

Les clichés du crâne de face (comme toute radiographie du squelette axial de face) doivent impérativement être annotés en droite-gauche, car, sans savoir le sens de réalisation du cliché (antéropostérieur ou postéro-antérieur), il est impossible de distinguer le côté droit du côté gauche.

Les critères de qualité spécifiques à cette incidence sont :

- la symétrie de l'image. Par exemple, des fosses temporales (distance entre le bord latéral de l'apophyse frontale du zygomatique et la voûte crânienne) selon un axe sagittal médian sont un critère de non-rotation de la tête (sous condition que celle-ci soit symétrique);
- la projection des pyramides pétreuses sous le rebord des orbites. Ceci est un critère de bonne extension de la tête, gage du dégagement des orbites d'un maximum de superpositions osseuses.

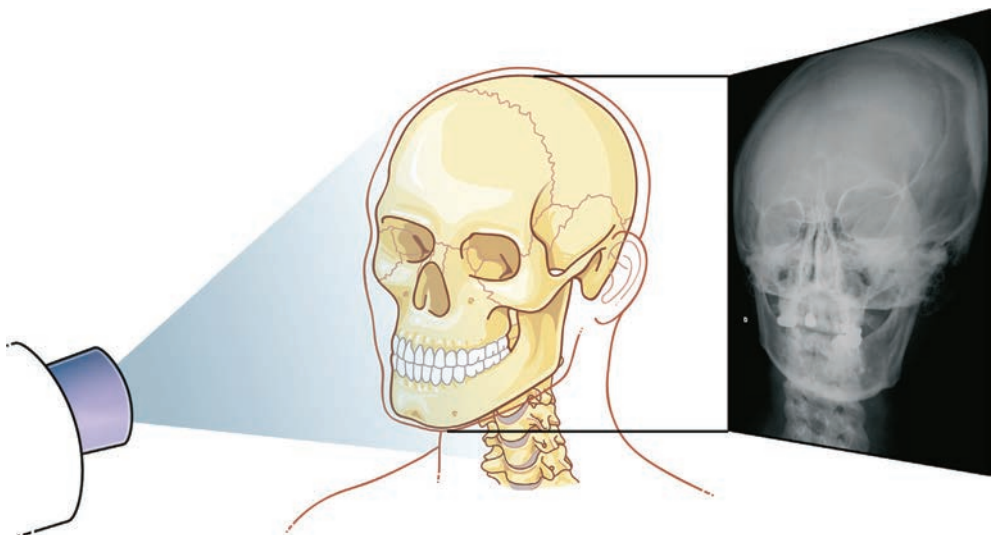
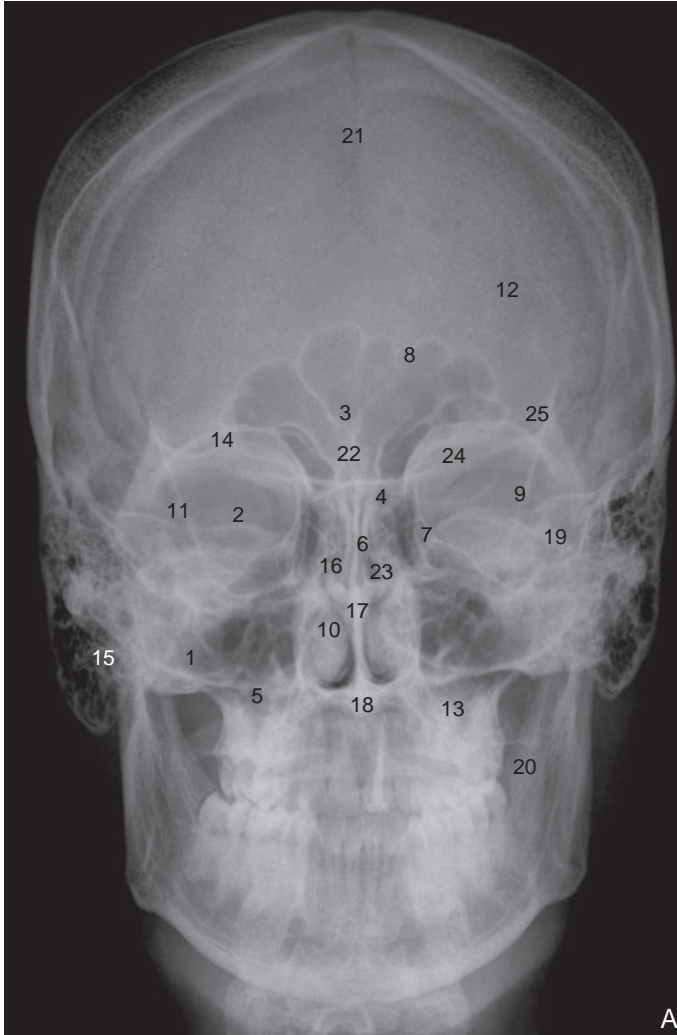
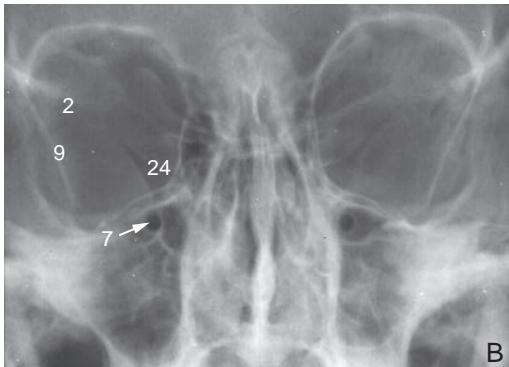


Fig. 12-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de crâne en face haute.



A



B

Fig. 12-2. Radio-anatomie de l'incidence de crâne en face haute.

1. Basi-occipital. 2. Corps de l'os sphénoïde. 3. Crista galli. 4. Cellules ethmoïdales. 5. Plancher du sinus maxillaire (antre d'Highmore). 6. Plancher de la fosse hypophysaire (pituitaire). 7. Foramen rond. 8. Sinus frontal. 9. Grande aile de l'os sphénoïde. 10. Cornet nasal inférieur. 11. Méat acoustique interne. 12. Suture lambdaïdoïde. 13. Masse latérale de l'atlas (1^{re} vertèbre cervicale). 14. Petite aile de l'os sphénoïde. 15. Processus mastoïde. 16. Cornet nasal moyen. 17. Septum nasal. 18. Dent de l'axis (processus odontoïde) (2^e vertèbre cervicale). 19. Partie pétreuse de l'os temporal. 20. Branche de la mandibule. 21. Suture sagittale. 22. Jugum sphénoïdal. 23. Sinus sphénoïdal. 24. Fissure orbitaire supérieure. 25. Face temporale de la grande aile de l'os sphénoïde.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

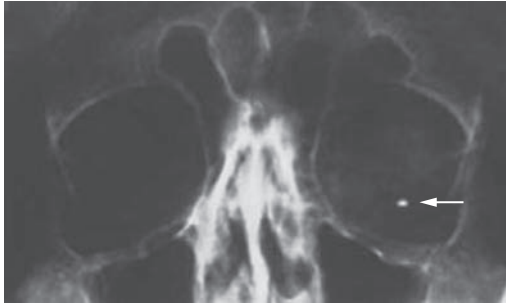


Fig. 12-3. Incidence des orbites (crâne en face haute localisée), montrant un corps étranger métallique dans la cavité orbitaire gauche.

Éléments de l'analyse

Outre la recherche de corps étrangers intra-oculaires avant la réalisation d'une IRM (figure 12.3), l'étude du crâne en face haute est faite pour obtenir des mesures stomatologiques. Ces mesures sont réalisées par le prescripteur qui en déduit alors la prise en charge [7].

La radiographie du crâne en incidence de Blondeau

C'est la radiographie du crâne la plus prescrite du fait que ses indications, bien que moins nombreuses, soulèvent une réalité clinique plus fréquente. Le Blondeau et sa variante, réalisée bouche ouverte, sont les incidences utilisées pour mettre en évidence les sinus du crâne et de la face.

Indications spécifiques

Recherche de foyers infectieux

Il s'agit de la seule indication de l'incidence. En pratique, elle est réalisée pour mettre en évidence le contenu des sinus frontaux, maxillaires, voire sphénoïdaux lorsque l'incidence est réalisée bouche ouverte. Ceci sera intéressant dans les sinusites chroniques ou atypiques ou encore dans la recherche de foyers infectieux chroniques. Il est à noter que la sensibilité de cet examen est relativement médiocre (de 50 à 80 %), ce qui, confronté au faible apport diagnostique, pousse les experts à

préconiser la diminution des prescriptions à la faveur du scanner, pour les cas préchirurgicaux notamment [8].

Rappelons, du fait de l'absence de sinus chez l'enfant en bas âge, l'inutilité de réalisation de ce cliché avant 4 à 10 ans (voir plus loin figure 12.7).

Réalisation

L'incidence est obligatoirement réalisée patient debout ou assis et rayon directeur horizontal (figure 12.4), ceci pour permettre la mise en évidence d'un niveau hydro-aérique. En effet, la tangentialité du rayon directeur avec l'interface eau-air garantit une grande différence de densité entre les projections des deux milieux et facilite alors la visualisation du niveau. On contrôle l'inclinaison du tube, donc de l'axe de diffusion des rayons, or, on sait qu'un niveau hydrique est forcément horizontal. D'où ce positionnement.

L'ouverture de la bouche peut être demandée (incidence de Grachet), ceci dans le but de dégager la superposition de la mandibule de celle du sinus sphénoïdal et d'en permettre l'analyse (l'incidence de Hirtz peut être un complément : figure 12.5).

Radio-anatomie (figure 12.6)

Critères de qualité

Aucun élément sur le cliché ne garantit les bons positionnements relatifs du patient par rapport au tube lors de la réalisation du cliché (à moins d'avoir un niveau hydro-aérique). Nous devons donc supposer que le rayon directeur est bien horizontal.

Les critères de qualité identifiables sont :

- la symétrie droite-gauche de l'image ;
- la projection des pyramides pétreuses sous le rebord des sinus maxillaires.

Ceci est le gage du dégagement des sinus d'un maximum de superpositions osseuses.

Éléments de l'analyse

L'analyse d'un cliché, même spécifique comme celui-ci, ne doit jamais faire oublier l'étude de l'ensemble de structures présentes, à savoir ici,

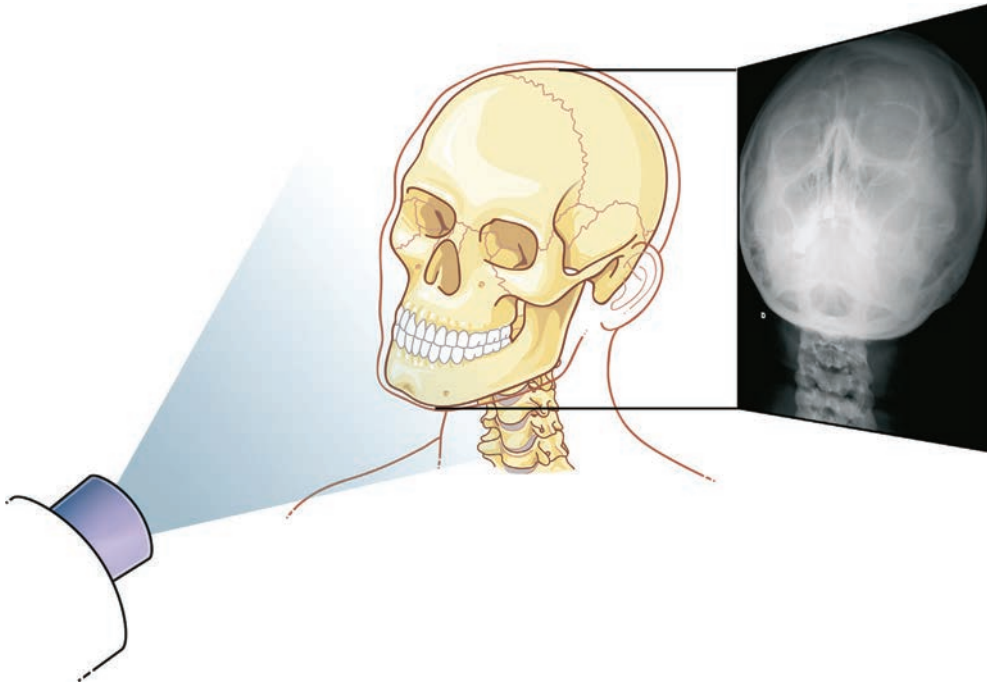


Fig. 12-4. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de Blondeau.



Fig. 12-5. Radio-anatomie de l'incidence de Hirtz.
L'incidence de Hirtz, réalisée en extension complète de tête, permet l'analyse des sinus en projection cranio-caudale.
Source : Weir J. et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.



Fig. 12-6. Radio-anatomie de l'incidence de Blondeau.
Source : J.-C. Ferrie et al. Imagerie radiologique des cavités sinusiennes et nasales. EMC – Radiologie et imagerie médicale : Cardiovasculaire – Thoracique – Cervicale 2008 : 1-19.

outre les cavités sinusiennes, la structure osseuse avoisinante (voûte, orbites, maxillaires et mandibule), dans la mesure où le cliché n'est pas diaphragmé aux seuls sinus, ce qui peut être le cas.

On étudie alors les sinus, en termes de présence et de taille, puis la muqueuse sinusienne en termes de trophicité et de symétrie, et pour finir la densité de la cavité et la recherche d'un éventuel niveau.

Notions de normalité et de pathologie

Les sinus ne sont pas tous présents à la naissance et évoluent grandement jusque dans la deuxième

décennie de vie (figure 12.7). L'interprétation des clichés de sinus chez l'enfant requiert cette connaissance. Il existe par ailleurs une grande variabilité interindividuelle concernant la trophicité des sinus, sans que cela ne soit pour autant pathologique.

À l'état normal, la muqueuse sinusienne est millimétrique et n'apparaît pas à la radio. Les sinus sains apparaissent de clarté homogène. À l'état normal, la pneumatisation des sinus frontaux laisse apparaître une densité équivalente à celle des orbites. La pneumatisation normale des sinus maxillaires laisse apparaître une densité équivalente à celle des fosses nasales. Les exemples pathologiques présentés dans la figure 12.8 sont les formes les plus fréquemment retrouvées de sinusites.

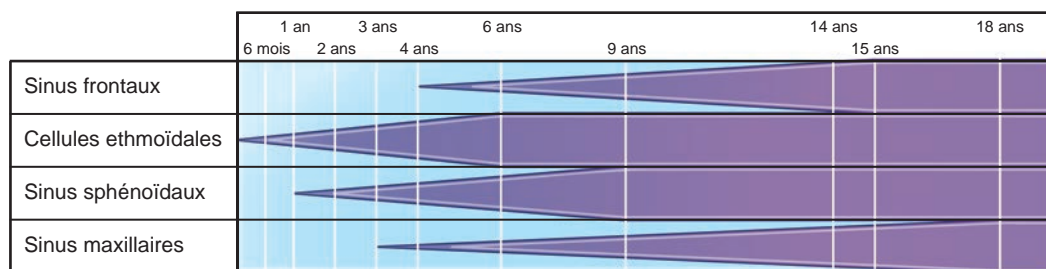


Fig. 12-7. Schéma du développement des sinus.

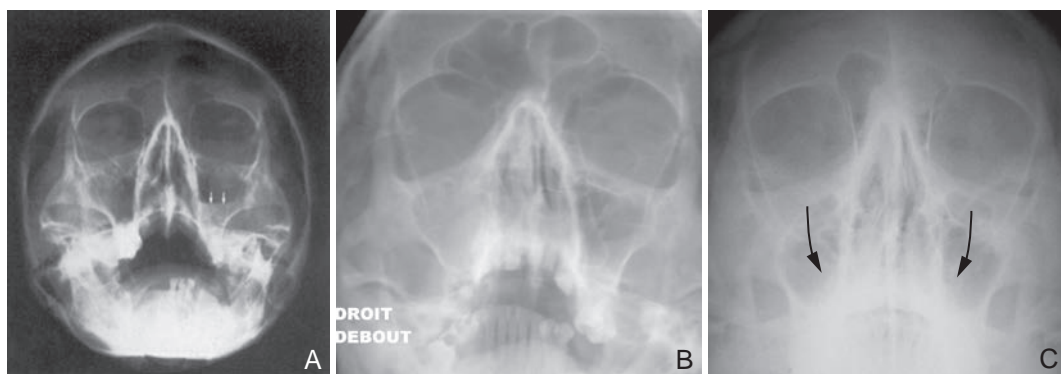


Fig. 12-8. Différents aspects radiologiques d'une sinusite.

A. Niveau hydro-aérique (sinusite en phase aiguë). **B.** Comblement complet du sinus droit. **C.** Épanchement muqueux bilatéral.

Source : Ricard F. Traité de médecine ostéopathique du crâne et de l'articulation temporomandibulaire. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

La radiographie du crâne de profil

Cette incidence complète le bilan radiologique standard du crâne en accompagnant la radiographie de face (quelle qu'elle soit et quelle qu'en soit l'indication).

Indications spécifiques

En traumatologie

Du temps où la radiographie de face se pratiquait dans cette indication, la radiographie de crâne de profil apportait l'incidence orthogonale indispensable à la localisation du trait de fracture quand il intéressait la voûte ou la mandibule notamment.

En stomatologie

C'est l'incidence de référence en la matière, elle permet la prise de mesures craniométriques avant, pendant et après traitement orthodontique ou chirurgical. Dans cette indication, la radiographie est, comme pour la face, réalisée à une distance focale limitant l'agrandissement radiologique de façon à permettre des mesures sur cliché sans avoir à y apporter un facteur de correction [9].

Recherche de foyers infectieux

Ici encore, l'incidence complète la radiographie de face. Elle permet une vision des sinus frontaux, maxillaires et sphénoïdaux de profil.

Réalisation

En fonction de l'indication et du contexte clinique, l'incidence pourra être réalisée patient couché, mais sera plus fréquemment réalisée patient debout ou assis. En stomatologie, comme pour la face, le crâne est maintenu par un dispositif de serrage léger de la tête (cela pour limiter le flou de mouvement et assurer un profil strict – deux tiges parfois radio-opaques viennent y aider en se logeant dans les tragus).

Radio-anatomie (figure 12.9)

Critères de qualité

- Toutes les structures paires doivent apparaître superposées (citons le toit des orbites, les grandes ailes du sphénoïde et la mandibule). Un dédoublement d'une de ces structures signe une inclinaison latérale de la tête quand le décalage se fait dans une direction cranio-caudale. Un dédoublement antéropostérieur est en faveur d'une rotation relative de la tête.
- La mandibule doit se dégager de la superposition avec le rachis cervical (pour faciliter la lecture radiologique). Le cliché est pour cela souvent réalisé en légère extension de tête.

Éléments de l'analyse

L'analyse est très dépendante du contexte clinique et de l'indication de la réalisation de l'incidence.

Il est cependant intéressant de commencer l'étude de la radiographie du crâne de profil par l'analyse fine des structures osseuses. Pour cela, la connaissance de la radio-anatomie et de la normalité est importante. L'analyse des contours osseux permet d'éliminer quelques anomalies à ce niveau (dysmorphoses, variantes de la normale, signes de vieillissement, etc.). L'étude des cavités pneumatisées de la tête peut alors être entreprise. Il est intéressant de finir par l'étude des parties molles visibles, notamment le rhinopharynx.

L'étude craniométrique prend en compte nombre de points repérables du crâne et vise à déterminer, notamment, les distances entre ces points et les angles formés entre les traits les unissant. Elle prend également en compte les tissus mous, notamment la langue, pour déterminer une éventuelle malposition de celle-ci [10].

Notions de pathologie

Pour coller aux indications, nous abordons ici les cas de sinusites et la craniométrie uniquement. Évoquons avant cela les calcifications de l'épiphyse et des plexus choroïdes qui sont fréquentes chez la personne âgée et non symptomatiques (figure 12.10).

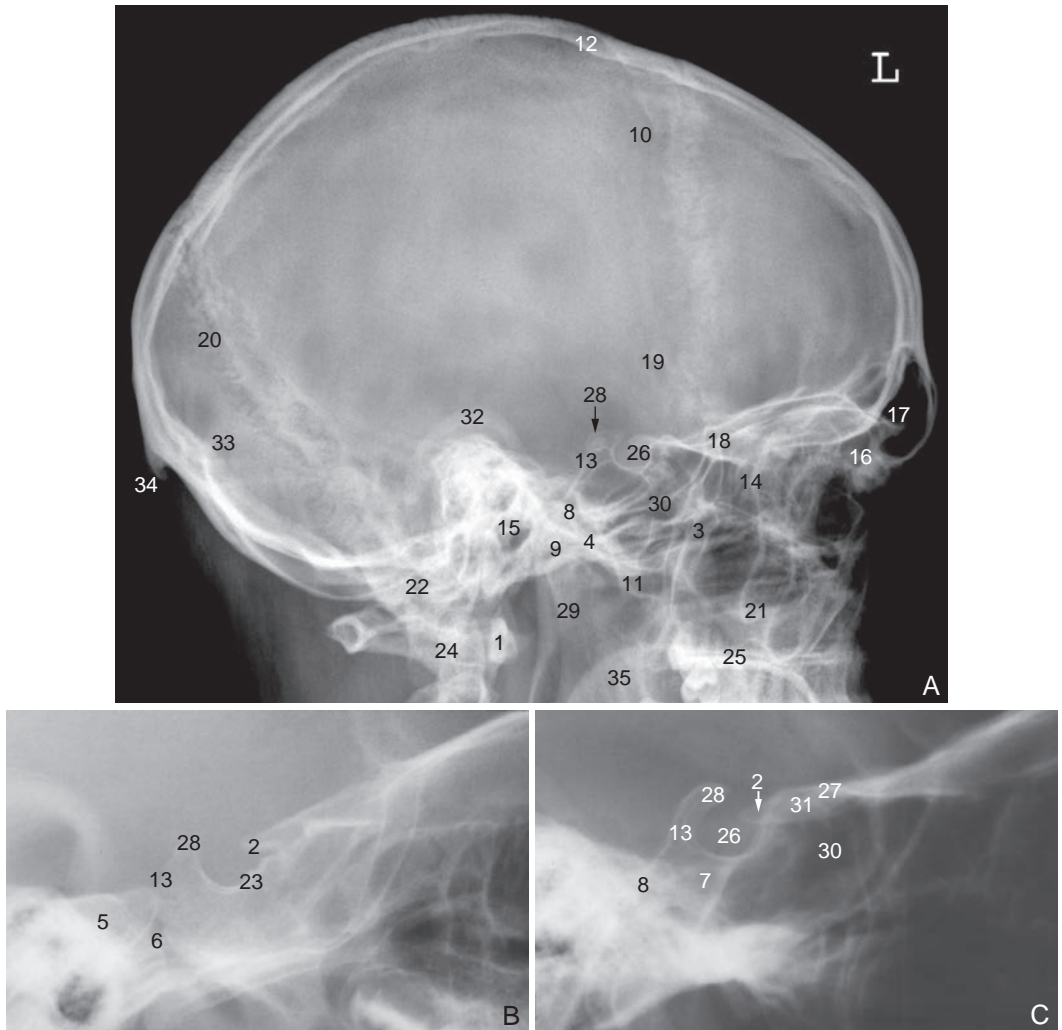


Fig. 12-9. Radio-anatomie de l'incidence de crâne de profil.

A. Crâne, incidence de profil. **B.** Fosse hypophysaire (pituitaire) (selle turcique) d'un enfant de 7 ans. **C.** Fosse hypophysaire (pituitaire) (selle turcique) d'une femme de 23 ans, incidences de profil.

1. Arc antérieur de l'atlas (1^{re} vertèbre cervicale). 2. Processus clinéoïde antérieur. 3. Arc zygomatique. 4. Tubercule articulaire de l'articulation temporo-mandibulaire. 5. Partie basilaire de l'os occipital. 6. Synchrondrose basisphénoïde-basioccipitale. 7. Sillon carotidien. 8. Clivus. 9. Processus condyloïde de la mandibule. 10. Suture coronale. 11. Processus coronoïde de la mandibule. 12. Diploë. 13. Dos de la selle. 14. Cellules ethmoïdales. 15. Méat acoustique externe. 16. Processus frontal de l'os zygomatique. 17. Sinus frontal. 18. Grande aile de l'os sphénoïde. 19. Sillons des vaisseaux méningés moyens. 20. Suture lambdoïde. 21. Processus zygomatique de l'os maxillaire. 22. Cellules mastoïdiennes. 23. Processus clinéoïde moyen. 24. Dent de l'axis (2^e vertèbre cervicale). 25. Processus palatin de l'os maxillaire. 26. Fosse hypophysaire (selle turcique). 27. Jugum sphénoïdal. 28. Processus clinéoïde postérieur. 29. Branche de la mandibule. 30. Sinus sphénoïdal. 31. Tubercule de la selle. 32. Auricule. 33. Inion. 34. Protubérance occipitale externe. 35. Palais mou.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

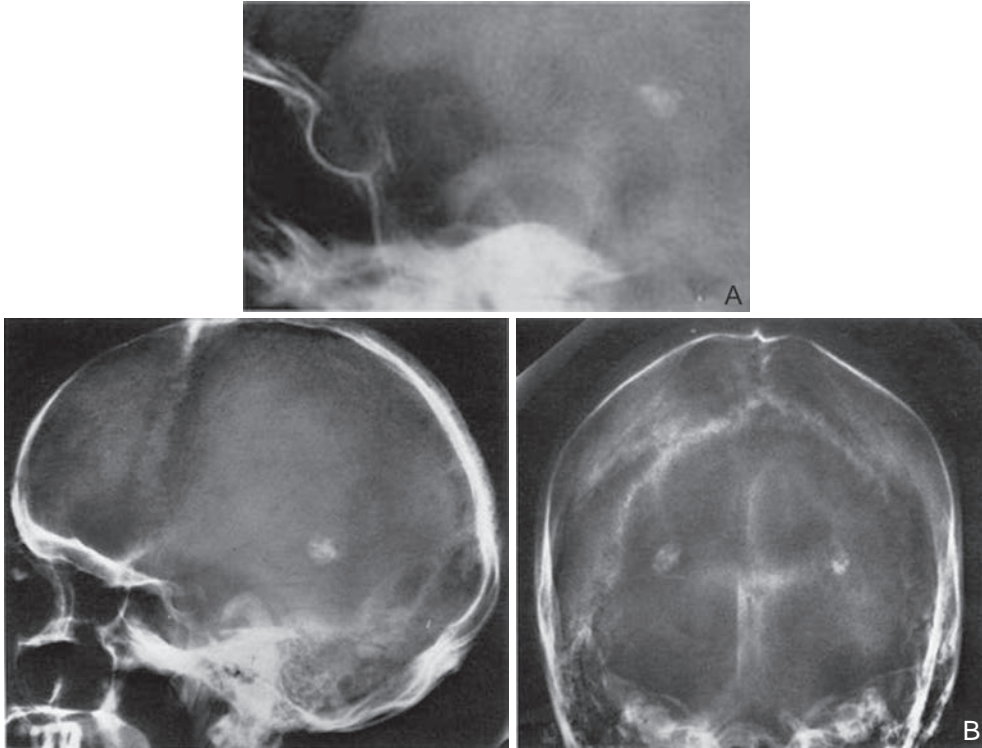


Fig. 12-10. Images normales de calcifications intracrâniennes.

A. Calcification de l'épiphyse. **B.** Calcification des plexus choroïdes.

Source : Alain Bonafé et al. Radiographie standard du crâne de l'adulte. Limites du normal et du pathologique. EMC – Radiologie et imagerie médicale : Musculosquelettique – Neurologique – Maxillofaciale 1996 ; 1-0.

Dans les cas de sinusites, la radiographie de profil permet de confirmer le diagnostic posé par l'incidence de face ; en revanche, dans le cas de l'atteinte d'un sinus pair, elle ne permet pas de latéraliser le problème (du fait de la superposition). Elle apporte en revanche une information importante sur le sinus sphénoïdal qui présente de nombreuses superpositions sur l'incidence de face (figure 12.11).

La craniométrie, qu'elle soit réalisée à la main ou par un logiciel informatique (TRIDIM® par exemple), se base sur la comparaison des mesures obtenues par rapport à des données générales. Ces mesures permettent, notamment, de quantifier les dysmorphoses crâniennes, mandibulaires ou encore les malpositions linguales (figure 12.12).



Fig. 12-11. Radiographie de crâne de profil montrant un niveau hydro-aérique du sinus sphénoïdal.

Source : Ricard F. Traité de médecine ostéopathique du crâne et de l'articulation temporo-mandibulaire. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010

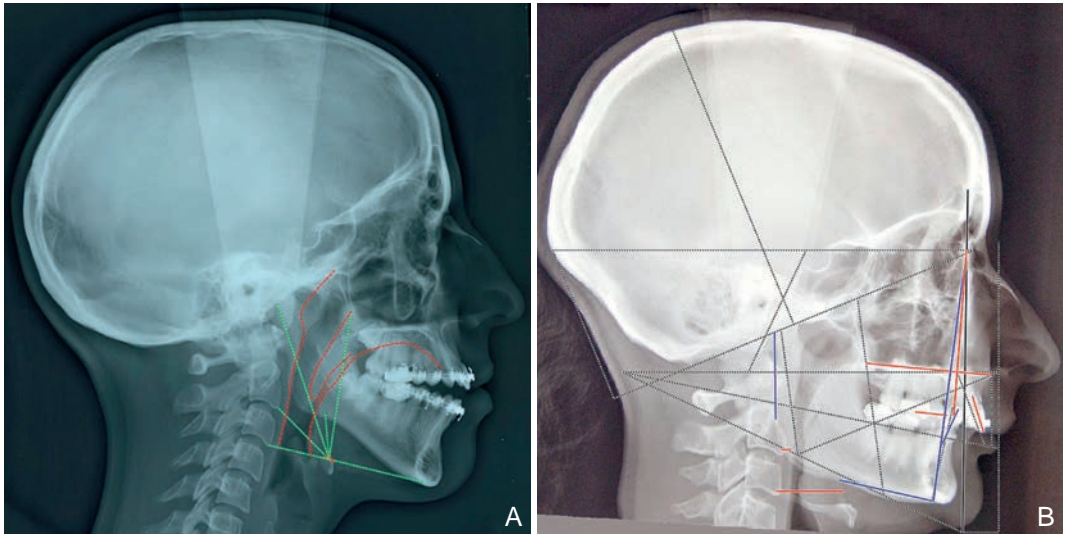


Fig. 12-12. Exemple de mesures craniométriques pour : les tissus mous (A) ; la structure crânienne (B).

● Remarque

La craniométrie peut être utilisée dans les syndromes d'apnée du sommeil, elle peut alors montrer :

- une rétrognathie mandibulaire et/ou une rétroposition maxillaire ;
- une diminution du diamètre antéropostérieur de la lumière oropharyngée ;
- une position basse et avancée de l'os hyoïde ;
- une longueur accrue du voile du palais.

La radiographie des os propres du nez

Cette incidence est une incidence de crâne de profil mais localisée à la pyramide nasale. Les constantes radiologiques sont adaptées pour ne pas surexposer l'image.

Indications spécifiques

Cette incidence n'est utile qu'en traumatologie ou avant une chirurgie du nez. Elle permet une vision des os propres du nez (OPN) de profil, de leur aspect et de leur intégrité.

Réalisation

Elle ne présente pas de particularités, si ce n'est la nécessité d'avoir une position de tête strictement de profil pour ne pas superposer la structure avec des éléments osseux du rebord orbitaire.

Radio-anatomie (figure 12.13)

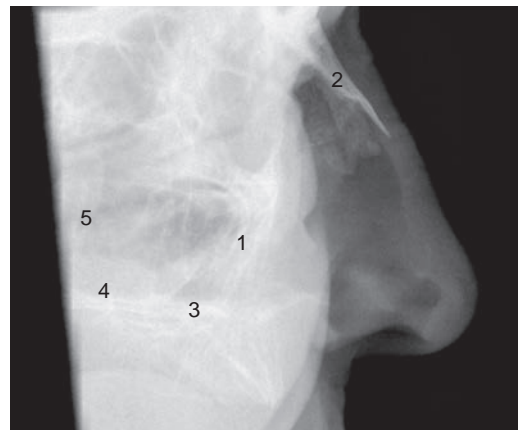


Fig. 12-13. Radio-anatomie de l'incidence des OPN.

1. Paroi antérieure du sinus maxillaire. **2.** Os nasaux. **3.** Processus palatin du maxillaire. **4.** Lamme horizontale de l'os palatin. **5.** Paroi postérieure du sinus maxillaire.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Critères de qualité

- Le contraste doit permettre la bonne visualisation de la structure osseuse.
- Les rebords orbitaires droit et gauche doivent apparaître superposés.

Éléments de l'analyse

Les OPN s'ossifient vers 4 ans, il est donc inutile de réaliser cette incidence avant cette date.

Au-delà et jusqu'à environ 15 ans, on observe la zone cartilagineuse de croissance à la base de la pyramide [11]. Chez l'adulte, il existe une grande variabilité dans la forme et dans la trophicité de ces os ; à cette période en revanche, une solution de continuité signera toujours une fracture (figure 12.14).

Le panoramique dentaire

Le panoramique dentaire est la radiographie du massif céphalique la plus réalisée. Également appelée orthopantomogramme (OPG), cette radiographie utilise une technique spécifique de



Fig. 12-14. Radiographie des OPN montrant une fracture de ceux-ci.

tomographie rotative, c'est-à-dire que le couple tube-plaque décrit un arc de cercle autour du visage du patient qui, lui, reste immobile. Cela permet une vision en coupe dans le plan de l'arcade dentaire des structures maxillo-mandibulaires. Lors de ce déplacement du couple tube-plaque, la plaque a également un mouvement spécifique de translation, ce qui permet une vision « étalée » des structures.

L'appareil utilisé pour la réalisation de cette incidence est dédié à cet examen et à l'étude des articulations temporo-mandibulaires (ATM) [12].

Indications spécifiques

En traumatologie

Du fait de sa plus grande accessibilité que le scanner, le panoramique dentaire peut être utile en première intention dans l'analyse des structures osseuses ou des rapports articulaires des ATM.

Dans les sinusites chroniques

Dans le cas où l'on suspecte une étiologie en lien avec un rapport conflictuel entre l'apex d'une canine et le plancher d'un sinus maxillaire (avec effraction d'amalgame dentaire dans le sinus par exemple), le panoramique dentaire peut être un complément intéressant à l'incidence de Blondeau et au profil classique. Rappelons cependant que l'image obtenue n'est qu'une coupe passant par le fond du sinus qui peut atteindre 50 mm de profondeur, la majeure partie du sinus n'est donc pas vue ici.

En stomatologie, orthodontie

C'est l'indication principale de l'examen. Le panoramique sera alors utile à l'observation globale de l'état dentaire, chez l'adulte comme chez l'enfant en croissance, en pré-, per- et post-traitement orthodontique, etc.

L'examen permet aussi une étude spécifique de l'ATM, on réalise alors deux clichés, en occlusion normale puis bouche ouverte.

Réalisation

Le patient se tient immobile, les dents souvent serrées sur une tige (pour faciliter le centrage, limiter les superpositions osseuses et aider au maintien de la position immobile) pendant que l'appareil tourne autour de sa tête (figure 12.15).

Radio-anatomie (figures 12.16 et 12.17)

Pour faciliter la lecture, une convention de numérotation des dents est appliquée, divisant la mâchoire en quatre quarts numérotés du quart maxillaire droit et allant dans le sens des aiguilles d'une montre. Les dents sont numérotées de 1 à 8 de médial vers latéral. Chez l'enfant et pour différencier les dents lactéales des dents définitives, les dents lactéales sont numérotées selon des quadrants de 5 à 8. Les dents se numérotent de 11 à 18, de 21 à 28, etc., de telle

sorte que le premier chiffre corresponde au quadrant et le deuxième à la position de la dent sur l'arcade.

Exemples : chez un adulte, la canine maxillaire droite est numérotée 13. Chez un enfant, la dernière prémolaire mandibulaire gauche est numérotée 35.

Critères de qualité

Un orthopantomogramme de bonne qualité répond à trois critères de qualité spécifiques :

- voir la totalité de l'articulé dentaire, d'une ATM à l'autre et du bas-fond des sinus maxillaires à la symphyse mentonnière, elle-même analysable dans son entièreté;
- faire apparaître l'ensemble selon une légère courbe à concavité supérieure;
- faire que la coupe passe précisément par les racines dentaires et le canal du nerf mentonnier (celles-ci apparaissant alors nettes).

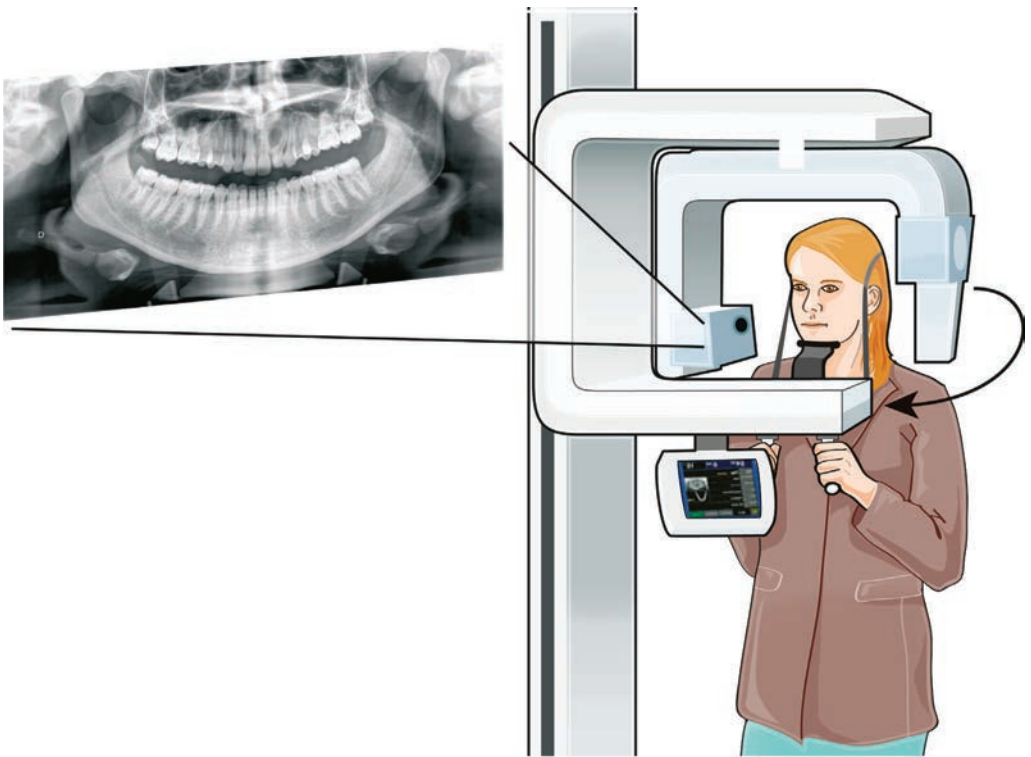


Fig. 12-15. Schéma de la réalisation d'un panoramique dentaire.

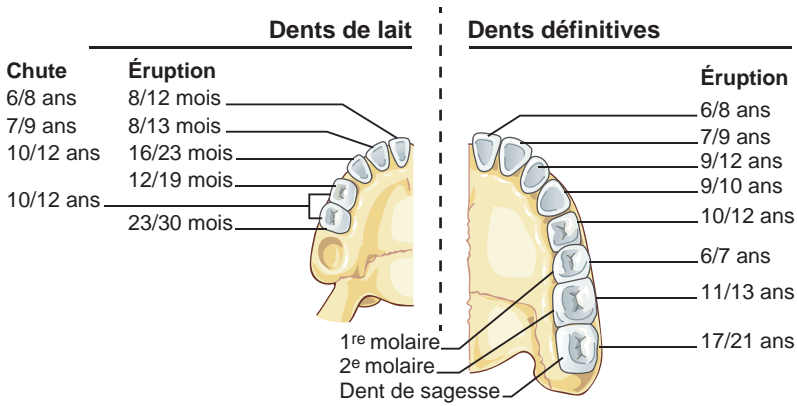


Fig. 12-16. Schématisation des dates de sortie dentaire.

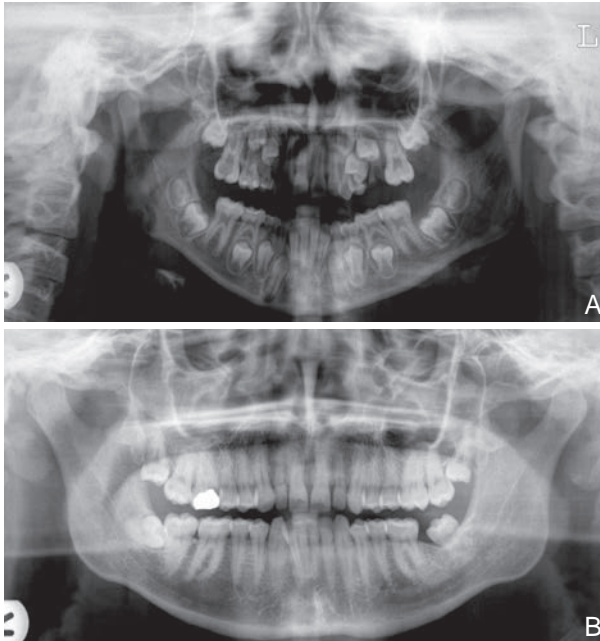


Fig. 12-17. Radio-anatomie de l'OPG chez un enfant de 6 ans (A) et chez un adulte (B).

Éléments de l'analyse

Elle débute par l'étude de l'ensemble des structures osseuses et des articulations, de la densité et de l'homogénéité de la trame osseuse, notamment au niveau des articulations alvéolo-dentaires. Le panoramique dentaire n'est pas réalisé à la recherche de caries (ce sera le rôle des radiographies endo-buccales). L'étude de la densité dentaire permet néanmoins un recul intéressant sur la

vitalité de la dent; on y distingue les densités de l'émail, de la dentine et de la pulpe dentaire.

Notions de pathologie

Les images pathologiques (figure 12.18) sont de plusieurs ordres :

- anomalies de nombre (agénésies et dents surnuméraires), de taille, de forme, de structure et de situation (transposition, inclusion, ectopie...);

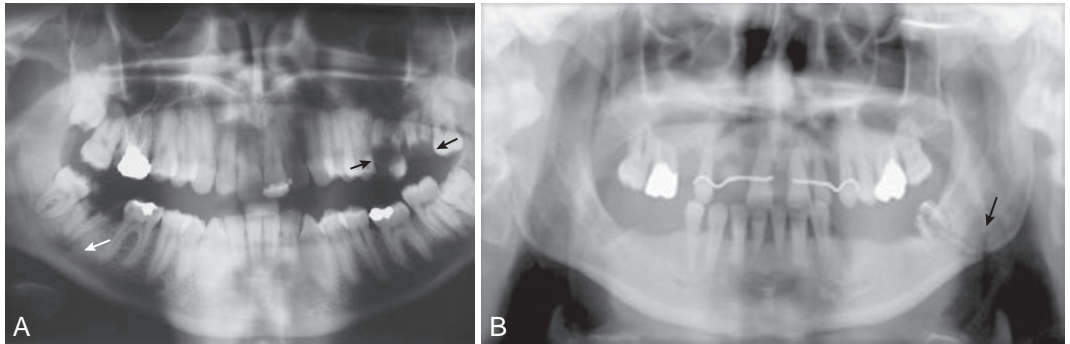


Fig. 12-18. OPG pathologiques.

A. Caries (↗); granulomes apicaux (↘). **B.** Traits de fracture (↗).

Source : I. Barthélémy et al. Limitations d'ouverture de bouche. EMC – Médecine buccale 2009 : 1-19., L. Frison et al. Fractures de la mandibule. EMC – Médecine buccale 2011 : 1-11.

- atteintes osseuses de l'os de soutien : granulomes, kystes, abcès dentaires et ostéites;
- atteintes traumatiques dentaires, mandibulaires ou maxillaires [13].

Apport de l'imagerie à l'ostéopathie

L'incidence de crâne en face haute

En dehors des déformations cliniquement observables (plagiocéphalies ou autres), la radiographie de crâne ne permet pas le diagnostic fonctionnel de dysfonction cinétique selon le concept de Sutherland.

L'idée de mettre en évidence des dysfonctions cinétiques crâniennes par radiographie a été testée par deux études publiées en 1970 [14] et en 2002 [15]. Bien que les auteurs concluent de façon positive, les méthodologies et résultats sont controversables.

L'incidence de Blondeau

L'étude spécifique des sinus de la face peut nous renseigner sur la fonction ventilatoire d'un individu. Il est effectivement intéressant de se poser la question du retentissement fonctionnel de telle ou telle forme de sinus sur la physiologie et, inversement, de l'impact de la physiologie sur la forme

du squelette crânien. En comparant cette donnée à la clinique (le patient ronfle-t-il? a-t-il une respiration «typique» ou buccale? présente-t-il une pathologie respiratoire? etc.), nous obtenons une analyse pertinente du phénomène et mettons en lien la structure et la fonction.

L'incidence de crâne de profil

Du fait de la réalisation en position de crâne contrainte par le dispositif d'aide au positionnement (dans les cas d'études stomatologiques), l'étude des rapports articulaires occipito-atloïdiens est faussée. Le non-respect des critères de qualité de l'image en termes de superposition des structures paires peut amener à supposer une asymétrie du crâne et/ou de la face ou (ce sera plus fréquemment le cas) une mauvaise position lors de la réalisation du cliché. Encore une fois, cette incidence ne permet en aucun cas un diagnostic quant à l'état cinétique des mobilités crâniennes.

L'analyse craniométrique, selon le principe de Delaire, permet une analyse fonctionnelle de l'incidence.

Pour ce qui est des mesures osseuses, les conclusions sont dépendantes d'adaptation au long cours, pour ce qui est des mesures des tissus mous, d'adaptation dynamique et intéressante à prendre en compte dans un diagnostic ostéopathique global. Citons par exemple le positionnement bas de la langue et de l'os hyoïde comme reflet de tensions musculaires sous-jacentes; la structure reflète ici un état dysfonctionnel.

Un certain nombre de pathologies pouvant être diagnostiquées sur cette incidence doivent exclure la prise en charge ostéopathique manipulative structurale. Citons par exemple l'impression basilaire et le syndrome d'Arnold-Chiari (protrusion des amygdales cérébelleuses dans le canal rachidien) [16].

L'incidence des os propres du nez

Outre l'intérêt anatomique d'une éventuelle fracture des OPN et son retentissement fonctionnel, l'incidence des OPN n'a pas plus d'intérêt en ostéopathie.

L'orthopantomogramme

Cette incidence doit être analysée d'un point de vue anatomique dans un premier temps pour rechercher d'éventuelles anomalies de l'articulé pouvant perturber la fonction masticatrice, phonatrice ou posturale (manque de dent, kyste, etc.). L'ATM doit faire l'objet d'un intérêt particulier pour les mêmes raisons (présentent-elles une symétrie de positionnement? les cavités articulaires sont-elles symétriques?).

Ensuite, il est intéressant de chercher des signes en faveur d'une fonction altérée ou perturbée (asymétrie des reliefs d'insertion osseuse, densité osseuse). Ceux-ci sont le reflet de l'empreinte dans le temps de la dysfonction considérée.

Références

- [1] Bories J. Ostéologie anatomie radiologique. Paris : Springer-Verlag; 1996. p. 3-7.
- [2] Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). L'imagerie médicale en France dans les hôpitaux publics : rapport de l'Inserm. Paris : Inserm; 1996. p. 31-6.

- [3] De Bruyn R. Échographie pédiatrique : indications, techniques et résultats. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2007. p. 360.
- [4] Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). L'imagerie médicale en France dans les hôpitaux publics : rapport de l'Inserm. Paris : Inserm; 1996. p. 95-9.
- [5] Cavézian R, Pasquet G. Imagerie et diagnostic en odonto-stomatologie. Moyens techniques. Anatomie normale. Résultats pathologiques. Paris : Masson; 1989. p. 97-100.
- [6] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 9.
- [7] Crétôt M. L'image téléradiographique en céphalométrie, cahier de prothèses. Paris : éditions CDP; 1989. p. 128.
- [8] Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). L'imagerie médicale en France dans les hôpitaux publics : rapport de l'Inserm. Paris : Inserm; 1996. p. 100-7.
- [9] Doyon D, Pajoni D, Idir ABC, Jouan E, et al. Imagerie dento-maxillaire. Cahiers de Radiologie (Paris, Masson) 1995; 11 : 23-5.
- [10] Loreille JP. L'analyse architecturale et structurale cranio-faciale de J. Delaire. In : Céphalométrie et orthodontie. Paris : SNPMD; 1992. p. 252-81.
- [11] Bories J. Ostéologie anatomie radiologique. Paris : Springer-Verlag; 1996.
- [12] Cavézian R, Pasquet G. Imagerie et diagnostic en odonto-stomatologie. Moyens techniques. Anatomie normale. Résultats pathologiques. Paris : Masson; 1989. p. 13-7.
- [13] Cavézian R, Pasquet G. Imagerie et diagnostic en odonto-stomatologie. Moyens techniques. Anatomie normale. Résultats pathologiques. Paris : Masson; 1989.
- [14] Greenman P. Roentgen findings in the craniosacral mechanism. J Am Osteopath Assoc 1970; 70(1) : 60-71.
- [15] Oleski SL, et al. Radiographic evidence of cranial bone mobility. Cranio 2002; 20(1) : 34-8.
- [16] Fischer M, Ericau B. Thrust, sémiologie, imagerie, indications en ostéopathie vertébrale. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2009. p. 190-2.

Chapitre 13

Imagerie du rachis cervical

Le rachis cervical est constitué de sept vertèbres, disposées en lordose, situées entre le crâne et le rachis thoracique. Les vertèbres constituant le rachis cervical ont une anatomie atypique en comparaison du reste du rachis, notamment pour ce qui est du rachis cervical supérieur.

Les notions d'anatomie importantes à avoir à l'esprit pour l'analyse radiologique sont présentées ci-dessous.

- La dénomination des vertèbres de C1 à C7 de crânial vers caudal. C1 et C2 sont respectivement nommées l'atlas et l'axis (elles constituent le rachis cervical supérieur).
- La dénomination des racines nerveuses issues des foramens de conjugaison au niveau cervical, de C1 à C8. C1 étant la première racine nerveuse rachidienne, elle émerge entre l'occiput et la première vertèbre cervicale. C8 est la dernière racine nerveuse cervicale, elle émerge entre les vertèbres C7 et T1.
- La configuration des articulations au niveau cervical :
 - les articulations occipito-atloïdiennes (droite et gauche) sont des bicondyliennes. Les surfaces articulaires sont globalement situées dans des plans transversaux, inclinés d'une dizaine de degrés les orientant en direction crâniale et médiale;
 - les articulations atloïdo-axoïdiennes sont de deux types :
 - les surfaces articulaires droite et gauche à la face crâniale des masses latérales. Ces surfaces articulaires sont contenues dans un plan transversal regardant en direction médiale et caudale,
 - l'articulation odonto-axoïdienne, trochoïde globalement contenue dans un plan transversal;
 - il n'y a ni disque intervertébral ni articulation zygapophysaire entre l'occiput, l'atlas et l'axis;
 - à partir de C2-C3 puis dans le reste du rachis cervical, les articulations sont plus typiques en amphiarthrose (disque intervertébral) et en articulations synoviales (articulations zygapophysaires).
- L'anatomie de l'atlas :
 - l'atlas n'a pas de corps vertébral ni de processus épineux;
 - l'arc antérieur de C1 est articulaire, à sa face postérieure, avec la face antérieure de l'odontoïde;
 - les deux masses latérales portent des surfaces articulaires avec l'occiput en haut et l'axis en bas;
 - les deux processus transverses prennent naissance aux bords latéraux des masses latérales. Ils sont courts et percés du foramen transversaire (livrant passage notamment à l'artère et la veine vertébrale);
 - l'arc postérieur, inséré aux bords postérieurs des masses latérales, présentant dans ses parties cranio-ventrales les sillons des artères vertébrales.
- L'anatomie de l'axis :
 - l'axis présente un corps vertébral donnant insertion à sa face crâniale à l'apophyse odontoïde. Le corps vertébral de C2 est articulaire, à sa face caudale, avec C3 par l'intermédiaire d'un disque intervertébral;
 - le corps vertébral présente, à sa partie ventro-caudale, un rostre notamment visible sur les incidences radiologiques de profil;
 - l'odontoïde (reliquat du corps de C1 ossifié au corps de C2) est articulaire à sa face ventrale avec la face dorsale de l'arc antérieur

- de C1. Elle est articulaire, à sa face dorsale avec le ligament transverse de l'atlas;
- les deux masses latérales sont articulaires crânialement avec C1 par les condyles et caudalement avec C3 *via* les articulations zygapophysaires;
 - les deux processus transverses sont attachés aux faces ventro-latérales de la vertèbre. Ils sont perforés des foramens transversaires qui livrent passage aux artères vertébrales;
 - l'arc neural se ferme sur un processus épineux bituberculé.
- L'anatomie des vertèbres cervicales basses (de C3 à C7) :
 - les corps vertébraux sont relativement cuboïdes. Ils présentent à leurs bords cranio-latéraux les incus et à leurs bords caudo-latéraux des surfaces articulaires répondant aux incus de la vertèbre sous-jacente;
 - les processus transverses sont bituberculés et percés du foramen transversaire qui livre passage à l'artère⁵², à la veine vertébrale et à un plexus nerveux sympathique. Ils sont concaves vers crânial, creusés du sillon du nerf spinal. Ils s'insèrent à la partie dorso-latérale du corps vertébral et sur le pédicule;
 - les pédicules sont courts et obliques, orientés vers ventral et médial;
 - N.B : les foramens de conjugaison sont contenus dans un plan oblique d'orientation ventrale et latérale;
 - la colonne zygapophysaire. Les surfaces articulaires, à leurs parties crânielles, regardent vers crânial et dorsal. Les surfaces inférieures sont inversement conformées;
 - les lames ferment le canal médullaire postérieurement et se rejoignent en un processus épineux bifide (seul C7 ne présente pas de processus épineux bifide);
 - les processus épineux sont de longueur croissante au fur et à mesure de la descente dans le rachis. Ils sont obliques à direction caudale et dorsale.
 - À la naissance, le rachis cervical est rectiligne, la lordose s'acquiert à partir du moment où le bébé redresse la tête, elle est « définitive » à 20 ans chez le garçon, 15 ans chez la fille.
 - L'ossification du rachis cervical supérieur est différente de l'ossification du reste du rachis.
 - L'atlas s'ossifie à partir de trois centres d'ossification primaires, un pour l'arc antérieur, un pour chaque héli-arc postérieur (ceux-ci portent les surfaces articulaires). Les arcs postérieurs sont ossifiés à la naissance, l'arc antérieur n'est ossifié que chez 20 % des nouveau-nés; dans la majorité des cas, il s'ossifie dans la première année. Les héli-arcs postérieurs fusionnent vers 3 ans, l'arc antérieur fusionne aux arcs postérieurs vers 7 ans. De façon exceptionnelle, une agénésie d'arc ou un défaut de fusion peut se produire. La différenciation entre un défaut de fusion et une fracture peut se faire en imagerie en analysant la continuité de la corticale aux berges des fragments osseux et par l'analyse des tissus mous avoisinants.
 - L'axis est formé de six centres d'ossification. Le processus odontoïde est formé de deux centres d'ossification primaires parallèles qui fusionnent au 7^e mois *in utero*. L'os terminal, à l'apex de l'odontoïde, est un centre d'ossification secondaire, il apparaît entre 3 et 6 ans et fusionne vers 12 ans. Le corps de C2 est constitué d'un autre centre d'ossification primaire unique, l'odontoïde, et le corps fusionne entre 6 et 11 ans. Les deux héli-arcs neurax ont chacun un noyau d'ossification, leur fusion entre eux a lieu vers 3 ans et la fusion au corps a lieu vers 6 ans.
 - Les autres vertèbres cervicales s'ossifient à partir de trois centres primaires, un au corps et un à chaque héli-arc neural. Ils sont tous présents à la naissance. Les arcs neurax fusionnent postérieurement entre eux vers 3 ans et fusionnent au corps vers 6 ans. Des centres d'ossification secondaires peuvent exister aux extrémités des processus transverses, des processus épineux et aux bords crâniels et caudaux des corps vertébraux. Ces centres fusionnent chez l'adulte jeune, la forme rectangulaire « classique » du corps vertébral s'observe à partir de 7 ans. Chez

⁵² Le contenu des foramens transversaires est identique de C1 à C6. Le foramen transversaire de C7 ne livre pas passage à l'artère vertébrale.

l'enfant, ce processus peut mimer des fractures par tassement de la partie antérieure du corps vertébral, ou encore une luxation, notamment en C3 [1, 2].

L'imagerie standard du rachis cervical est très largement prescrite. Et bien que la sensibilité des autres modalités d'imagerie soit souvent supérieure, l'imagerie conventionnelle, plus accessible, demeure classiquement une étape incontournable dans l'exploration de la zone.

Le scanner peut être de première intention, principalement en traumatologie si le contexte clinique montre des signes de gravité (polytraumatisme, signes neurologiques, etc.). La technique présente alors l'intérêt d'une sensibilité meilleure au prix d'une moindre mobilisation du patient comparativement à la radiographie.

En neurologie (à la recherche de protrusion discale, de conflit ostéoradiculaire par exemple) ou en rhumatologie (à la recherche de signes de gravité d'une spondylarthrite par exemple), le recours au scanner se fait en deuxième intention après l'imagerie conventionnelle. Dans ces cas, il apporte des renseignements d'une grande sensibilité sur les rapports entre la moelle épinière et le canal médullaire [3].

L'IRM sera de première intention à la recherche de pathologies tumorales ou inflammatoires rachis-médullaires. Elle sera également utilisée, mais en deuxième intention, et le scanner lui sera généralement préféré en traumatologie et rhumatologie.

La radiographie standard apporte de nombreux éléments diagnostiques, de façon directe pour ce qui est de l'analyse osseuse, des rapports articulaires et de l'analyse statique globale. Elle apporte également, mais souvent de façon indirecte, une analyse des tissus mous (contenu du canal médullaire, des foramens intervertébraux; les ligaments; les disques intervertébraux; les muscles, etc.).

Indications générales

Pour une cervicalgie post-traumatique, le bilan initial comprend un cliché de face, de profil et des clichés localisés sur la charnière

occipito-altoïdo-axoïdienne. Devant des signes cliniques de gravité, un scanner ou une IRM sont indiqués.

Si les clichés initiaux sont normaux mais qu'il persiste une suspicion de lésion ligamentaire, alors, des clichés dynamiques sont indiqués à distance du traumatisme. Dans l'intervalle, le patient est tenu à un traitement symptomatique et décontracturant [4].

Dans les cas de cervicalgies communes, la radiographie standard peut être indiquée, mais dans un second temps, en cas de résistance ou d'aggravation sous traitement médical bien conduit. Elle est cependant indiquée d'emblée en cas de cervicalgie initialement intense [5].

Avant une manipulation cervicale, les collègues d'experts médicaux préconisent la réalisation d'une imagerie standard [6]. Ces recommandations ne font pas de distinction entre les différentes modalités de manipulation.

En rhumatologie, le bilan radiologique de base est souvent complété d'incidences de 3/4 pour analyser les foramens de conjugaison.

Le rachis cervical en incidence de face

Indications spécifiques

Il s'agit, avec la radiographie de rachis cervical de profil, des incidences de base dans l'analyse radiologique de la zone. Les deux incidences étant indissociables au moment de l'analyse, les indications données ci-dessous sont à considérer pour la face et le profil.

En traumatologie

La radiographie de rachis cervical est indiquée, dans un contexte traumatologique, uniquement quand le patient décrit une douleur ou quand il présente des signes neurologiques (trouble de la conscience, etc.). Dans ces cas, une importance particulière est à porter à l'étude des charnières occipito-cervicale et cervico-thoracique. Le scanner est un complément fréquent, notamment quand la radiographie standard est douteuse ou si elle met en évidence des lésions complexes [4].

Les cervicalgies

Dans le cas de cervicalgies communes, la radiographie n'est pas indiquée à moins d'une apparition intense d'emblée ou d'une évolution atypique de la douleur (non-réponse au traitement standard). Il en est de même pour les névralgies cervico-brachiales où la radiographie (bien qu'étant en première ligne des examens paracliniques à réaliser) n'est pas réalisée en première intention [5].

Réalisation

Le patient est debout ou assis, plus rarement couché (en traumatologie), face au tube. La tête est légèrement défléchie pour éviter au maximum les superpositions de la mandibule et de l'occiput avec la partie supérieure du rachis cervical (au mieux, en fonction des morphologies, on observera C2-C3).

Le tube à rayons X est légèrement incliné vers le haut de façon à «dégager» au maximum les espaces intervertébraux (figure 13.1).

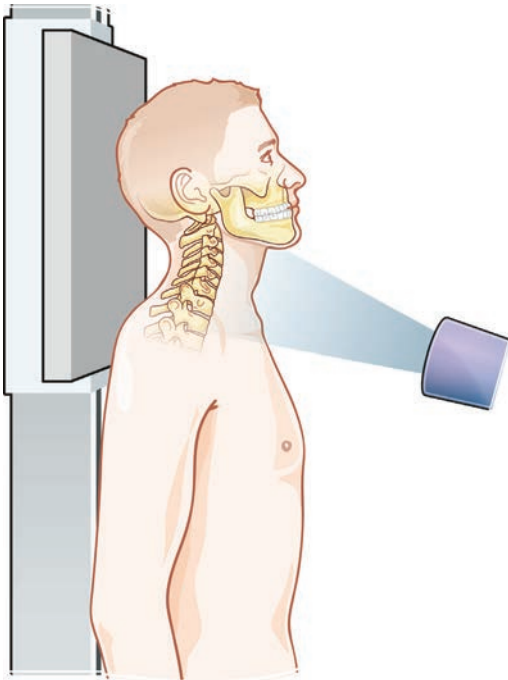


Fig. 13-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de rachis cervical de face.

Radio-anatomie (figure 13.2)

Critères de qualité

Les critères de qualité spécifiques à cette incidence sont :

- la visualisation d'un maximum de vertèbres cervicales (généralement de C2-C3 aux premières thoraciques). L'articulation occiput-atlas-axis (OAA) se retrouvant confondue à la projection de la mandibule et de la partie basilaire de l'occiput;
- la visualisation de la clarté trachéale. Ceci est un critère de bonne exposition (contraste et noirçissement);
- la bonne visualisation des espaces intervertébraux signe la bonne inclinaison du tube par rapport au patient;
- le fait de présenter le rachis de face stricte. Ce critère s'analyse en comparant la symétrie des structures droites et gauches par rapport à un axe de symétrie sagittal médian (par exemple, l'équidistance entre l'alignement des processus épineux et les lignes festonnées formées par les bords latéraux des colonnes des massifs articularies).

Éléments de l'analyse

Cette incidence permet de visualiser les cinq dernières vertèbres cervicales de face. On distingue les corps vertébraux empilés. De part et d'autre, on observe les colonnes des processus articularies qui apparaissent superposés, de telle sorte que les articulations zygapophysaires ne sont pas analysables; leurs bords latéraux forment une ligne radio-construite festonnée.

Les processus épineux doivent présenter des écarts harmonieux.

L'os hyoïde et les cartilages sous-jacents quand ils sont calcifiés se superposent à la colonne et sont difficilement analysables.

Les disques intervertébraux apparaissent indirectement (dans l'écart radio-clair entre deux plateaux vertébraux). La trachée apparaît sous la forme d'une clarté superposée à la colonne, sa direction peut apparaître très discrètement oblique vers la gauche dès ce niveau. Les cordes vocales forment un rétrécissement visible à la radiographie en regard de C4.

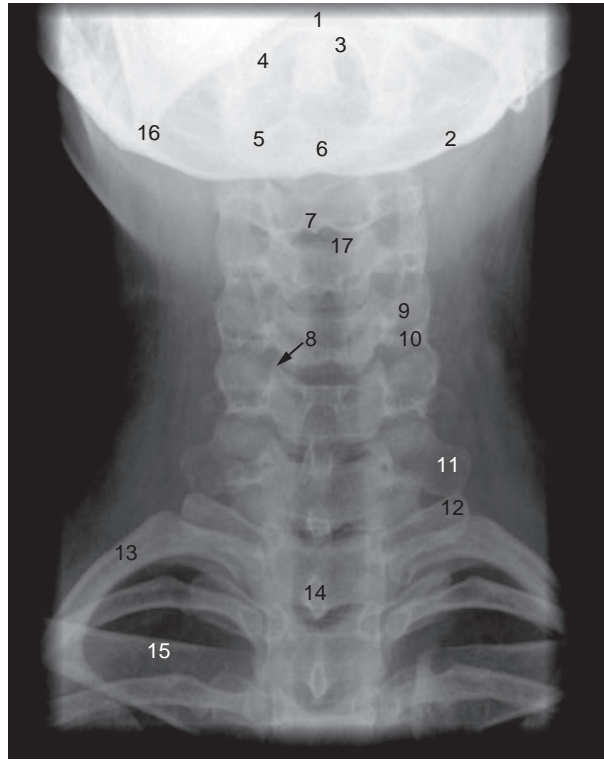


Fig. 13-2. Radio-anatomie de l'incidence de rachis cervical de face.

1. Arc antérieur de l'atlas. 2. Basioccipital. 3. Dent de l'axis. 4. Masse latérale de l'atlas (C1). 5. Masse latérale de l'axis (C2). 6. Corps de l'axis (C2). 7. Processus épineux de C3. 8. Articulation uncovértébrale de C5-C6. 9. Processus articulaire supérieur de C5. 10. Processus articulaire inférieur de C5. 11. Processus transverse de C7. 12. Processus transverse de T1. 13. 1^{re} côte. 14. Processus épineux de T1. 15. Clavicule. 16. Angle de la mandibule. 17. Disque intervertébral au niveau de C3-C4.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Notions de pathologie

Les éléments suspects à rechercher sur cette image sont : une perte d'alignement des structures, une perte de symétrie localisée, une solution de continuité.

Les processus épineux doivent être centrés et alignés. Si un processus épineux apparaît isolément décentré, une luxation doit être suspectée.

Les colonnes des articulaires doivent apparaître symétriques par rapport à la ligne des processus épineux, une asymétrie à un étage peut être le signe d'une fracture.

Une côte ou une paire de côtes cervicales peuvent être visibles sur cette incidence, cela se retrouve

chez approximativement 0,5 % de la population, principalement des femmes (figure 13.3) [7].

Le rachis cervical en incidence de profil

Indications spécifiques

L'incidence de profil partage les indications de l'incidence de face, et bien que ces deux incidences soient indissociables au moment de la réalisation et de l'interprétation, la radiographie de rachis cervical de profil apporte souvent plus d'arguments dans l'analyse de la structure.



Fig. 13-3. Radiographie d'un rachis cervical de face présentant une côte cervicale gauche.

Source : D. Safa et al. Imagerie radiologique du rachis cervical (jonction craniocervicale exclue). EMC – Radiologie et imagerie médicale : Musculosquelettique – Neurologique – Maxillofaciale 2012; 7(2) : 1–10.

En traumatologie

La radiographie du rachis cervical est indiquée, dans un contexte traumatologique, uniquement quand le patient décrit une douleur ou quand il présente des signes neurologiques (trouble de la conscience, etc.). Dans ces cas, une importance particulière est à porter à l'étude des charnières. Le scanner est un complément fréquent, notamment quand la radiographie standard est douteuse ou si elle met en évidence des lésions complexes [3].

Les cervicalgies

Dans le cas de cervicalgies communes, la radiographie n'est pas indiquée à moins d'une apparition intense d'emblée ou d'une évolution atypique de la douleur (non-réponse au traitement standard). Il en est de même pour les névralgies cervico-brachiales où la radiographie (bien qu'étant en première ligne des examens paracliniques à réaliser) n'est pas réalisée en première intention [4].

Réalisation

Le patient est debout ou assis, plus rarement couché, tourné à 90° par rapport au tube. La tête est légèrement défléchie pour éviter la superposition de la branche montante de la mandibule avec le rachis cervical supérieur. Le patient doit également abaisser au maximum les épaules pour permettre l'analyse de la charnière cervico-thoracique.

Radio-anatomie (figure 13.4)

Critères de qualité

Les critères de qualité spécifiques à cette incidence sont :

- la visualisation de la totalité des vertèbres cervicales et des charnières occipito-atloïdienne et cervico-thoracique. Ceci grâce au dégagement de la mandibule de la superposition avec le bord ventral du rachis cervical supérieur, et grâce à l'abaissement des épaules pour amener la surdensité induite au niveau thoracique haut;
- la superposition des apophyses articulaires droites et gauches. Un dédoublement cranio-caudal du massif articulaire droit par rapport au gauche est en faveur d'une inclinaison du rachis, un dédoublement antéropostérieur est en faveur d'une rotation.

Éléments de l'analyse

Il faut insister ici, avant de se pencher sur les éléments de l'analyse, sur l'importance de la validation des critères de réalisation du cliché. Ceci passe par les critères généraux (contraste et noircissement) et les critères spécifiques (évoqués ci-dessus).

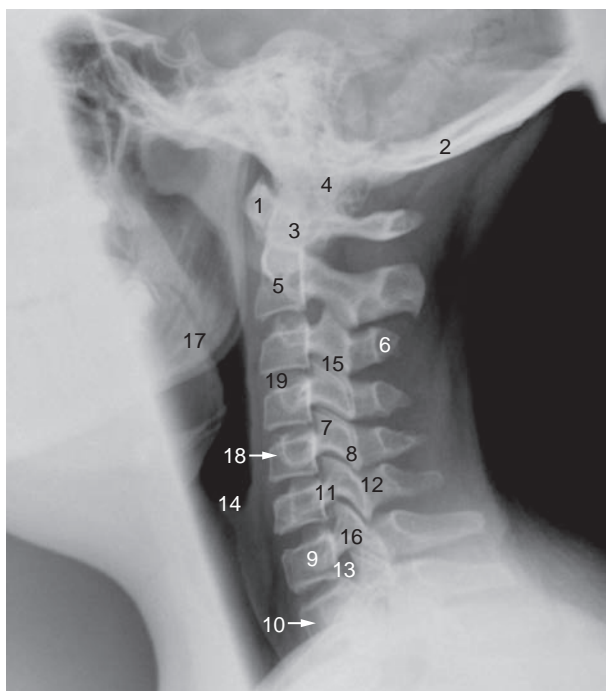


Fig. 13-4. Radio-anatomie de l'incidence du rachis cervical de profil.

1. Arc antérieur de l'atlas. 2. Basioccipital. 3. Dent de l'axis. 4. Condyle occipital. 5. Corps de l'axis (C2). 6. Processus épineux de C3. 7. Processus articulaire supérieur de C5. 8. Processus articulaire inférieur de C5. 9. Processus transverse de C7. 10. Processus transverse de T1. 11. Pédicule de C6. 12. Lame de C6. 13. Foramen intervertébral de C7-T1 (pour la racine C8). 14. Épiglote. 15. Facette (articulation zygapophysaire) de C3-C4. 16. Partie interarticulaire de C7. 17. Angle de la mandibule. 18. Processus transverse de C5. 19. Disque intervertébral au niveau de C3-C4.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineux : Elsevier Masson ; 2010.

L'image s'analyse en commençant par l'étude des alignements.

On détermine six lignes radiologiques, une tissulaire, cinq osseuses. Elles sont harmonieusement concaves en arrière, leur étude renseigne sur un certain nombre d'atteintes structurelles probables.

Ces lignes (figure 13.5) sont :

- la ligne des tissus mous prévertébraux ;
- la ligne des murs antérieurs ;
- la ligne des murs postérieurs ;
- la ligne des bords antérieurs des massifs articulaires ;
- la ligne des bords postérieurs des massifs articulaires ;
- la ligne spino-laminaire.

La dysharmonie peut être le signe d'une atteinte ligamentaire ou d'une fracture occulte et nécessite une exploration complémentaire. Un diagnostic médical formel doit être posé avant toute mobilisation.

Dans un deuxième temps, on analyse les structures osseuses (colonne des corps ; colonne des processus articulaires, des processus transverses, des processus épineux).

Les corps vertébraux doivent être grossièrement rectangulaires, le bord postérieur peut être jusqu'à 3 mm plus long que le bord antérieur. La taille des vertèbres du rachis cervical inférieur est globalement identique bien que C4 et C5 peuvent apparaître légèrement inférieur.

Les processus épineux sont de plus en plus longs au fur et à mesure de la descente dans le rachis.

On analyse ensuite les rapports articulaires (24 articulations⁵³), puis les structures « molles » :

⁵³ Dix-huit articulations synoviales : deux occipito-atloïdiennes, quatre altoïdo-axoïdiennes, douze zygapophysaires (de C2-C3 à C7-T1) ; six symphyses intervertébrales (de C2-C3 à C7-T1).

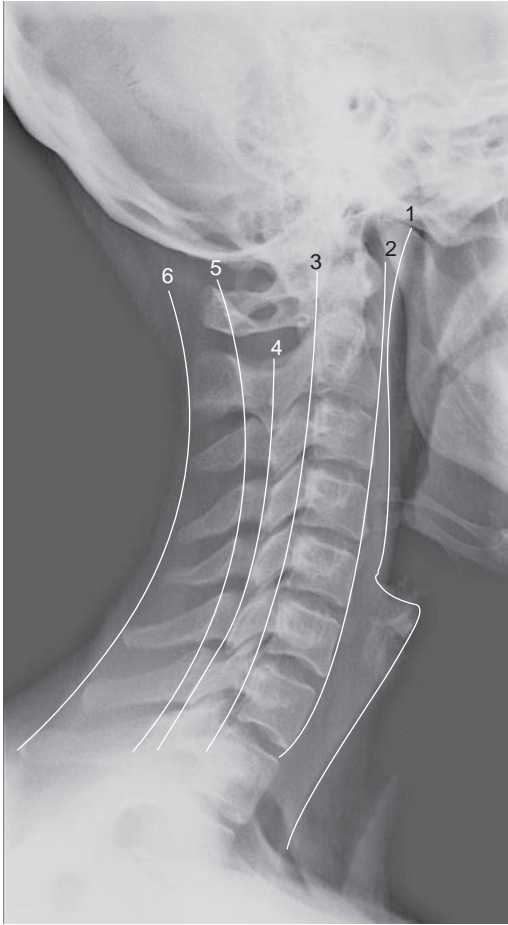


Fig. 13-5. Représentation des lignes radiologiques du rachis cervical de profil.

l'épaisseur des espaces intervertébraux (elle doit être égale sur toute la longueur du disque considéré et quasiment égale à tous les étages du rachis cervical), puis les tissus mous préachidiens (espaces naso-pharyngé, rétro-pharyngé et rétro-trachéal).

Notions de pathologie/ images pièges

Lignes radiologiques

Les cinq lignes osseuses sont globalement parallèles entre elles, elles doivent présenter une concavité postérieure harmonieuse. Un effacement de la courbure signe une tension musculaire cervicale

globale résultant en général d'un traumatisme. Une brisure de ces lignes doit faire suspecter une entorse cervicale ou une fracture occulte et ce, jusqu'à ce qu'un diagnostic médical formel soit posé.

Une entorse cervicale grave se diagnostique radiologiquement, sur cette incidence, à la présence de trois des cinq signes suivants (figure 13.6) [8] :

- antélisthésis supérieur ou égal à 3,5 mm au-dessus de C4 et 2,5 mm en dessous (mesuré au bord antérieur des vertèbres);
- bâillement interépineux supérieur à l'espace interépineux sus- et sous-jacent;
- perte de parallélisme des facettes articulaires;
- perte du contact des facettes articulaires égale ou supérieure à 50 %;
- rupture angulaire de l'alignement corporel appréciée sur la ligne du mur postérieur des corps vertébraux, avec une angulation supérieure ou égale à 15°.

On ne peut toutefois pas exclure la présence d'une entorse grave à la simple absence de ces signes radiologiques du fait que dans certains cas,

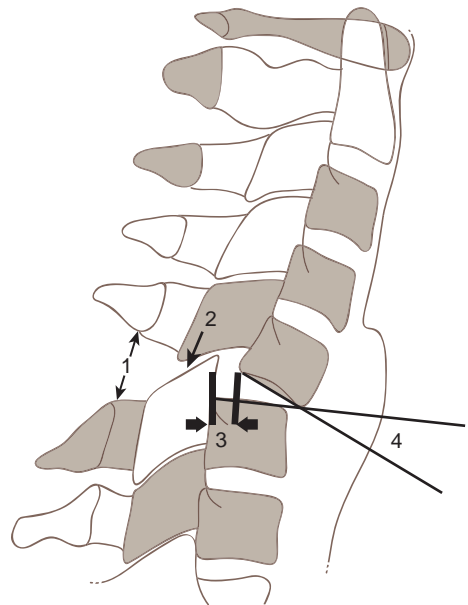


Fig. 13-6. Représentation des signes radiologiques d'entorse du rachis cervical.

1. Augmentation focale de l'espace interépineux.

2. Bâillement artulaire postérieur/découverte de plus de 50 %.

3. Anté-listhésis supérieur de 3,5 mm au-dessus de C4, et supérieur à 2,5 mm au-dessous de C4.

4. Angulation de plus de 10° entre deux plateaux vertébraux.



Fig. 13-7. Radiographie du rachis cervical de profil présentant des signes de canal cervical étroit.

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

la raideur empêche la visualisation de ces signes (d'où la réalisation de clichés dynamiques à distance du traumatisme).

Les signes d'entorse sont des contre-indications absolues à la mobilisation cervicale.

Le canal cervical étroit (dans son diamètre antéropostérieur) se définit, sur ce cliché (figure 13.7), quand le canal médullaire apparaît plus étroit que l'apophyse articulaire, c'est-à-dire quand la distance entre les lignes radiologiques limitant sagittalement le canal médullaire (ligne des murs postérieurs et ligne spino-lamaire) est égale ou inférieure à la distance séparant les lignes limitant les bords des apophyses articulaires.

La ligne de Wackenheim est la ligne prolongeant le clivus vu de profil, cette ligne doit passer par l'odontoïde. Si la ligne de Wackenheim ne passe pas par l'odontoïde, dans un contexte traumatique, on peut suspecter une luxation atloïdo-axoïdienne. De même, le bord dorsal du foramen magnum doit être aligné à la ligne spinolamaire de l'atlas.

Analyse des tissus mous

La ligne des tissus mous prévertébraux doit être de concavité ventrale à hauteur de l'espace naso-pharyngé (à hauteur de C0-C1-C2) sans dépasser 10 mm d'épaisseur.

L'espace rétro-pharyngé (à hauteur de C2-C3-C4) ne doit pas dépasser 5 à 7 mm d'épaisseur.

L'espace rétro-trachéal, qui s'écarte du mur antérieur à partir de C4 (dû à la présence de l'œsophage), ne doit pas s'écarter à plus de 22 mm du mur antérieur.

Un épaissement des tissus mous à cet endroit est souvent en lien avec une hémorragie, cela peut être le signe indirect d'une fracture de C2 (figure 13.8).

Certains signes spécifiques au rachis cervical supérieur sont à analyser :

- l'intégrité de l'anneau de Harris (totalement ou partiellement absent dans les cas de fracture à ce niveau) ;
- la distance entre la face postérieure de l'arc antérieur de C1 et la face antérieure de l'odontoïde doit être inférieure à 3 mm chez l'adulte (5 mm chez l'enfant). Un diastasis plus important signe une luxation atloïdo-axoïdienne.

Chez l'enfant, l'aspect du rachis cervical en croissance peut faussement faire évoquer une pathologie. Citons par exemple l'aspect cunéiforme des corps vertébraux du fait de la non-ossification des plateaux supérieurs ou le diastasis atloïdo-axoïdien (figure 13.9).

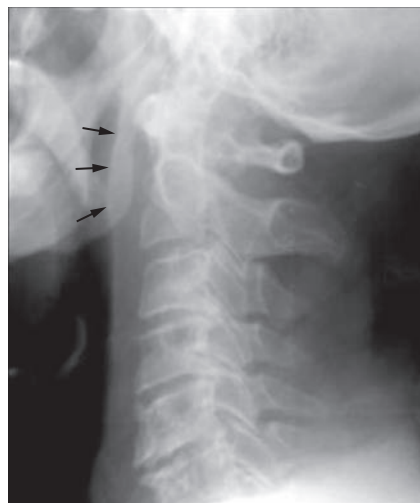


Fig. 13-8. Radiographie du rachis cervical de profil présentant un épaissement des tissus mous naso-pharyngés.

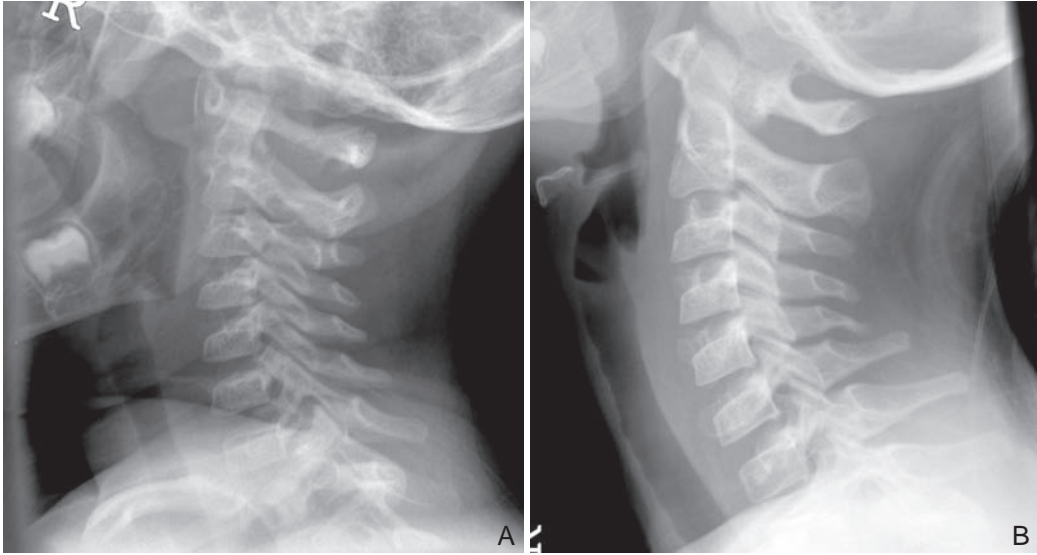


Fig. 13-9. Radiographies du rachis cervical de profil chez un enfant de 3 ans (A) et chez un enfant de 9 ans (B).

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2010.

Le rachis vieillissant montre globalement une trame osseuse qui se raréfie. Au niveau cervical, on peut voir apparaître des signes d'arthrose interso-matique (discarthrose) ou interapophysaire ou encore une incarthrose.

Les signes radiologiques en sont : une densification de l'os sous-chondral, un rétrécissement de l'interligne articulaire, une exostose voire une déformation osseuse (figure 13.10).

Le rachis cervical supérieur en incidence de face en « bouche ouverte » (BO)

Cette incidence complète l'incidence de face classique pour l'analyse de la charnière occipito-atloïdo-axoïdienne. Du fait des superpositions osseuses, l'incidence de face ne permet pas l'étude des premières vertèbres cervicales; en réalisant une ouverture de bouche, celles-ci apparaissent (faisant alors disparaître le rachis cervical moyen).

Il existe d'autres incidences permettant de mettre en évidence les rapports articulaires entre C1 et C2. Celles-ci se réalisent en cherchant la projection de la structure sur des zones de moindre densité osseuse (orbite ou sinus), mais

leur analyse en est moins aisée, d'où leur moindre utilisation au profit du scanner.

Indications spécifiques

L'analyse de C1-C2 (BO) complète le bilan radiologique standard du rachis cervical quand la clinique peut laisser présager d'une atteinte de cette zone. Le scanner peut être envisagé si la réalisation n'est pas satisfaisante ou s'il persiste un doute. Quand le scanner n'était pas aussi accessible qu'aujourd'hui (jusqu'à la fin des années 1990), des tomographies⁵⁴ étaient fréquemment réalisées sur la table de radiologie.

En traumatologie

C'est l'intérêt majeur de cette incidence, unique façon en radiologie standard de mettre en évidence une luxation atloïdo-axoïdienne dans le plan frontal. L'incidence permet également une

⁵⁴ La tomographie est un examen qui se réalise sur table radiologique pendant lequel le couple tube-plaque radiologique translate simultanément selon un angle prédéfini. Ce mouvement permet de faire apparaître une « hauteur de coupe », sur le principe de l'orthopantomogramme.

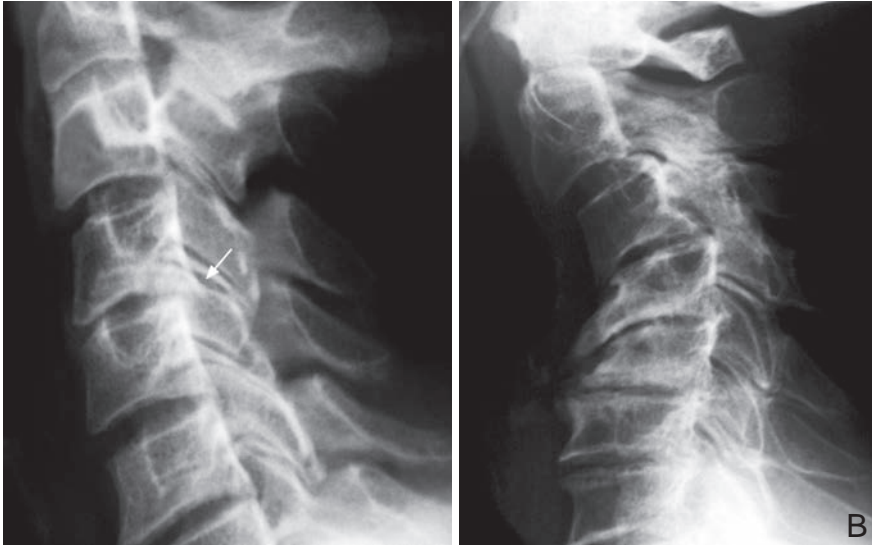


Fig. 13-10. Radiographies du rachis cervical de profil présentant une discarthrose C4-C5 et C5-C6 (A) et une arthrose interapophysaire C4-C5, C5-C6 et C6-C7 (B).

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

vue orthogonale, complémentaire au profil, indispensable dans les recherches de fractures de l'odontoïde.

En rhumatologie

Dans ce contexte, elle permet l'étude complémentaire (avec le profil) des luxations atloïdo-axoïdiennes.

Réalisation

Le but est de limiter, autant que possible, les superpositions osseuses (mandibule et basi-occiput). Pour ce faire, on cherche à tangentialiser le rayon incident avec la ligne unissant le bord inférieur des incisives supérieures et la table externe du basi-occiput. Le patient est assis ou couché; il a la bouche ouverte et la tête face au tube (figure 13.11).

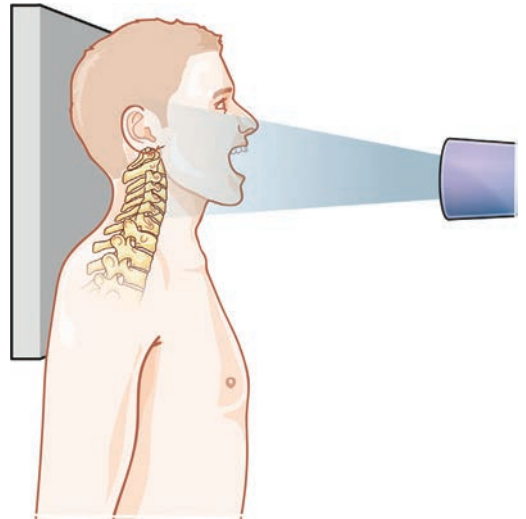


Fig. 13-11. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de rachis cervical bouche ouverte.

Radio-anatomie (figure 13.12)

Critères de qualité

En plus des critères de qualité généraux applicables à tout cliché et plus spécifiquement aux incidences du squelette axial en vue de face, on

cherche ici à dégager au maximum C1 et C2 des superpositions (avec les incisives supérieures et avec l'occiput). Un grand intérêt doit être apporté à l'étude de la symétrie de l'image. On ne doit pas retrouver d'éléments en faveur d'une rotation ou d'une inclinaison de la tête. Dans le cas contraire, il faut savoir en tenir compte dans l'analyse.

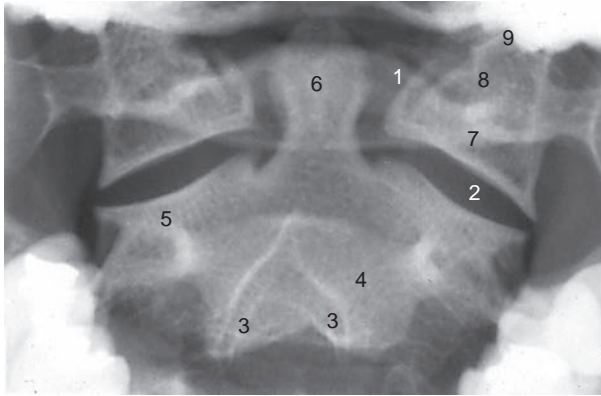


Fig. 13-12. Radio-anatomie de l'incidence de rachis cervical en bouche ouverte.

1. Arc antérieur de l'atlas (1^{re} vertèbre cervicale). 2. Articulation atlanto-axoïdienne. 3. Processus épineux bifide de l'axis. 4. Corps de l'axis. 5. Processus articulaire supérieur de l'axis. 6. Odontoïde. 7. Processus articulaire inférieur de l'atlas. 8. Masse latérale de l'axis. 9. Processus articulaire supérieur de l'atlas.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Les critères sont donc :

- bonne visualisation de C1 et C2, de l'odontoïde en totalité et des masses latérales ;
- symétrie droite/gauche de l'image par rapport à un axe sagittal passant par l'odontoïde.

Éléments de l'analyse et images pièges

L'étude de l'os doit prendre en compte la totalité des structures présentes. Un bon repérage anatomique est important pour ne pas sous-estimer la gêne d'une superposition osseuse sur la structure considérée. Il n'est pas rare qu'un espace interincisif maxillaire puisse mimer un trait de fracture longitudinal de l'apex de l'odontoïde ou, encore, que la surdensité due à la superposition de la partie inférieure de l'occiput soit prise pour une solution de continuité transversale de l'odontoïde (ceci est majoré par l'effet MacGregor : une aberration lors de la reconstruction informatique de l'image numérique et qui donne un liseré radioclaire à la zone de jonction des différences de densité) (figure 13.13).

On étudie alors les rapports articulaires :

- la concordance des masses latérales de l'atlas avec les masses latérales de l'axis. De même, les condyles occipitaux doivent être alignés aux surfaces articulaires des masses latérales de l'atlas ;



Fig. 13-13. Exemple d'images construites par les superpositions sur l'incidence de bouche ouverte.

- la symétrie des distances transversales entre les masses latérales de C1 et l'odontoïde.

On analyse alors l'intégrité des corticales osseuses, notamment entre l'apophyse odontoïde et le corps de l'axis.

Notions de pathologie

L'axe de l'apophyse odontoïde doit se confondre avec l'axe sagittal médian. Une angulation supérieure à 5° de l'apophyse par rapport à l'axe transversal de l'axis (sans notion de mauvaise position

du sujet pouvant évoquer la non-réalisation des critères de qualité) fera suspecter une fracture de la dent.

La distance entre l'odontoïde et les masses latérales doit être symétrique, toute asymétrie laisse envisager une fracture de l'atlas ou de l'axis ou une rotation non appropriée de la tête.

Un non-alignement des bords latéraux ou médiaux des masses latérales de C1 avec les masses latérales de C2 fera suspecter une entorse ou une fracture, que le signe soit uni- ou bilatéral. Il en sera de même pour les rapports entre masses latérales de l'occiput et de l'atlas.

Le rachis cervical en incidence de 3/4

Ces incidences ne sont jamais réalisées seules mais complètent au minimum les clichés de face et profil.

Indications spécifiques

Ces clichés sont spécifiquement réalisés pour mettre en évidence les foramen intervertébraux cervicaux.

En neurorhumatologie

C'est l'indication principale. Les clichés sont demandés dans les cas de suspicion de conflit ostéonerveux (à la faveur d'un ostéophyte intraforaminal par exemple) ou de névralgie cervico-brachiale résistante à un traitement médical bien suivi [4].

En traumatologie

Cette incidence peut se justifier en complément du bilan initial (face et profil) pour apporter des arguments complémentaires dans la recherche de fractures quand les deux premières incidences sont insuffisantes.

Dans un tel contexte, deux incidences orthogonales sont le minimum indispensable, mais il n'est pas rare que cela ne soit pas suffisant pour mettre en évidence de petites fractures.

Réalisation

Le sujet est placé tête en position neutre et corps tourné à 45° par rapport à la plaque radiologique. De cette façon, les foramen de conjugaison du côté écarté de la plaque présentent leur plus grand diamètre perpendiculaire au rayon directeur (figure 13.14).

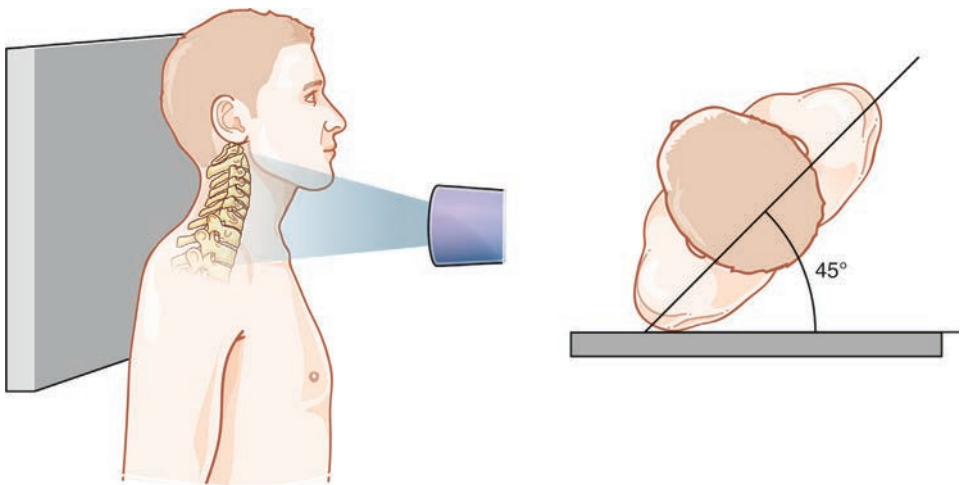


Fig. 13-14. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de rachis cervical de 3/4.

Radio-anatomie (figure 13.15)

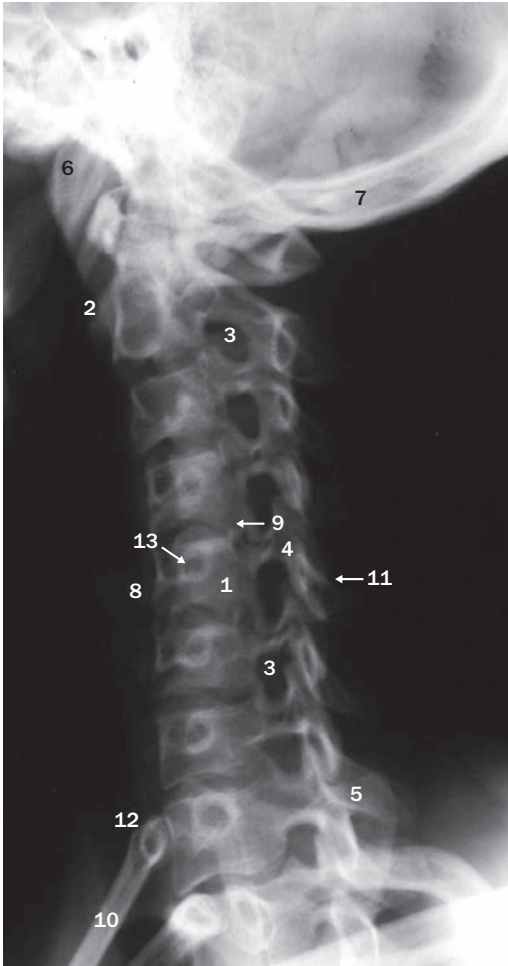


Fig. 13-15. Radio-anatomie de l'incidence de rachis cervical de 3/4.

1. Corps de la 5^e vertèbre cervicale.
2. Os hyoïde.
3. Foramen intervertébral.
4. Lame de la 5^e vertèbre cervicale.
5. 1^{re} côte gauche.
6. Mandibule.
7. Os occipital.
8. Tubercule postérieur du processus transverse de la 5^e vertèbre cervicale.
9. Bord postérolatéral (uncus) de la 5^e vertèbre cervicale.
10. 1^{re} côte droite.
11. Processus épineux de la 5^e vertèbre cervicale.
12. Trachée.
13. Processus transverse de la 5^e vertèbre cervicale.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Critères de qualité

La radiographie doit présenter tous les foramens de conjugaison de C2-C3 à C6-T1 et de façon ouverte.

Éléments de l'analyse/ images pièges

La radiographie permet la visualisation des structures osseuses de l'occiput jusqu'à la première vertèbre thoracique avec la superposition de ses côtes. On aperçoit également l'os hyoïde. Ces structures sont vues de 3/4. On visualise également les rapports articulaires cervicaux et les foramens de conjugaison avec les éléments osseux les constituant.

Notions de pathologie

Cette radiographie se réalise de façon bilatérale et permet la comparaison droite/gauche. Les foramens de conjugaison sont globalement réni-formes. Leur trophicité est relativement homogène sur toute la hauteur du rachis cervical. Aucune protrusion osseuse, à l'état normal, ne doit empiéter dans le foramen.

Les images pathologiques les plus fréquentes sur cette incidence sont celles de protrusions ostéophytiques intraforaminales (figure 13.16).

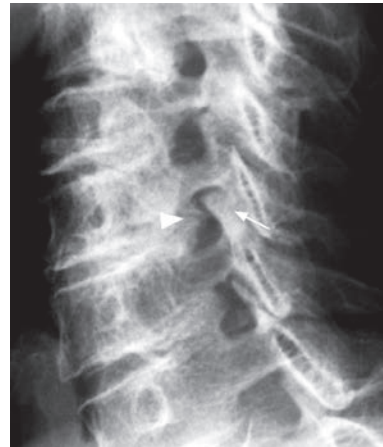


Fig. 13-16. Exemple d'image de construction ostéophytiques réduisant le diamètre du foramen de conjugaison.

▷ Par l'avant : uncarthrose. ↖ Par l'arrière : arthrose interapophysaire.

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

Le rachis cervical en épreuves dynamiques

Les épreuves dynamiques sont les incidences de profil effectuées en flexion et en extension en complément de l'incidence classique de rachis cervical de profil. L'intérêt est de mettre en évidence des diastasis aphysiologiques au mouvement et qui ne seraient pas visibles sur l'incidence de base.

Indications spécifiques

En traumatologie

C'est l'unique indication, mais elle répond à un protocole précis.

Elle se réalise toujours dans un deuxième temps et à distance du traumatisme (de 1 à 2 semaines en fonction des praticiens) lorsque l'incidence initiale n'a pas permis de conclure quant à l'intégrité du rachis du fait de la contracture réactionnelle trop importante. En effet, dans de nombreux cas, suite à un traumatisme cervical, la contraction excessive des muscles cervicaux bloque la structure au point d'effacer, voire d'inverser la lordose physiologique. Ce spasme peut cacher les signes radiologiques probables d'entorse grave et doit faire réaliser les épreuves dynamiques à distance. Dans cet intervalle, le patient repart avec un collier d'immobilisation et un décontractant musculaire.

Réalisation

Ces clichés sont réalisés en présence d'un médecin qui contrôle l'apparition d'éventuels signes neurologiques et écoute la douleur qui doit limiter le mouvement.

La réalisation est identique à celle d'un cliché de profil standard et on demande successivement une flexion de tête, puis une extension active au patient.

Radio-anatomie

Elle est la même que pour la radiographie de profil en position neutre.

Critères de qualité

Ce sont les mêmes que pour la radiographie de profil en position neutre (à l'exception de la superposition de la mandibule qui est inévitable en flexion).

Éléments de l'analyse/notions de pathologie

Ces radiographies s'analysent de la même manière que le profil en position neutre.

Les signes d'entorse grave à rechercher sont les mêmes :

- antélisthésis supérieur ou égal à 3,5 mm au-dessus de C4 et 2,5 mm en dessous (mesuré au bord antérieur des vertèbres) ;
- bâillement interépineux supérieur à l'espace interépineux sus- et sous-jacent ;
- perte de parallélisme des facettes articulaires ;
- perte du contact des facettes articulaires égale ou supérieure à 50 % ;
- rupture angulaire de l'alignement corporel appréciée sur la ligne du mur postérieur des corps vertébraux, avec une angulation supérieure ou égale à 15°.

Un minimum de trois signes retrouvés est suffisant pour poser le diagnostic d'entorse grave.

Apport à l'ostéopathie

Les incidences de rachis cervical peuvent être vectrices d'informations importantes à considérer dans la prise en charge ostéopathique. Nous pouvons les regrouper en deux groupes : les éléments qui contre-indiquent complètement ou partiellement la mobilisation ou la manipulation structurale du rachis cervical ; les éléments qui peuvent servir à l'élaboration d'un diagnostic spécifique ostéopathique.

Les éléments d'analyse spécifique ostéopathique sont variables en fonction de l'incidence considérée ; en revanche, les contre-indications apportées sont les mêmes quelle que soit la radiographie du rachis cervical étudiée. Celles-ci sont :

- contre-indications absolues à la mobilisation du rachis cervical :
 - présence ou suspicion de fracture,
 - présence ou suspicion de luxation,
 - présence ou suspicion d'entorse ;
- contre-indications absolues à la réalisation de techniques structurales :
 - les enfants de moins de 7 ans pour des raisons d'ossification,
 - certaines malformations, citons par exemple l'agénésie de l'odontoïde, les occipitalisations de l'atlas, les hémi-vertèbres, les synostoses, les malformations articulaires, etc.,
 - les états infectieux comme une spondylite, une spondylodiscite, etc.,
 - les fractures avant consolidation complète, de 2 à 3 mois en fonction de la lésion considérée,
 - les suites opératoires du rachis avant consolidation complète, de 2 à 3 mois en fonction de la lésion considérée. Ne jamais manipuler sur du matériel chirurgical,
 - les entorses cervicales avant consolidation complète de la zone soit jusqu'à 2 mois. Aucune manipulation ne peut être envisagée dans l'intervalle d'attente de 10 jours séparant la réalisation initiale des incidences et le contrôle par les épreuves dynamiques,
 - les ponts osseux (syndesmophytes et ponts ostéophytiques),
 - les calcifications artérielles ;
- contre-indications relatives à la mobilisation et à la manipulation du rachis cervical :
 - les décalcifications vertébrales,
 - l'arthrose si elle est très avancée et qu'elle modifie grandement la configuration articulaire ou qu'elle empiète sur le foramen intervertébral ou encore en poussée inflammatoire,
 - les rétrécissements de canal vertébral en fonction de l'importance et du retentissement du rétrécissement,
 - les spondylarthrites ankylosantes évoluées ou en phase inflammatoire.

Les variantes numéraires de la normale anatomique (côte cervicale, vertèbre surnuméraire) ne sont pas des contre-indications à la manipulation. De même, la spina bifida occulta et les non-fusions d'arc antérieur ou postérieur de C1 ne sont pas des contre-indications au thrust [9].

Radiographie de face

Elle apporte quelques informations intéressantes à considérer en ostéopathie, notamment la statique rachidienne globale et le port de tête par rapport au rachis. On peut considérer que le positionnement du patient est « libre » (il n'y a pas de consigne contraignante de positionnement si ce n'est de regarder en face et de lever légèrement le menton). Une attitude en latéroflexion du rachis ou une inclinaison et/ou rotation de la tête par rapport au rachis seront donc probablement le résultat d'une adaptation posturale.

Cette adaptation peut résulter du positionnement antalgique lié à un traumatisme récent ou compenser des tensions musculaires à distance plus ou moins ancienne.

Radiographie de profil

Au-delà de l'étude de la courbure cervicale, l'analyse fine du positionnement des vertèbres peut être intéressante, à condition, pour cela, d'avoir une incidence de réalisation irréprochable.

Sur un cliché de rachis cervical de profil, il n'est pas rare de constater que la colonne apparaît de profil strict, à l'exception d'une ou deux vertèbres isolées du rachis cervical moyen. Il semble effectivement intéressant de prendre ce phénomène en considération. Cependant, il faut pour cela que l'image remplisse un certain nombre de critères :

- le fait d'avoir le crâne et au minimum les deux premières cervicales de profil strict (superposition de toutes les structures paires) ;
- le fait d'avoir au minimum C7 et T1 de profil strict.

Il faut également pouvoir argumenter en faveur d'une symétrie parfaite de la vertèbre (qu'il ne s'agisse pas d'une vertèbre avec une articulaire de taille différente à l'articulaire contro-latérale par exemple).

Et pour finir, et comme toujours en imagerie, il faut que l'image conforte le diagnostic clinique (palpatoire).

Une image ne se substituera jamais à l'analyse cinétique manuelle, mais dans le cas cité ci-dessus, elle peut être le reflet de la palpation et de ce fait apporter un argument supplémentaire au

diagnostic ostéopathique. Ces analyses peuvent être utilisées par des ostéopathes dans un but expérimental et apporter un argument objectif de leur prise en charge [10].

Cette observation est à la base du diagnostic radiologique proposé par T. Dummer dans les techniques d'ajustements spécifiques (voir encadré ci-après).

Cette incidence permet également l'observation de l'os hyoïde et, par conséquent, offre un reflet des tensions musculaires qu'il subit. À l'état physiologique, l'os hyoïde se projette à hauteur du disque intervertébral C3-C4. Une descente de celui-ci va souvent avec une mise en tension de la chaîne musculaire sous-hyoïdienne et une position basse de la langue.

Radiographie en bouche ouverte

Cette incidence est principalement porteuse de contre-indications à la prise en charge ostéopathique. Elle peut cependant, dans les cas où l'image apparaît « normale », refléter, comme pour la face, une attitude vicieuse de port de tête par rapport au rachis cervical supérieur.

● Remarque

Dans ces cas, l'étude de la tête se fait par transposition à partir des structures analysables de la tête (mandibule, maxillaire et occiput). Ça n'est donc pas une analyse formelle.

Radiographie de 3/4

Au-delà de l'analyse médicale classique de l'incidence, ce cliché n'apporte pas d'éléments spécifiques.

Radiographies dynamiques

Ces incidences sont intéressantes, dans la mesure où elles permettent de s'affranchir de l'aspect figé d'un examen d'imagerie classique. Il faut pour cela étudier les trois clichés en même temps et comparer le comportement des vertèbres en position neutre, en flexion puis en extension.

Comme pour l'analyse spécifique du rachis cervical de profil, il faut que les trois clichés respectent scrupuleusement les modalités de bonne réalisation. C'est à ce prix que l'on pourra conclure quant au comportement cinétique du rachis. On peut espérer y déceler un point de fixation cinétique (dans la limite des signes de gravité cités plus haut) ou déterminer si une vertèbre associée, par exemple lors de son mouvement de flexion ou d'extension, un mouvement de rotation ou d'inclinaison.

SAT [11]

Les SAT ou *specific adjusting techniques* (techniques d'ajustement spécifique en français) ont initialement été décrites en 1950 par Parnell Bradbury, chiropracteur, puis développées par Thomas Dummer, ostéopathe. Les SAT visent le réajustement de dysfonctions dites « de position ». La technique employée est manipulative, avec une philosophie avant tout fonctionnelle, visant un traitement à minima dans la droite ligne des principes fondateurs.

Le diagnostic des dysfonctions de position repose dans un premier temps sur une démarche classique d'observation et de palpation. L'accent est mis sur l'anamnèse et la détermination des conditions précises d'apparition du trouble (mécanisme du macrotraumatisme). La dernière phase diagnostique, primordiale au concept, repose sur l'étude radiologique.

Le traitement découle directement de ces quatre points. Les SAT s'adressent avant tout aux vertèbres atypiques (C1, C2, C3, L5 et sacrum). Les notions d'analyse radiologique spécifique ont principalement été développées pour le rachis cervical supérieur. Les signes (figure 13.17) à rechercher sont :

- sur un cliché de rachis de face en bouche ouverte : des signes de rotation, d'inclinaison ou de translation ;
- sur l'incidence de rachis cervical de profil :
 - une hyperflexion de C3 sous C2 associée à une raideur ou inversion de courbure C3-C4-C5. C6 et C7 présentent une courbure normale,
 - une hyperextension de C2 sur C3 associée à une augmentation de la lordose en C3-C4-C5. C6 et C7 présentent une courbure normale ;
- sur l'incidence de bassin : un mauvais positionnement global des structures symétriques (traduisant une asymétrie fonctionnelle).

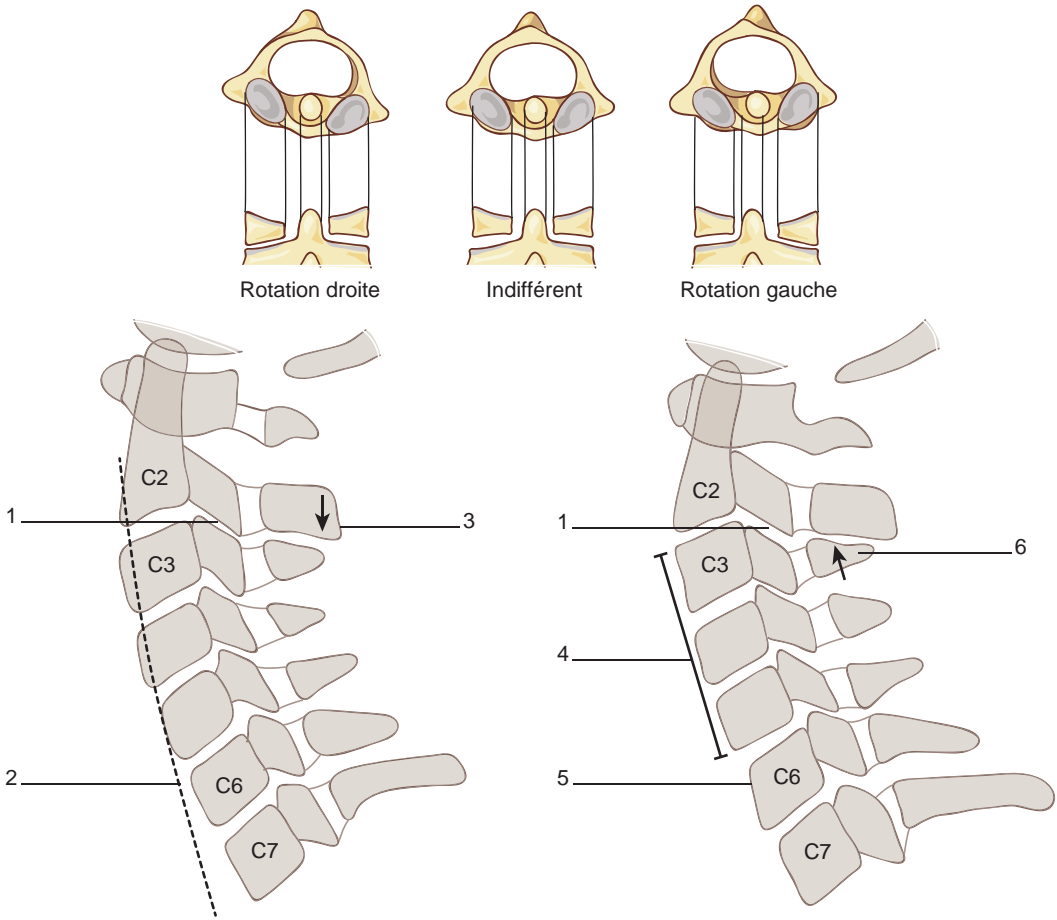


Fig. 13-17. Schématisations des signes radiologiques mis en évidence lors de dysfonctions de position d'après T. Dummer.

A. Aspect radiologique d'une rotation de C1 sur C2. **B.** Aspect radiologique d'une hyperflexion de C3 sous C2. **C.** Aspect radiologique d'une hyperextension de C2 sur C3.

T. Dummer insiste sur le fait que la réalisation technique des clichés doit être faite sans consigne de contrainte posturale au patient. Par exemple, ne pas demander à un patient qui spontanément présenterait une inclinaison droite de tête d'être contraint à la rectitude stricte.

Références

- [1] Herman MJ, Pizzutillo P. Cervical spine disorders in children. *Orthop Clin North Am* 1999; 30(3) : 457-66.
- [2] Bailey DK. The Normal cervical spine in infants and children. *Radiology* 1952; 59(5) : 712-9.
- [3] Albeck MJ, et al. A controlled comparison of myelography, computed tomography, and magnetic resonance imaging in clinically suspected lumbar disc herniation. *Spine* 1995; 20(4) : 443-8.
- [4] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommanda-
tion pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 58-9.
- [5] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 14.
- [6] Maigne JY, et al. Faut-il faire des radiographies systématiques avant manipulation vertébrale? Recommandations de la Société française de médecine manuelle orthopédique et ostéopathique. *Ann Readapt Med Phys* 2007; 50 : 111-6.

- [7] Yasuyuki K, Yochiko K, Junuchi M, Tohru I. The ribs : anatomic and radiologic considerations. *Radiographics* 1999; 19 : 105–19.
- [8] Louis R. Traumatismes du rachis cervical : 1. Entorse et hernies discales. 2. Fractures et luxations. *Nouv Presse Med* 1979; 8 : 1843–9, et 1931-7.
- [9] Ficher M, Ericau B. Thrust, sémiologie, imagerie, indications en ostéopathie vertébrale. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2009. p. 190–233.
- [10] Peckham AC. A little-understood disorder of vertebral joints. *J Am Osteopath Assoc* 1942; 41(5) : 71–6.
- [11] Dummer T. Technique d'ajustement spécifique (SAT). Éditions spirales; 2002.

Chapitre 14

Imagerie du rachis thoracique

Le rachis thoracique est constitué de 12 vertèbres configurées en cyphose, formant la partie osseuse postérosupérieure du tronc. Il est situé entre le rachis lombal en bas et le rachis cervical en haut. Les vertèbres sont dénommées de T1 à T12 de crânial vers caudal.

La radio-anatomie du rachis thoracique tient notamment sa spécificité du lien entre les vertèbres thoraciques et le gril costal. La présence des côtes dans la zone produit en effet, en radiologie standard, des superpositions compliquant l'analyse, principalement sur les incidences de profil.

Sur une incidence de face, les têtes de côtes se superposent avec les processus transverses. Sur une incidence de profil, elles se superposent aux processus transverses et aux processus épineux.

Les particularités anatomiques de la zone qui auront une traduction radiologique sont :

- des pédicules plus hauts que larges et de direction sagittale. Sur une incidence de face, ceci donne à voir deux structures oblongues globalement longitudinales, de contours denses en projection sur les corps vertébraux à la partie crâniale de leurs bords latéraux ;
- des processus épineux longs et obliques à direction dorso-caudale, ce qui, sur une incidence de face, donnera à voir l'apex du processus épineux en projection au pôle supérieur du corps de la vertèbre sous-jacente ;
- des foramens de conjugaison contenus dans un plan quasi sagittal (regardant très peu latéralement et ventralement). Cela explique que sur l'incidence de profil, les foramens sont bien visibles ;
- sur les incidences de face, la cyphose thoracique pouvant restreindre l'analyse de la zone. En effet, les concavités marquées peuvent nécessiter une double exposition pour dégager tous les

espaces intersomatiques (voir plus loin [figure 14.1](#)) ;

- sur l'incidence de face, la superposition des parties molles thoraciques (silhouette cardiaque, clarté trachéale, scissures pulmonaires, bronches, etc.) pouvant compliquer la bonne visualisation du rachis ;
- sur l'incidence de profil, la surépaisseur induite par la ceinture scapulaire crânialement et la différence importante de densité entre thorax et abdomen caudalement pouvant donner des densités trop importantes et empêcher l'analyse du haut et/ou du bas du rachis thoracique.

L'ossification du rachis thoracique se fait à partir de trois centres d'ossification primaires : un pour le corps vertébral et un pour chaque hémi-arc neural. Les deux hémi-arcs neuraux fusionnent ensemble vers 3 ans et fusionnent au corps vers 6 ans.

Des centres d'ossification secondaires peuvent exister à la pointe des processus transverses, à la pointe du processus épineux et aux plateaux vertébraux crâniens et caudaux. Ces centres secondaires fusionnent chez le jeune adulte.

Les centres d'ossification primaires peuvent (rarement) ne pas fusionner et mimer une fracture. Il en est de même pour les centres d'ossification secondaires. L'aspect de ces différentes variantes est à connaître pour ne pas aller à l'excès de diagnostic [1, 2].

Dans l'exploration par imagerie du rachis thoracique, la radiographie standard initie généralement le bilan. Les explorations tomодensitométriques et l'IRM ont un intérêt substantiel en complément (voire parfois en première intention chez les patients présentant des signes neurologiques ou dans les contextes infectieux et tumoraux). La scintigraphie osseuse est l'examen de prédilection (car

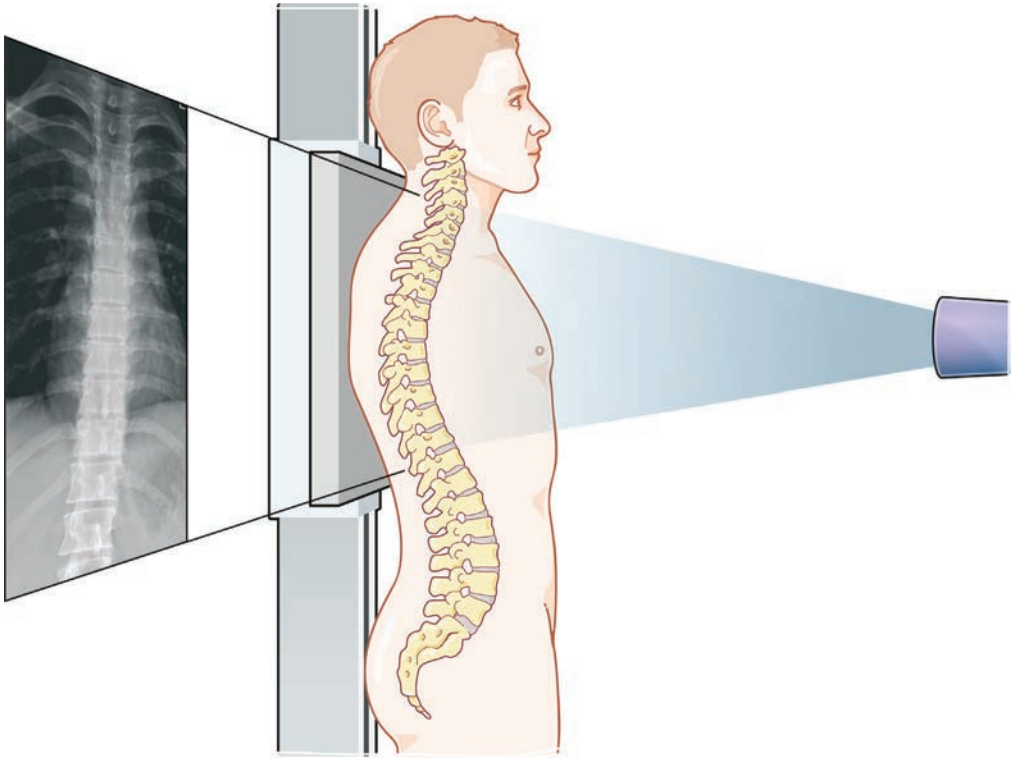


Fig. 14-1. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de rachis thoracique de face.

de meilleure sensibilité) dans les recherches de métastases à ce niveau et présente l'avantage de permettre un bilan d'extension global du squelette lors du même examen sans irradiation supplémentaire.

L'ostéodensitométrie est recommandée devant une fracture vertébrale survenue dans des conditions non évidentes (de traumatisme ou de tumeur) ou chez le sujet à risque d'ostéoporose [3].

En imagerie conventionnelle, le rachis thoracique n'offre pour son exploration usuelle que deux incidences : une de face et une de profil.

Indications générales

Elle est de bonne sensibilité pour l'étude osseuse de la zone. Elle sera souvent de première intention en traumatologie et dans l'étude du rachis dégénératif [4]. Dans le cas des dorsalgies communes, la radiographie standard n'est indiquée

que dans les cas pouvant relever d'infection ou de tumeur, ou encore s'il existe des signes neurologiques.

Incidence du rachis thoracique de face

Indications spécifiques

En traumatologie

L'examen clinique du rachis thoracique est relativement parlant. Si le patient est conscient et ne se plaint pas de douleur de la zone, une imagerie n'est donc *a priori* pas indiquée. En revanche, devant tout tableau algique ou encore si la cinétique du traumatisme est particulièrement importante et, bien sûr, si le patient n'est pas conscient ou présente des troubles neurologiques, une imagerie standard sera indiquée. Le bilan sera com-

plété, en fonction des signes de gravité, d'une imagerie scanner ou IRM [5].

Le scanner est l'examen le plus sensible pour mettre en avant les éventuels fragments osseux (d'autant plus en reconstructions multiplanaires). Son recours est indispensable en cas de doute diagnostique et pour spécifier une fracture vue en radiologie conventionnelle.

L'IRM est l'examen le plus sensible pour mettre en évidence une atteinte médullaire. Elle est cependant rarement indispensable après un scanner. Son indication est principalement de spécifier les incohérences radio-cliniques neurologiques et l'étude fine de lésions discales, médullaires, ligamentaires ou vasculaires [6].

En rhumatologie

La recherche de phénomènes arthrosiques n'est pas une indication à la réalisation de clichés du rachis thoracique (sauf en cas de signes neurologiques associés).

Ces incidences sont intéressantes dans le diagnostic et dans le suivi d'évolution de pathologies telles que la spondylarthropathie et autres spondylodiscites.

En orthopédie

Dans le diagnostic et le suivi des scolioses, l'incidence réalisée est généralement une radiographie permettant la visualisation de la totalité du rachis et du pelvis (les pangonogrammes). Dans ces cas, néanmoins, des clichés localisés peuvent être intéressants autant pour la mise en évidence d'étiologies (malformation, etc.), que pour la réalisation de certaines mesures d'angles d'inclinaison du rachis dans le plan frontal.

L'examen réalisé debout puis couché (éventuellement en traction) peut laisser entrevoir le degré de réductibilité de la déformation [7].

Dorsalgies

Les dorsalgies communes ne doivent pas induire la prescription d'imagerie (sauf en cas d'apparition ou de retentissement atypique ou en l'absence de soulagement après un traitement médical bien tenu).

Les patients présentant des signes d'infection, des signes neurologiques ou une suspicion de métastases seront en revanche à orienter vers une imagerie (conventionnelle tant qu'il n'y a pas de signes de gravité).

À cause du risque de tassement vertébral chez le sujet âgé, le recours à l'imagerie est plus systématique.

Réalisation

L'incidence se réalise en charge ou en décubitus, en fonction de l'indication et de l'état du patient. Elle se réalise préférentiellement en décubitus dans un contexte traumatique et, à l'inverse, debout en rhumatologie et en orthopédie. L'incidence est réalisée antéropostérieurement, de façon à ce que le faisceau de rayons X (divergent) vienne « épouser » la cyphose thoracique et favoriser l'enfilement des espaces intersomatiques (voir ci-après *Critères de qualité*). Le patient est en rectitude. Dans l'étude de la statique, il est possible de réaliser ces radiographies en latéroflexion droite puis gauche (figure 14.1).

Radio-anatomie (figure 14.2)

Critères de qualité

L'incidence de face doit présenter :

- la totalité des corps vertébraux thoraciques, de la charnière cervico-thoracique à la charnière thoraco-lombale. Aucune projection anatomique ne doit restreindre l'analyse de la zone ;
- les corps vertébraux doivent apparaître de face et leurs plateaux doivent être vus tangentielle-ment. Les corps vertébraux ne doivent pas apparaître ovalisés et les plateaux vertébraux ne doivent pas apparaître dédoublés. Ce serait le cas lors d'un défaut d'inclinaison du tube par rapport au patient ;
- les processus épineux doivent apparaître alignés, et cet alignement doit être un axe de symétrie pour les structures paires comme les pédicules vus en coupe (processus transverses, colles de côte, etc.). Le manque de l'un de ces critères sera en faveur d'une rotation du buste du patient.

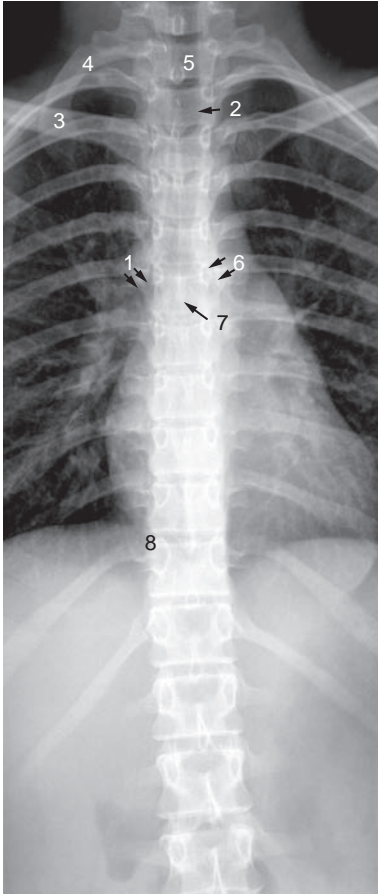


Fig. 14-2. Radio-anatomie de l'incidence de rachis thoracique de face.

1. Bronche principale droite. 2. Trachée. 3. Clavicule.
4. 1^{re} côte. 5. 1^{er} vertèbre thoracique. 6. Bronche principale gauche. 7. Processus épineux de la 6^e vertèbre thoracique. 8. Pédicule de la 11^e vertèbre thoracique.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

À cause des variations morphologiques, dominées ici par les hyperlordoses, les critères de qualité peuvent être d'obtention difficile, ce qui peut obliger à la réalisation de plusieurs clichés pour compenser l'incidence initiale. Effectivement, chez le sujet fortement cyphotique, la divergence du faisceau n'est pas suffisante pour compenser la concavité du rachis ; chez ces personnes, on réalise fréquemment l'étude segmentarisée en deux clichés d'inclinaisons différentes (rarement plus).

Éléments de l'analyse

Cette incidence permet l'analyse des constituants osseux de la colonne thoracique (autant dans un contexte traumatique que dans la recherche d'étiologies à une perturbation statique). On analyse alors les vertèbres et leurs différents constituants ainsi que leur trophicité les unes par rapport aux autres.

On étudie ensuite les rapports articulaires des vertèbres les unes par rapport aux autres, les articulations costo-vertébrales, l'harmonie des espaces intersomatiques. On analyse alors globalement la statique rachidienne quitte à en objectiver l'inclinaison latérale par une mesure (voir plus loin figure 14.4).

Les tissus mous périrachidiens (lignes paravertébrales) sont également d'analyse intéressante (en termes de trophicité notamment). À l'état normal, la ligne paravertébrale droite a une direction légèrement oblique et n'est pas systématiquement visible. La ligne paravertébrale gauche est rectiligne, parallèle au bord droit de la colonne vertébrale à moins de 5 mm de celui-ci. La présence d'un « fuseau paravertébral » (perte de parallélisme) peut être le signe indirect d'une tumeur ou métastase vertébrale, d'un hématome, d'un abcès (spondylodiscite), d'une lymphadénopathie, etc. (figure 14.3).

Notions de pathologie

Les fractures de la colonne vertébrale intéressent 65 personnes sur 100 000 ; dans un tiers des cas, la

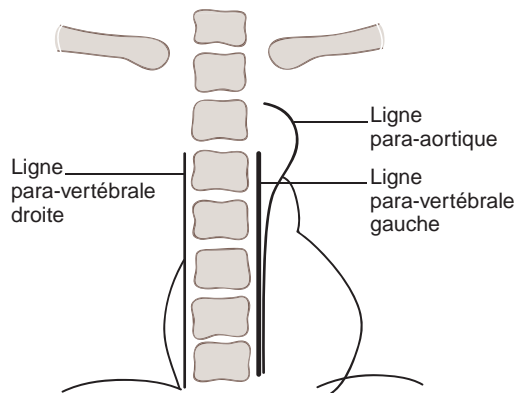


Fig. 14-3. Schéma des lignes médiastinales postérieures.

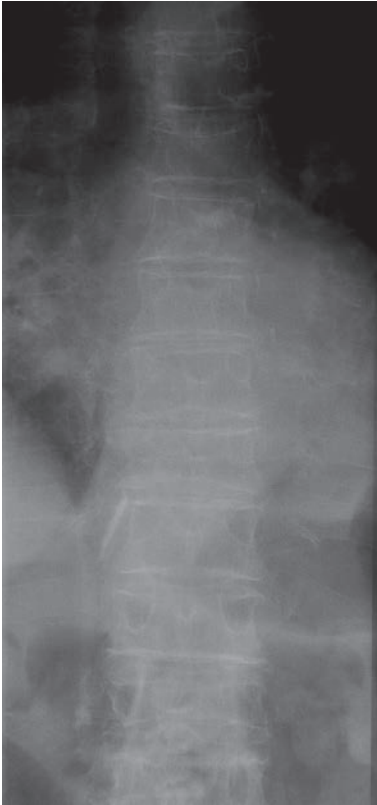


Fig. 14-4. Exemples de fracture tassement de T10.

fracture concerne le rachis thoracique (notamment la partie basse de celui-ci).

Les fractures les plus fréquentes sont les fractures par tassement qui se traduisent alors à l'imagerie standard par :

- la perte d'épaisseur d'un corps vertébral (à comparer aux vertèbres voisines), voire la densification de celui-ci ;
- une variation segmentaire d'une distance interpédiculaire ou intertransversaire.

En deuxième position par ordre de fréquence, viennent ensuite les fractures par arrachement soit :

- de tout ou partie du processus épineux (visible principalement sur l'incidence de profil, mais qui peut donner un écart modifié de la distance interépineuse sur l'incidence de face) ;
- de tout ou partie d'un processus transverse, généralement bien visible sur une radiographie de face, car le fragment distal du processus transverse subit des tractions musculaires, lesquelles font bâiller la solution de continuité.

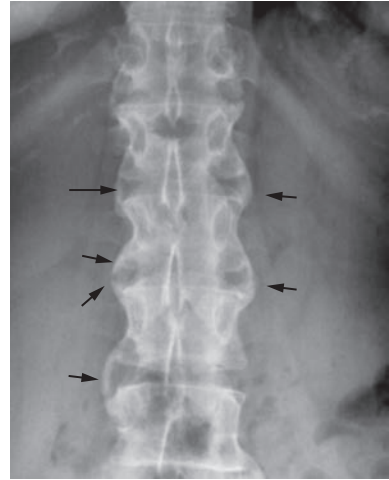


Fig. 14-5. Exemples de syndesmophytes.

Les fractures–dislocations sont les moins fréquentes. En plus d'associer les signes précédents, elles peuvent laisser apparaître une perte focalisée d'alignement des processus épineux, ainsi que des signes de décalage en rotation (figure 14.4).

En orthopédie, l'étude des scolioses se fait par la mesure des angles d'inclinaison, généralement sur une incidence de rachis dans sa totalité (voir p. 177). Néanmoins, la quantification des rotations vertébrales et la cotation du stade d'ossification peuvent nécessiter un cliché localisé de rachis dorsal ou du bassin pour ce qui est de la quantification de l'ossification (test de Risser).

En rhumatologie, les signes d'atteintes osseuses les plus courants, après ceux de l'arthrose, sont probablement les syndesmophytes (par exemple lors d'une spondylarthrite ankylosante). Ils peuvent induire la fusion vertébrale étagée ou globale (colonne bambou) (figure 14.5).

Incidence du rachis thoracique de profil

Elle est indissociable de l'incidence de face, à tel point que les indications de réalisation sont les mêmes pour les deux incidences.

Indications

Voir p. 170.

Réalisation

De la même façon que pour l'incidence de face, l'incidence de profil peut être réalisée debout ou en décubitus en fonction de l'indication et de la clinique.

Cette incidence se réalise : patient tourné à 90° par rapport à la plaque radiographique, les bras et les épaules dégagés vers l'avant. Le but est de limiter les projections des masses scapulaires avec la partie supérieure du rachis thoracique. En cas de scoliose, on préfère réaliser l'image patient présentant la concavité de sa scoliose au tube. Comme pour la face, le but est d'utiliser la divergence du faisceau.

Une variante existe, appelée l'incidence en position « de ski nautique » (de Rouquet et Laurence), où le patient se trouve penché vers l'arrière, tenant un point fixe avec les deux mains en avant. Cette incidence requiert une certaine agilité du patient et ne doit pas espérer mettre en évidence des troubles posturaux (la position n'étant pas « physiologique »).

Radio-anatomie (figure 14.6)

Critères de qualité

L'image obtenue doit faire apparaître un maximum de vertèbres thoraciques, T1 et T2 étant rarement visibles à cause de la superposition du massif scapulaire.

Les structures paires doivent apparaître superposées (processus articulaires, pédicules et arcs costaux). Si ce n'est pas le cas, cela signe une rotation vertébrale.

Les plateaux vertébraux doivent apparaître non dédoublés.

Une fois encore, les variations morphologiques (principalement les scolioses) peuvent gêner l'obtention des critères de qualité obligeant à la réali-

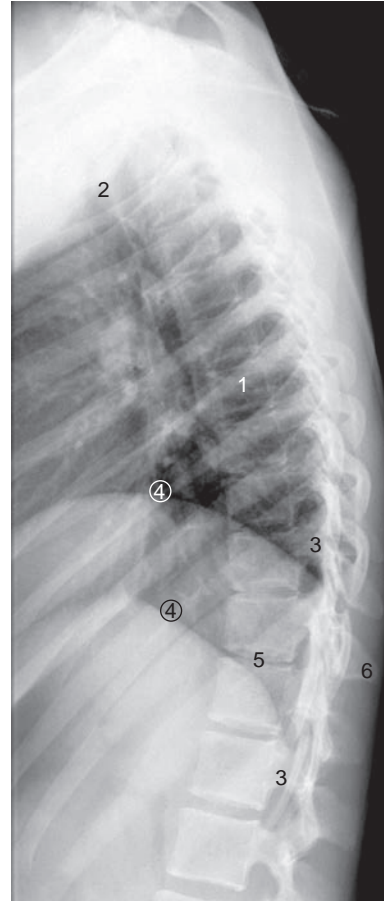


Fig. 14-6. Radio-anatomie de l'incidence de rachis thoracique de profil.

1. Corps de la 6^e vertèbre thoracique. 2. Trachée. 3. Pédicule. 4. Coupes diaphragmatiques. 5. Disque intervertébral. 6. Processus épineux.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

sation de clichés complémentaires pour obtenir sur deux images (voire plus) la totalité des informations attendues.

Éléments de l'analyse

Nous analysons ici la courbure thoracique selon le plan sagittal. Cette courbure doit être harmonieusement concave vers l'avant.

La structure osseuse s'analyse pièce par pièce, puis on analyse les rapports des pièces osseuses les unes avec les autres.

Notions de pathologie

En rhumatologie, l'arthrose est l'affection de traduction radiologique la plus courante. Elle produit un rétrécissement de l'interligne articulaire intervertébral, une densification de l'os sous-chondral aux différentes articulations, une déformation articulaire et osseuse.

La maladie de Scheuermann (figure 14.7) est une ostéochondrose ou une ostéochondrite de croissance. L'ostéonécrose épiphysaire correspondante produit des séquelles de traduction radiologique. Elles peuvent montrer à décrire :

- un aspect feuilleté des plateaux vertébraux ;
- un aspect marqué de la cyphose (\pm aspect cunéiforme des vertèbres) ;
- des pincements discaux ;
- des hernies (pré-marginale postérieure ou rétro-marginale antérieure ou intraspongieuse de Schmorl) ;
- des épiphyses libres ;
- des lésions dégénératives associées.

Le rachis thoracique en croissance peut donner des images particulières qu'il est intéressant de connaître pour ne pas les confondre avec une pathologie quelconque (figure 14.8).

Incidence du rachis dans sa totalité

On évoque ici des incidences de face et de profil. Nous traitons les deux clichés ensemble.



Fig. 14-7. Exemple d'image de maladie de Scheuermann.

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

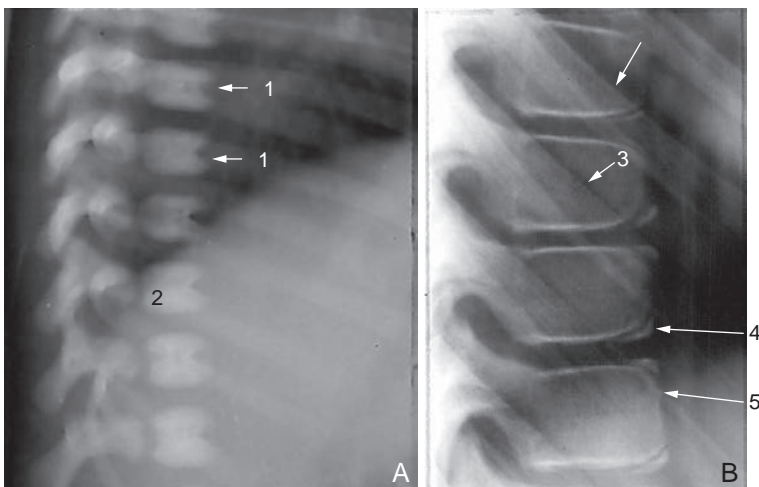


Fig. 14-8. Exemple de radiographie du rachis thoracique de profil.

1. Sillon du pédicule vasculaire. **2.** Corps vertébral. **3.** Côtes. **4.** Disques annulaires épiphysaires inférieurs du corps vertébral. **5.** Disques annulaires épiphysaires supérieurs du corps vertébral.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Indications

En orthopédie

L'unique indication de réalisation de clichés du rachis dans sa globalité de face et de profil est le dépistage et le suivi des scolioses.

Réalisation

La technique et le positionnement du patient sont semblables aux techniques de rachis thoracique, à l'exception du matériel utilisé, à savoir : une cassette grand format et une distance tube–film plus importante pour avoir un recul suffisant et limiter l'agrandissement de l'image.

Le patient est debout, en ventre plaque de façon à limiter l'irradiation au tissu mammaire. Il est cependant possible d'envisager la réalisation de ce cliché en décubitus en cas de scoliose, pour en déterminer le potentiel de réductibilité.

Depuis le début des années 2000, l'EOS® commence à se répandre. Il s'agit d'un nouveau procédé de réalisation de l'imagerie corps entier selon deux plans orthogonaux. L'EOS® permet la réalisation, à dose réduite d'un facteur 10, de deux images obtenues simultanément.

Radio-anatomie (figure 14.9)

Critères de qualité

Tout le rachis doit être visible sur les clichés. On doit pouvoir observer la base du crâne et le sacrum.

De profil, toutes les vertèbres apparaissent. De face, seules les vertèbres cervicales hautes ne sont pas visibles, du fait des superpositions osseuses. Il est par conséquent souvent demandé au patient d'ouvrir la bouche pendant la réalisation du cliché pour y faire apparaître C1 et C2.

Les critères de bonne face (notamment en termes de symétrie droite/gauche) et les critères de bon profil (notamment en termes de superpositions des structures paires) sont les mêmes que pour les incidences de rachis de face et de profil.

Éléments de l'analyse

La vue d'ensemble du rachis obtenue ici n'a pas pour objectif l'analyse fine des structures vertébrales. Si une anomalie anatomique apparaissait sur ce cliché, alors des incidences localisées de rachis seraient à réaliser pour étudier la zone. L'image du rachis dans son ensemble cherche avant tout à mettre en avant la statique rachidienne globale.

Notions de pathologie

La scoliose est une déformation tridimensionnelle de la colonne vertébrale produisant une inclinaison latérale de l'axe rachidien selon un plan longitudinal. Les attitudes scoliotiques se réduisent quand le patient est en décharge à l'inverse des scolioses vraies. Le diagnostic en est essentiellement clinique. L'imagerie permet de quantifier la déformation, d'en suivre l'évolution et, parfois (rarement), d'en déterminer une cause. Outre la déformation, le stade et le potentiel de croissance sont des éléments déterminants dans la prise en charge et l'évolution de l'atteinte. Cet élément est également déterminé en radiologie, sur un cliché de main et de poignet (méthode de Greulich et Pyle par exemple) ou sur un cliché de bassin (test de Risser).

La mesure la plus couramment utilisée, pour quantifier la déformation induite par une scoliose dans le plan frontal, est la méthode de Lippmann et Cobb. La méthode consiste à déterminer une vertèbre sommet (la moins inclinée, la plus tournée) et deux vertèbres limites (ou vertèbres neutres), les plus inclinées et les moins tournées.

L'analyse s'intéresse à l'étendue de la scoliose : l'étage de la vertèbre limite « supérieure » et l'étage de la vertèbre limite « inférieure ». L'angle de la scoliose est déterminé par le prolongement de l'axe du plateau crânial de la vertèbre limite supérieure, et l'axe du plateau caudal de la vertèbre limite inférieure. Cet angle est réputé avoir une variabilité interobservateur de 3–4° (figure 14.10a).

La rotation de la vertèbre sommet peut également s'évaluer selon la méthode de Cobb. On quantifie alors le déplacement de la projection du processus épineux sur le corps vertébral corres-

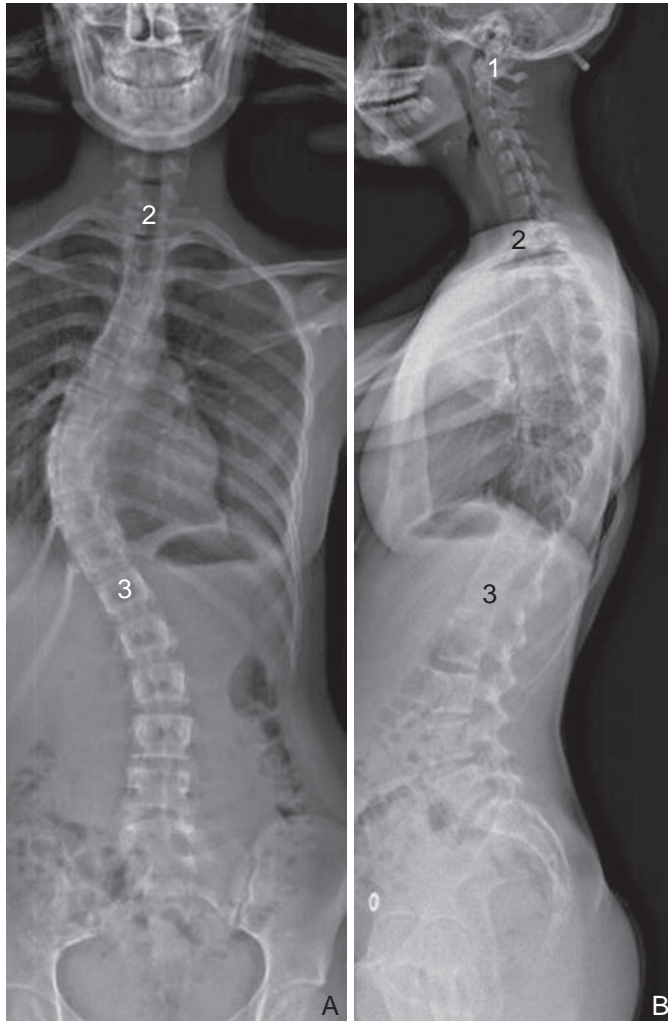


Fig. 14-9. Radio-anatomie des incidences de rachis en entier obtenue par EOS.

1. C1. 2. T1. 3. L1.

(Avec l'aimable autorisation de reproduction d'EOS imaging.)

pondant. La quantification se fait en quatre stades. De cette façon, un processus épineux se projetant à la limite du bord latéral du corps vertébral démontre la forte rotation de la vertèbre, celle-ci sera cotée «+++» (figure 14.10b).

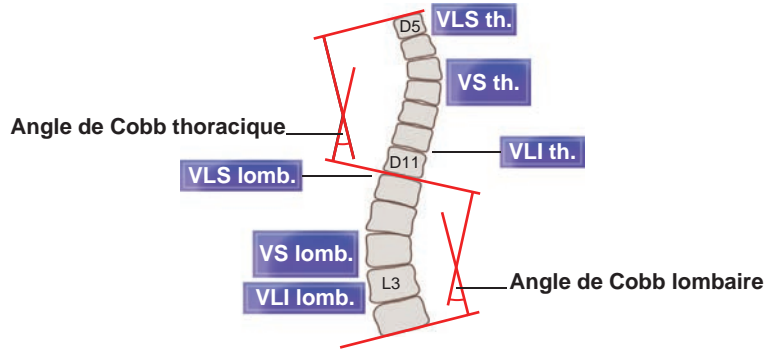
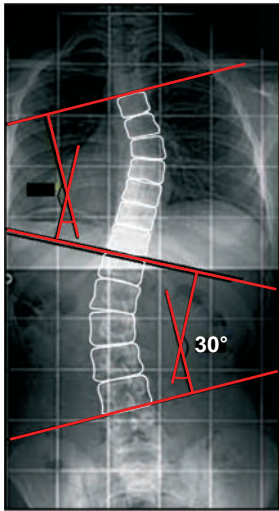
Apport à l'ostéopathie

Les incidences de rachis thoracique sont, avant tout, pourvoyeuses de diagnostics différentiels ou de

contre-indications. Ces clichés peuvent néanmoins être utiles au diagnostic spécifique ostéopathique. Ils peuvent également être utilisés en recherche.

Les diagnostics contre-indiquant la prise en charge ostéopathique sont d'ordre relatif ou absolu. L'imagerie sera alors à mettre en perspective à la clinique et à la prise en charge envisagée.

Il est à rappeler que la clinique prime sur l'imagerie et que le statut algique ou des antécédents douteux suffisent à orienter la prise en charge. Une prise en charge structurale sera naturellement à



A

Fig. 14-10.A. Exemple de mesure de l'angle de scoliose par la méthode de Lippmann-Cobb.

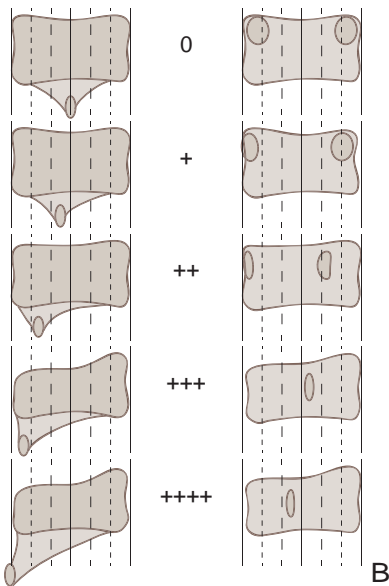


Fig. 14-10.B. Exemple de mesure de la rotation vertébrale par la méthode de Cobb.

proscrire dans les cas de diagnostic laissant le doute quant à l'étiologie (présence de fuseau paravertébral par exemple).

Citons à titre d'exemple (liste non exhaustive) les diagnostics évoquant une contre-indication :

- enfant de moins de 7 ans, du fait de l'ossification;

- tumeur osseuse ou des parties molles, due à la fragilisation osseuse inhérente;
- fracture. On peut considérer la zone fragile pendant les 2 à 3 mois qui suivent la fracture;
- chirurgie. Comme pour une fracture, on peut considérer la zone fragile pendant les 2 à 3 mois qui suivent l'intervention. Les manipulations sur matériel chirurgical en place sont à proscrire;
- maladie de Paget, si la zone à travailler est atteinte;
- maladie de Forestier, ponts de syndesmophytes ou ponts d'ostéophytes.

Certaines pathologies peuvent contre-indiquer la manipulation articulaire, en fonction de leur avancement [8] :

- l'arthrose, si la configuration articulaire est trop modifiée, si elle entraîne une ostéosynthèse ou si elle entraîne une hyperalgie pendant la recherche des paramètres manipulatifs;
- les hernies discales si elles sont évoluées, car il existe un risque d'aggravation.

Le recours aux techniques en levier minimum est un recours potentiel, le jugement du praticien étant le facteur décisionnel final.

Les incidences de rachis thoracique ne peuvent refléter une cinétique articulaire altérée, au sens de dérangement intervertébral mineur, de façon aiguë. En revanche, une cinétique vertébrale altérée depuis un certain temps sera à risque de pro-

duire une réaction tissulaire osseuse et d'apporter une traduction radiologique (par la présence d'arthrose par exemple). Ces phénomènes sont à intégrer dans la prise en charge du patient et peuvent aider à la compréhension globale de son schéma de fonctionnement.

Les incidences de rachis thoracique ne sont pas à voir comme le reflet de l'état mécanique de la zone à l'instant de la réalisation du cliché, mais comme une traduction anatomique des différentes contraintes subies sur du long terme par la zone.

Dans le domaine de la recherche en ostéopathie, la radiographie standard du rachis peut être envisagée comme outil d'analyse, sous condition de répondre à un protocole précis de réalisation [9]. La radiographie corps entier, par exemple, est un moyen efficace d'évaluation posturale [10]. À ce titre l'EOS® a un rôle important à tenir. En effet, cette imagerie produit deux images orthogonales simultanément, ce qui permet l'orientation fine des différentes structures osseuses dans l'espace et les unes par rapport aux autres [11]. Cette finesse d'orientation n'est pas permise par les clichés standard, car la réalisation des incidences est différée, et parce que l'on ne peut garantir l'orthogonalité des deux clichés obtenus. Aucune étude ne peut encore faire le lien entre posture, positionnement osseux et cinétique articulaire.

Références

- [1] Herman MJ, Pizzutillo P. Cervical spine disorders in children. *Orthop Clin North Am* 1999; 30(3) : 457-66.
- [2] Bailey DK. The Normal cervical spine in infants and children. *Radiology* 1952; 59(5) : 712-9.
- [3] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 19.
- [4] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 15.
- [5] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 58.
- [6] Guigui P, Lassale B, Deburge A. Fractures et luxations récentes du rachis dorsal et lombaire de l'adulte. In : *Appareil locomoteur. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris); 1998. p. 10, 15-829-A-10.*
- [7] Lalande G, Kalifa G, Dubouset J. Diagnostic radiologique des scolioses. In : *Radiodiagnostic. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris); 1983. p. 6, 31-671-B-10.*
- [8] Ficher M, Ericau B. Thrust, sémiologie, imagerie, indications en ostéopathie vertébrale. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2009. p. 128-41.
- [9] Grant JH. Osteopathic Roentgenology; 1961. p. 87-9, JAOA Year Book.
- [10] Denslow JS, et al. Methods in taking and interpreting Weight-Bearing X-Ray films. *J Am Osteopath Assoc* 1955; 54(11) : 122-30.
- [11] Matthew T. L'EOS, ultime évolution des technologies de l'imagerie médicale, outil de l'ostéopathe. In : *Symposium international 2012, ESO, Le squelette humain dans tous ses états; 25 mai 2012.*

Chapitre 15

Imagerie des côtes et du sternum

Les 24 côtes forment le grill costal. Les sept premières paires sont dites « vraies côtes ». Elles sont articulaires avec le sternum par l'intermédiaire de leur cartilage propre. Les paires 8, 9 et 10 sont dites « fausses côtes » et sont reliées au sternum pas l'intermédiaire du cartilage de la côte sus-jacente. Les deux dernières paires de côtes sont les « côtes flottantes », leurs extrémités distales sont libres.

On trouve parfois des paires de côtes surnuméraires chez 0,5 à 1 % de la population au niveau cervical (en C7) ou, plus rarement, au niveau lombaire (en L1). Il existe également des agénésies de la dernière paire de côtes. Ces variations peuvent compliquer le repérage radio-anatomique, voire induire des diagnostics erronés de fracture de transverse (dans le cas d'une côte surnuméraire en L1 par exemple) [1].

Les côtes sont dénommées de K1 (ou R1) à K12 (ou R12)⁵⁵, de crânial vers caudal. Elles sont articulaires à l'arrière avec les vertèbres thoraciques.

Le sternum est une pièce osseuse plane, symétrique et médiane. On lui décrit de haut en bas, un manubrium, un corps et un processus xiphoïde. Le manubrium est articulaire à ses angles supérolatéraux avec les clavicules (incisure claviculaire) et les premières côtes. La jonction manubrium–corps porte les surfaces articulaires des deuxième paires de côtes. Les quatre paires de surfaces articulaires costales suivantes sont sur le corps du sternum et la dernière (la septième) à la jonction corps–xiphoïde.

Le grill costal s'analyse en radiologie par des incidences spécifiques de face ou de 3/4. Ces incidences sont bien distinctes des incidences de rachis ou de poumons. Les structures anatomiques des côtes ayant une traduction radiologique sont :

- la tête, articulaire avec le corps vertébral du niveau considéré et le corps vertébral de la vertèbre sus-jacente. N.B. : K1, K11 et K12 ne s'articulent qu'avec le corps vertébral du même niveau ;
- le col, formant un rétrécissement osseux ;
- la tubérosité, articulaire avec la transverse de la vertèbre du niveau considéré ;
- l'angle de côte, point de départ de l'incurvation costale ;
- le corps, partie arquée de la côte ;
- l'articulation chondro-costale présentant une partie costale creuse et une partie cartilagineuse pleine, en forme de pointe inversement conformée. Le cartilage est habituellement⁵⁶ radio-transparent et laisse parfois apparaître cette excavation articulaire ;
- les côtes s'ossifiant à partir d'un centre d'ossification primaire situé au niveau de l'angle de côte vers 13–14 semaines de vie intra-utérine. Cette ossification s'initie à hauteur de K6-K7. Trois noyaux d'ossification secondaires apparaissent entre 16 et 20 ans, à la tête et au tubercule de la côte (un pour la pars articulaire, et un pour la pars non articulaire)⁵⁷. Les noyaux secondaires s'ossifient à la côte vers 25 ans. Chez le jeune enfant, les côtes sont plus horizontales et moins incurvées que chez l'adulte.

Le sternum est difficilement visible en radiographie standard. Sur les incidences de face, sa superposition avec le rachis thoracique, combinée à sa faible épaisseur, le rend quasiment invisible. Il apparaît sur les incidences de profil et de 3/4 et montre à décrire :

⁵⁶ Peut parfois être calcifié, chez le sujet âgé notamment.

⁵⁷ Notons que de K7 à K10, il n'y a pas de noyaux d'ossification secondaire pour la pars non articulaire de la tubérosité et que K11 et K12 n'ont qu'un noyau d'ossification secondaire pour la tête de côte.

⁵⁵ T pour thoracique, R pour *rib* (côte en anglais), K pour côte (C étant utilisé pour les vertèbres cervicales).

- l'angle sternal entre le corps du sternum et le manubrium sternal; c'est une articulation en symphyse et, à ce titre, elle apparaît radio-claire;
- les surfaces articulaires sterno-claviculaires;
- les surfaces articulaires chondro-sternales (échancrures costales). Elles sont donc au nombre de sept. La première est située dans la partie crâniale du manubrium, la deuxième à hauteur de l'angle sternal, les quatre suivantes sur le corps du sternum, la septième sur la synchondrose xypho-sternale;
- le développement du sternum passe par une phase de fusion cartilagineuse des deux hémisternums (droit et gauche). L'ossification du sternum se fait alors du manubrium vers le processus xiphoïde, en s'étendant sur une période allant du 6^e mois de vie intra-utérine jusqu'à la 3^e année de vie. Le manubrium sternal présente un centre d'ossification. Le corps s'ossifie par quatre centres généralement présents à la naissance. Le noyau du processus xiphoïde apparaît entre 5 et 8 ans. La fusion osseuse se fait vers 25 ans (sauf avec le processus xiphoïde). Celle-ci est inconstante et arrive généralement après 40 ans. Il arrive que la fusion des hémisternums droit et gauche soit incomplète et laisse apparaître une fissure sternale. Parfois les noyaux d'ossification sont pluricentriques. Dans ce cas, il arrive que la fusion ne se fasse pas. Allant jusqu'à laisser, à l'âge adulte, apparaître un foramen sternal [2].

L'étude du thorax en imagerie s'intéresse au contenant et/ou au contenu. Tous les types d'imageries y ont des indications. Nous ne développons ici que l'étude ostéo-articulaire, et n'évoquerons pas l'étude du médiastin et du parenchyme pulmonaire⁵⁸. Notons tout de même que contenant et contenu sont souvent analysés lors du même bilan (parfois avec des examens différents).

⁵⁸ La radiographie pulmonaire (RP) est néanmoins largement utilisée. Il s'agit en effet de la radiographie la plus réalisée en milieu hospitalier et représente 14,5 % des réalisations de radiographies dans le secteur privé [3]. Ses indications sont multiples, diagnostic et suivi de pathologies respiratoires (telles que des pathologies infectieuses, tumorales, pneumo/hémo-thorax, etc.) ou encore bilan préopératoire [4, 5].

L'imagerie des côtes se fait principalement en radiographie standard. Une attention particulière est alors portée aux rapports avec le parenchyme pulmonaire. Lorsqu'un doute existe quant à l'état du poumon sous-jacent, une radiographie pulmonaire complète alors l'étude.

Le scanner se justifie dans les cas d'atteintes sévères (pluritraumatismes et retentissement fonctionnel marqué).

La scintigraphie, comme pour le rachis, est intéressante dans la recherche de localisations tumorales secondaires.

L'étude du sternum se réalise généralement en radiographie standard. Elle se justifie en scanner dans les cas de fractures graves ou dans les cas de luxations sterno-claviculaires postérieures. Ces dernières peuvent passer inaperçues en radiographie standard et présenter un risque de compression vasculo-nerveuse important [6].

En imagerie conventionnelle, le gril costal s'analyse selon des incidences uni- et/ou bilatérales, offrant à voir le gril costal de face puis selon deux incidences obliques opposées. Le cartilage chondro-costal ne se voit pas en radiologie (à moins d'être calcifié, ce qui n'est pas rare chez le sujet âgé).

Le sternum peut s'analyser sur des incidences de 3/4 ou de profil, mais sa densité relativement faible demande des constantes radiologiques adaptées.

Indications générales

La traumatologie est donc de loin l'indication principale dans l'exploration du gril costal et du sternum en radiologie conventionnelle.

Elle peut également trouver un intérêt dans la recherche de foyer métastatique, bien que souvent délaissée à la faveur de la scintigraphie osseuse corps entier.

Pour les douleurs costales imputables à une hypothétique fracture, la réalisation systématique de radiographies se discute dans la mesure où le ratio bénéfice-risque n'est pas forcément positif. En effet, si le patient ne présente pas de signes de gravité (retentissement respiratoire en premier

lieu), la mise en évidence d'une fracture ne modifiera pas sa prise en charge.

Incidence du gril costal de face

Indications spécifiques

Les incidences de gril costal ont pour principal intérêt d'objectiver des fractures de côte. En traumatologie, on différencie les fractures simples (résultant d'un traumatisme minime et à faible potentiel d'aggravation) et les fractures compliquées (multifocales, décrochant un volet thoracique, à répercussions fonctionnelles ou encore secondaires à un processus fragilisant l'os). Dans le premier cas, la portée de l'examen complémentaire est relativement restreinte dans la mesure où la clinique est relativement parlante et dans la mesure où la prise en charge du patient n'en sera pas grandement modifiée. Ceci fait d'ailleurs dire à beaucoup de praticiens, qu'en l'absence de signes évocateurs à l'auscultation, mieux vaut s'abstenir de réaliser ces clichés.

Dans le cas des fractures complexes, l'examen se justifie dans la recherche de signes de gravité (hémothorax ou pneumothorax), ou encore dans la recherche de facteurs favorisants (tumeur osseuse, ostéoporose, etc.).

Le diagnostic radiologique en post-traumatique immédiat a une sensibilité relativement limitée et discutée, de l'ordre de 12 à 50 % [7, 8]. Cette sensibilité s'améliore à distance du traumatisme, notamment lors de la phase de consolidation avec l'apparition du cal osseux. Le diagnostic de fracture est impossible au niveau du cartilage (et peut justifier le recours au scanner). Il est meilleur au niveau de l'arc latéral que de l'arc postérieur de la côte.

Réalisation

Le patient est face au tube à rayons X, le plan des épaules est parallèle à la plaque radiographique. Dans la mesure des capacités du patient, et en l'absence de risque d'atteinte rachidienne, la réalisation debout ou encore demi-assis rayon hori-

zontal est préférable pour objectiver, s'il y a lieu, un épanchement pleural (impossible à voir en décubitus rayon directeur vertical).

Le centrage peut intéresser tout ou partie du gril costal, l'incidence est fréquemment réalisée de façon unilatérale.

Radio-anatomie (figure 15.1)

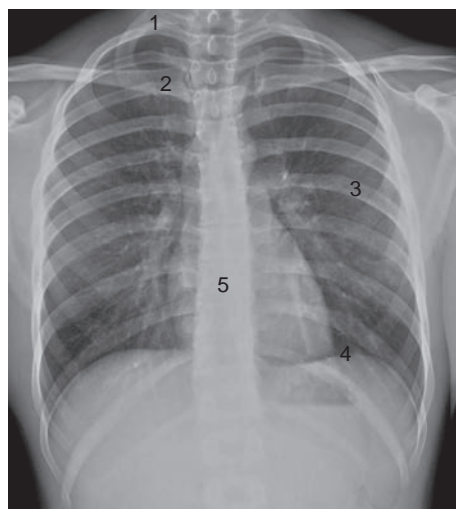


Fig. 15-1. Radio-anatomie de l'incidence de gril costal de face.

1. K1 droite. 2. Clavicule droite. 3. K7 gauche. 4. Coupole diaphragmatique gauche. 5. T9.

Critères de qualité

Nous devons pouvoir observer la totalité du gril costal (ou de l'hémi-gril costal d'intérêt).

Les constantes radiologiques doivent permettre de faire ressortir le tissu osseux grâce à un contraste et à un noircissement idéal. Il ne s'agit pas de faire ressortir le parenchyme comme ce serait le cas sur une radiographie pulmonaire.

Éléments de l'analyse

Le cadre osseux doit être analysé dans sa totalité, y compris les vertèbres et la clavicule quand elles sont visibles. Les côtes s'analysent dans toute leur longueur, de l'articulation costo-vertébrale jusqu'à l'articulation chondro-costale. Une attention

particulière est à porter aux zones de superpositions osseuses pour ne pas « perdre le fil », et passer d'une côte à une autre (ou pour ne pas confondre une superposition osseuse avec une solution de continuité).

● Remarque

Il est plus aisé pour l'œil d'analyser une radiographie de gril costal en positionnant le cliché selon une rotation de 90°, donnant ainsi aux côtes une direction globalement horizontale.

Notions de pathologie

Outre les cas de fractures (simples ou secondaires) et de complications induites par celles-ci, le gril costal peut révéler des localisations métastatiques ou de maladie de Paget (figure 15.2).

Incidence du gril costal de 3/4

Sous cette appellation, nous regroupons les quatre différents positionnements en oblique (voir plus loin figure 15.3). En pratique, les incidences sont réalisées par paires : oblique antérieur gauche (OAG) et oblique antérieur droit (OAD) ou oblique postérieur droit (OPD) et oblique postérieur gauche (OPG).

Indications

De la même façon que pour la face, en pratique, on réalise toujours l'incidence de face accompagnée des incidences de 3/4 (droit puis gauche), ceci pour limiter les risques de faux négatifs. Ces incidences permettent de dégager en plusieurs fois la totalité des côtes. Certaines fractures peuvent ne se voir que sur une seule des trois incidences (d'où la nécessité de vigilance).

Réalisation

Dans les mêmes conditions que pour la face, on demande au patient une rotation à 45° sur sa

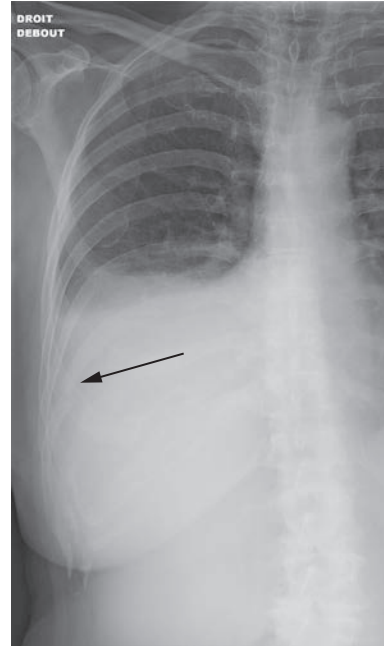


Fig. 15-2. Radiographie du gril costal présentant une fracture (flèche) de la 9^e côte droite.

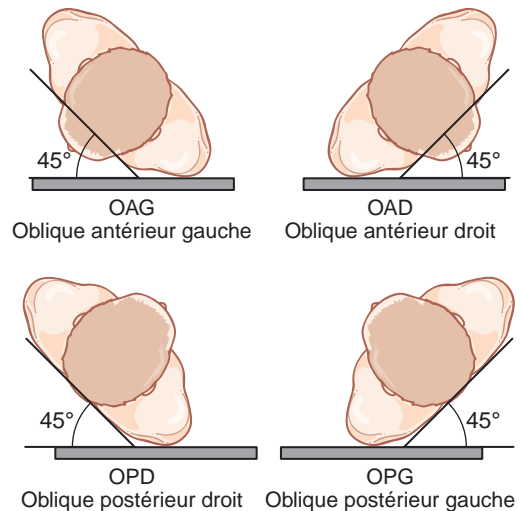


Fig. 15-3. Positionnement du patient et réalisation de l'incidence de gril costal de 3/4.

droite, puis pour le deuxième cliché, une rotation de 45° sur sa gauche. L'incidence peut se concevoir en dos plaque ou ventre plaque, si la zone

d'intérêt est celle décollée de la plaque, alors on bénéficie d'un coefficient d'agrandissement supérieur (figure 15.3).

Radio-anatomie (figure 15.4)

Critères de qualité

Ils sont les mêmes que pour l'incidence de face :

- bonne localisation/visualisation de la zone explorée ;
- bon contraste/noircissement de l'image.

Éléments de l'analyse

De la même façon que pour l'incidence de face, une bonne méthodologie de lecture est nécessaire pour limiter le risque de passer à côté d'une atteinte costale. Il est indispensable de suivre méthodologiquement la côte sur la totalité de sa longueur, de l'arrière vers l'avant, et de descendre dans le grill, de K1 à K12.

Le 3/4 postérieur droit « déroule » l'arc moyen et antérieur des côtes droites. De même, il expose l'arc postérieur des côtes gauches.

Le 3/4 postérieur gauche « déroule » l'arc postérieur des côtes droites. De même, il déroule

l'arc antérieur et moyen des côtes gauches (figure 15.5).

Notions de pathologie

Comme pour l'incidence de gril costal de face, les incidences de gril costal en oblique permettent de mettre en évidence atteintes osseuses costales, fractures, tumeurs, Paget, etc.

Incidence de sternum de profil

Indications spécifiques

En traumatologie, à la recherche de fracture sternale.

Notons que les fractures des cartilages costaux ne sont pas visibles à la radiographie.

Réalisation

Le patient est tourné à 90° par rapport à la surface radiographique. Il croise les mains derrière le dos et amène les épaules en rétropulsion. Il réalise une apnée inspiratoire.

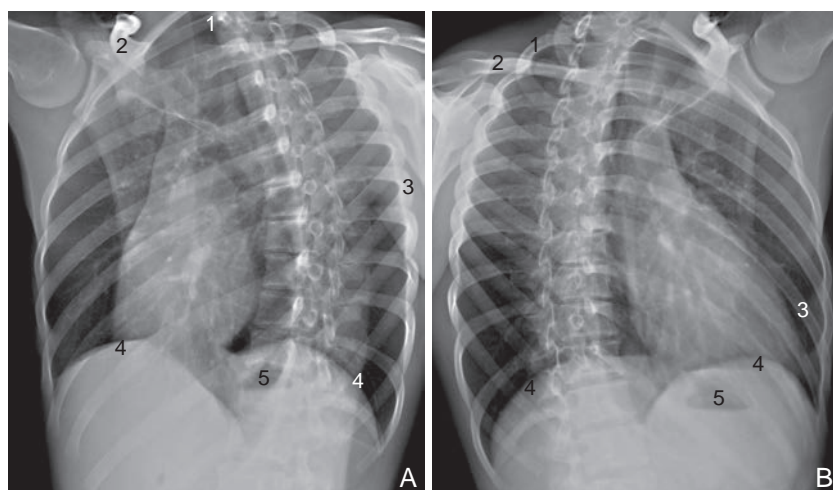


Fig. 15-4. Radio-anatomie des incidences de gril costal de 3/4.

1. K2 droite. 2. Clavicule. 3. K7 gauche. 4. Coupes diaphragmatiques. 5. Poche à air gastrique.

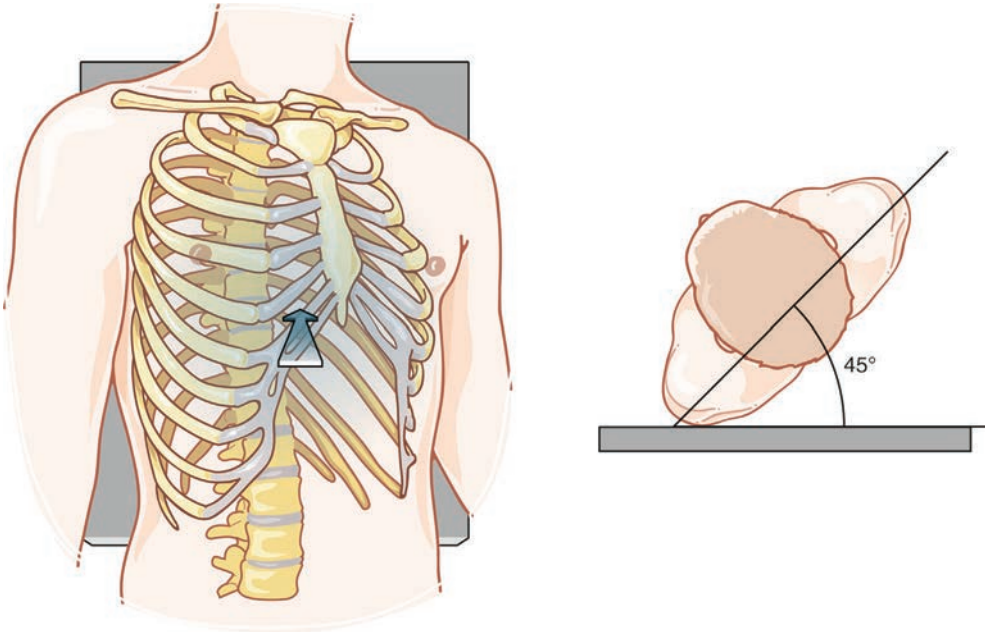


Fig. 15-5. Schématisation des superpositions des incidences de grill costal en OPD.

Radio-anatomie (figure 15.6)

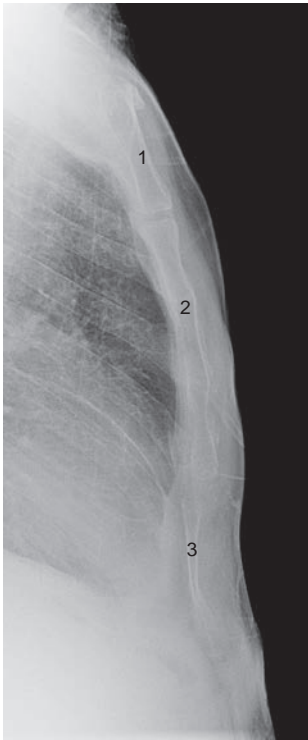


Fig. 15-6. Radio-anatomie de l'incidence de sternum de profil.
1. Manubrium sternal. 2. Corps du sternum. 3. Xiphôïde sternale.

Critères de qualité

Le sternum doit apparaître de profil strict sans dédoublement de ses faces.

Éléments de l'analyse

Nous nous intéressons à l'aspect du sternum (intégrité, axe) et à ses rapports articulaires avec les clavicules [9].

Notions de pathologie

Les fractures du sternum intéressent majoritairement l'angle sternal (90 % des cas). Si la fracture n'est pas déplacée, elle peut facilement passer inaperçue. Dans les cas sévères, elle peut se compliquer de fracture ou luxation des structures voisines.

Les luxations sterno-claviculaires sont rares et fréquemment méconnues au diagnostic radiologique initial [10].

Le pectus excavatum est la déformation thoracique la plus fréquente. Elle est généralement sans retentissement autre que simplement esthétique. Son diagnostic n'est pas radiologique mais doit pousser à une recherche clinique d'une possible anomalie rachidienne associée (figure 15.7) [11].



Fig. 15-7. Radiographie du sternum présentant une fracture (flèche) du manubrium.

Incidence de sternum de 3/4

Cette incidence remplace classiquement l'incidence de face. L'incidence de face stricte n'apporte pas beaucoup d'informations du fait des superpositions.

Indications spécifiques

Ce sont les mêmes que pour le profil, les deux incidences sont souvent associées.

Réalisation

Le patient est en rotation de 20 à 30°, dégage le bras qui se retrouve postérieur pour éviter les superpositions, l'autre bras est le long du corps. Le cliché est réalisé en apnée.

Radio-anatomie (figure 15.8)

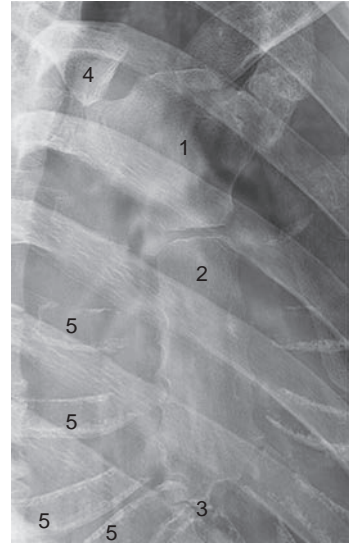


Fig. 15-8. Radio-anatomie de sternum de 3/4.

1. Manubrium sternal. 2. Corps du sternum. 3. Xiphoïde sternale (ossifiée au corps). 4. Clavicules. 5. Cartilages costaux calcifiés.

Critères de qualité

Le sternum doit être dégagé des superpositions avec le rachis thoracique.

Le contraste doit permettre l'analyse de la structure osseuse sternale.

Éléments de l'analyse

Ce sont les mêmes que pour l'incidence de profil.

Une fracture du sternum passe facilement inaperçue et peut uniquement donner à voir un élargissement du médiastin antérieur résultant d'un hématome à ce niveau.

Notions de pathologie

Ce sont les mêmes que pour l'incidence de profil.

Apport à l'ostéopathie

L'imagerie des côtes et du sternum apporte quelques contre-indications à certaines pratiques ostéopathiques.

Effectivement, la mise en évidence de lésions structurelles (fracture, luxation...) du sternum et des côtes contre-indique la réalisation de techniques structurelles à ce niveau. Elle contre-indique également aux manipulations du rachis thoracique, du fait de l'appui nécessaire sur le thorax.

Le risque de faux négatif en la matière reste évidemment à évaluer en se confrontant à la clinique.

Les techniques structurelles sont contre-indiquées jusqu'à 6 semaines après la fracture, temps nécessaire à la consolidation à ce niveau.

Les subluxations costo-vertébrales, chondro-costales et chondro-sternales n'ont pas de traduction radiologique.

Bien que les radiographies de côtes et de sternum ne permettent pas d'en faire le diagnostic, rappelons ici que le pneumothorax contre-indique au thrust jusqu'à 6 mois après l'atteinte.

Références

- [1] Moore KL, Dalley AF. Anatomie médicale. Aspects fondamentaux et applications cliniques. In : De Boeck; 2001 ; p. 64-5.
- [2] Cruveilhier J. The anatomy of the human body. In : Harper and Brothers; 1844. p. 64-71.
- [3] Caisse nationale de l'assurance maladie, département des actes médicaux. Évolution des actes techniques en secteur libéral en 2009. Bulletin Points de repère 2010 nov; 31 : 4.
- [4] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 61-2.
- [5] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 29-32.
- [6] Restrepo CS, et al. Imaging appearances of the sternum and sternoclavicular joints. Radiographics 2009; 29(3) : 839-62.
- [7] Minier P. Prise en charge des traumatismes thoraciques sans signes évidents de gravité [thèse de doctorat en médecine]. Faculté de médecine de Grenoble; décembre 2004.
- [8] Griffith JF, et al. Sonography compared with radiography in revealing acute rib fracture. AJR Am J Roentgenol 1999; 173(6) : 1603-9.
- [9] Grignon B, et al. Sternum et côtes. In : Traité EMC radiologie et imagerie médicale musculosquelettique, neurologique, maxillo-faciale. Paris : Elsevier; 1998, cote : 30-370-A-20.
- [10] Rousset M, et al. La luxation sternoclaviculaire postérieure. Journal de Traumatologie du Sport 2010; 27(1) : 14-9.
- [11] Bedouelle J, Guillaumat M. Malformations de la paroi thoracique. In : Traité EMC appareil locomoteur. Paris : Elsevier; 1994; cote : 15-748-A-10.

Chapitre 16

Imagerie du rachis lombaire

Constitué de cinq pièces osseuses, le rachis lombaire, configuré en lordose, représente la seule structure osseuse du tronçon abdominal. Les cinq vertèbres constituant le rachis lombaire sont les plus massives de la colonne vertébrale. Elles sont dénommées et numérotées de crânial vers caudal, de L1 à L5. Leurs particularités radio-anatomiques sont notamment :

- les corps vertébraux réniformes à grand axe transversal et à concavité postérieure. Cette particularité est à l'origine de la construction radiologique du « mur postérieur », sur les radiographies de profil, et de son dédoublement en cas de rotation vertébrale ;
- les pédicules sagittalisés. Ceux-ci apparaîtront, sur une radiographie de face, sous forme de deux anneaux de densité plus marquée en projection sur le corps vertébral ;
- les processus épineux descendant peu sous le niveau du plateau vertébral inférieur. Sur une incidence de face, le processus épineux d'une vertèbre se projette jusqu'au tiers supérieur du corps vertébral de la vertèbre sous-jacente ;
- les processus transverses relativement longs. Sur une vue de face de l'ensemble de la colonne lombaire, ils s'orientent pour converger latéralement à hauteur de L3 ;
- les surfaces articulaires des processus articulaires : elles sont quasiment sagittalisées, orientées selon un plan regardant en dedans et légèrement en arrière ;
- les disques intervertébraux : ils ont une épaisseur croissante quand on descend dans la colonne et une forme de coin qui s'accroît également avec la descente dans le rachis ;
- les foramens intervertébraux se trouvant dans un plan sagittal. Leur pourtour est constitué de :
 - la portion postérolatérale des disques intervertébraux,
 - le bord inférieur du pédicule de la vertèbre sus-jacente (très concave vers le bas, cette portion constitue la plus grosse portion du foramen),
 - la portion antérieure de l'articulation zygapophysaire et sa capsule articulaire,
 - le bord supérieur du pédicule de la vertèbre sous-jacente ;
- les racines nerveuses dénommées de L1 à L5, prenant ainsi le nom de la vertèbre sus-jacente ;
- l'ossification des vertèbres lombaires : elle se fait selon un schéma classique par trois noyaux d'ossification primaires, un pour le corps vertébral et un pour chaque héli-arc neural. Les trois noyaux sont présents à la naissance et mûrissent jusqu'à la fusion qui intervient vers 3 ans pour ce qui est de la jonction entre les héli-arcs et vers 6 ans pour ce qui est de la jonction corps-pédicule [1, 2]. De nombreux noyaux d'ossification peuvent apparaître, principalement aux extrémités des processus transverses et épineux, et au niveau des plateaux vertébraux crâniens et caudaux. Ces noyaux fusionnent chez l'adulte jeune et peuvent avant cela mimer une fracture. À l'âge adulte, certaines anomalies du développement osseux peuvent s'observer, mais restent rares, citons par exemple les agénésies et défauts de fusion.

Les radiographies standard du rachis lombaire sont généralement la première étape de l'exploration en imagerie de la zone, bien que la sensibilité ne soit pas forcément la meilleure (en fonction du diagnostic initial). Les méthodes d'imagerie complémentaires (IRM, scanner ou scintigraphie) ont un intérêt dans les lombalgies particulières ou celles qui présentent un signe de gravité.

Le scanner ainsi que l'IRM ont une forte sensibilité au diagnostic de conflit disco-radiculaire (meilleure que la radiographie simple). Le scanner sera préféré dans les contextes où l'étude osseuse doit être poussée (traumatologie, rhumatologie...), tandis que l'IRM sera préconisée dans l'étude fine des structures nerveuses ou ligamentaires [3].

La scintigraphie osseuse est utile dans la recherche de processus ostéoblastique actif (en cancérologie par exemple).

L'échographie n'a pas d'indications dans l'exploration du rachis lombaire [4].

Indications générales

Les lombalgies secondaires à une affection inflammatoire, infectieuse, tumorale ou fracturaire doivent rapidement orienter vers la réalisation de clichés standard et éventuellement vers une IRM.

Les lombalgies communes aiguës nécessitent rarement une exploration par radiographie standard. Les recommandations tendent à les conseiller :

- avant un traitement par manipulation articulaire (pour éliminer une lombalgie spécifique);
- quand la symptomatologie évolue depuis plus de 7 semaines [5].

Cependant, les radiographies sont relativement peu sensibles dans ce contexte. La majorité des étiologies des lombalgies communes aiguës ne sont pas visibles en radiographie.

Dans le cadre d'une lombalgie présentant des signes de gravité⁵⁹ ou devant un contexte particulier⁶⁰, alors le recours à un avis spécialisé est l'urgence et l'imagerie ne doit pas le retarder.

Les lombalgies chroniques peuvent orienter vers une imagerie standard dans le cadre du diagnostic d'un spondylolisthésis ou d'une spondylarthrite ankylosante par exemple chez un sujet de

moins de 20 ans, ou chez les patients de plus de 55 ans. Il n'y a pas d'intérêt à les répéter dans le suivi d'une douleur n'évoluant pas.

Rappelons que l'état dégénératif d'un rachis est sans lien de cause à effet avec la douleur de la zone (dissociation anato-mo-clinique). Il n'y a pas d'intérêt à répéter des radiographies chez un patient arthrosique.

Le rachis lombaire en incidence de face

Indissociable de l'incidence de profil, elle constitue l'exploration radiologique de base du rachis lombaire.

Indications spécifiques

En traumatologie

Le scanner ou l'IRM peuvent être réalisés en première intention (en fonction du tableau clinique et du plateau technique disponible). Ce sera notamment vrai dans les cas de symptômes neurologiques associés ou dans les cas d'examen clinique impossible.

La radiologie standard est justifiée devant une douleur suspecte ou devant un tableau de cinétique traumatique importante. On ne réalise pas d'imagerie du rachis lombaire chez le traumatisé n'ayant pas de plainte douloureuse alarmante de la colonne [6].

En rhumatologie

L'incidence de face permet le diagnostic ou le suivi de pathologies rhumatismales à localisation lombaire. Elle est complétée, au minimum, de l'incidence de profil et, souvent, d'incidences localisées ou spécifiques. Les pathologies intéressées sont notamment la spondylarthrite ankylosante évoluée, les ostéoporoses...

En orthopédie

Cette incidence trouve son intérêt dans l'observation de la statique rachidienne, notamment quand

⁵⁹ Syndrome de la queue de cheval, déficit moteur ou sensitif des membres inférieurs, douleur inflammatoire.

⁶⁰ Patient âgé de moins de 20 ans ou de plus de 55 ans. Antécédents de cancer ou de VIH. Perte de poids. Usage de drogues ou corticothérapie prolongé, perte de taille de plus de 3 cm, faible densité osseuse connue.

elle est réalisée en position debout. Elle est également réalisée dans les compléments localisés d'étude de scoliose lombaire.

L'incidence de face permet l'étude de la statique rachidienne dans le plan frontal.

L'incidence de De Sèze

L'incidence de De Sèze ou dorso-lombo-pelvi-fémorale (DLPF) est une incidence «de débrouillage» du rachis lombaire dans son ensemble, visualisant la charnière thoraco-lombaire et le bassin jusqu'aux articulations coxo-fémorales. L'incidence est réalisée en position debout et permet une étude de la statique lombaire et de l'adaptation à une éventuelle bascule pelvienne ou autre anomalie à ce niveau.

Les lombalgies

Les lombalgies aiguës n'entraînent pas la prescription d'imagerie, sauf dans les cas atypiques (selon les circonstances d'apparition ou quand on retrouve des signes cliniques associés).

Les lombalgies chroniques, évoluant depuis plus de 7 semaines et sans amélioration après un traitement médical bien tenu, justifient une radiographie standard. Celle-ci ne se justifiera plus par la suite, malgré la persistance des symptômes tant que ceux-ci restent identiques.

Réalisation

Le cliché se réalise aussi bien couché que debout, cela répondant à un compromis entre l'indication et l'état du patient. Globalement, on préférera une réalisation en décubitus dans les contextes traumatiques et debout en orthopédie ou rhumatologie.

Radio-anatomie (figure 16.1)

Critères de qualité

La radiographie de rachis lombaire de face doit faire apparaître toutes les vertèbres lombaires, ainsi que les charnières thoraco-lombaire et lombo-sacrée.

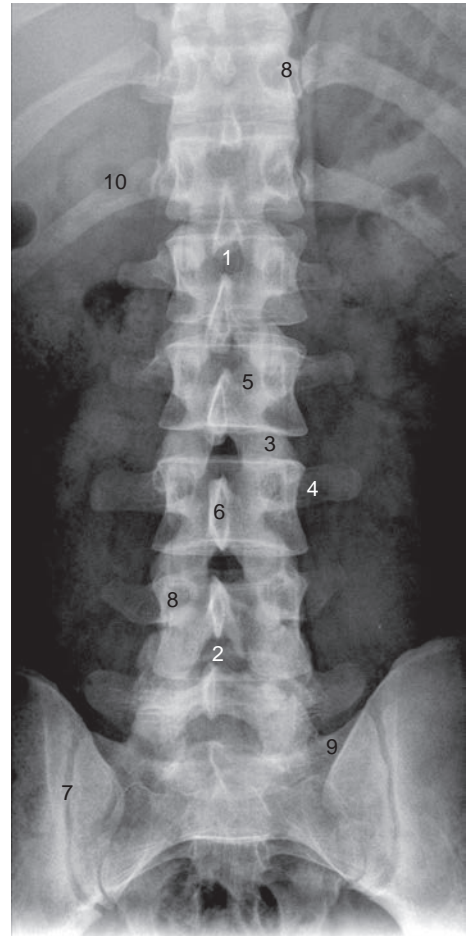


Fig. 16-1. Radio-anatomie de l'incidence de rachis lombaire de face.

1. Corps de la 1^{re} vertèbre lombale. 2. Disque intervertébral de L4-L5. 3. Processus (facette) articulaire inférieur de L2. 4. Processus transverse de L3. 5. Lame de L2. 6. Processus épineux de L3. 7. Articulation sacro-iliaque. 8. Pédicule. 9. Promontoire sacral. 10. 12^e côte droite.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

Un maximum d'espaces intervertébraux doivent être visibles (il est rare de les distinguer sur l'ensemble du rachis lombaire, du fait de la lordose physiologique et de l'inclinaison du disque L5-S1).

Les structures paires doivent apparaître de manière symétrique par rapport à un axe sagittal médian, passant par l'alignement des processus

épineux. C'est-à-dire, par exemple, que les processus transverses et les pédicules (vus en coupe) doivent apparaître à équidistance du processus épineux et cela sur toute la hauteur de la colonne lombaire.

● Remarque

Quand L5-S1 n'est pas analysable du fait de l'inclinaison physiologique, cela peut imposer la réalisation d'un cliché localisé à ce niveau.

Éléments de l'analyse

L'analyse de cette incidence doit dans un premier temps apprécier le cadre osseux, dans un souci de repérage tout d'abord, puis d'analyse globale des structures ensuite : existe-t-il une anomalie anatomique (aux charnières par exemple)? Si la radiographie a été réalisée debout, montre-t-elle des troubles de la statique? L'aspect de la trame osseuse est-il satisfaisant?

L'analyse se poursuit par l'observation détaillée des pièces osseuses : la morphologie des vertèbres est-elle harmonieuse et normale? Les espaces

intervertébraux sont-ils normaux? Existe-t-il des signes en faveur d'une solution de continuité? ...

Pour finir, on étudie les tissus mous : les bords latéraux des psoas et les bords médiaux des reins sont analysables. Le tractus digestif peut produire des superpositions de matières et de gaz compliquant l'analyse osseuse. Les uretères sont invisibles à l'état normal.

Notions de pathologie

En traumatologie

Plus d'une fracture sur deux de la colonne vertébrale intéresse le rachis de T10 à L2. L'aspect fracturé d'une vertèbre peut se matérialiser à la radiographie standard par une discontinuité dans la corticale ou un remaniement de l'os spongieux, notamment dans les tassements vertébraux (figure 16.2a).

La lyse pédiculaire se matérialise sur cette incidence par le signe de la vertèbre « borgne » (figure 16.2b).

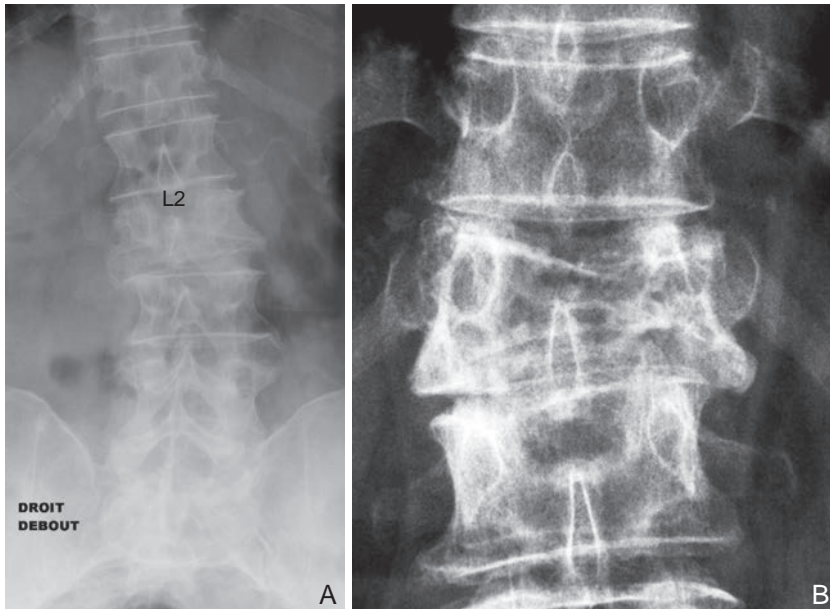


Fig. 16-2. Radiographie de rachis lombaire de face montrant : **A.** une fracture tassement de L2; **B.** une lyse pédiculaire L1 L2 droite (vertèbre borgne).

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

En rhumatologie

L'atteinte rhumatologique la plus fréquente à ce niveau est l'arthrose (figure 16.3). Elle se matérialise par :

- des rapports articulaires plus étroits par le pincement de l'interligne articulaire (dû à la diminution d'épaisseur du cartilage);
- une condensation de l'os sous-chondral (ostéosclérose);
- la déformation de l'os et la formation d'ostéophytes.



Fig. 16-3. Radiographie de rachis lombaire de face montrant une discarthrose pluri-étagée avec déformation des vertèbres et coulée ostéophytique entre L1 et L2 à droite.

1. L1. 2. Pont ostéophytique. 3. Iliaque gauche.

L'arthrose peut intéresser l'articulation intervertébrale (discarthrose) ou les articulations zygapophysaires (arthrose articulaire postérieure).

La spondylarthrite ankylosante, à un stade avancé, peut évoluer vers la calcification des ligaments intervertébraux (syndesmophytes) et donner un aspect de colonne « en tronc de bambou ».

En neurologie

L'incidence peut mettre en évidence une atteinte discale. Elle se traduit alors par un espace intervertébral d'épaisseur inégale, ou par un espace intervertébral diminué en comparaison aux vertèbres sus- et/ou sous-jacentes. Cependant la sensibilité et la spécificité de ce diagnostic sont faibles (figure 16.4a).

Le canal lombaire rétréci peut être suspecté sur cette incidence lorsque (figure 16.4b) :

- la distance interpédiculaire (1) est homogène du haut en bas du rachis, ou quand elle se réduit de haut en bas (normalement cette distance va en augmentant du haut vers le bas);
- les zygapophysies sont enfilées à plusieurs niveaux (2), c'est-à-dire quand elles sont sagittalisées;
- il y a réduction de l'espace apophyso-lamaire (3);
- il y a verticalisation du complexe apophyso-lamaire (4).

Le rachis lombaire en incidence de profil

Cette incidence complète celle de face. Les deux incidences sont indissociables. L'incidence de profil apporte de nombreux éléments indispensables sur la zone et complètement invisibles sur l'incidence de face.

Indications spécifiques

Voir [Radiographie de face](#), p. 190.

Réalisation

Le patient est debout dans la majorité des cas, en décubitus latéral dans le cas d'une étude traumatologique.

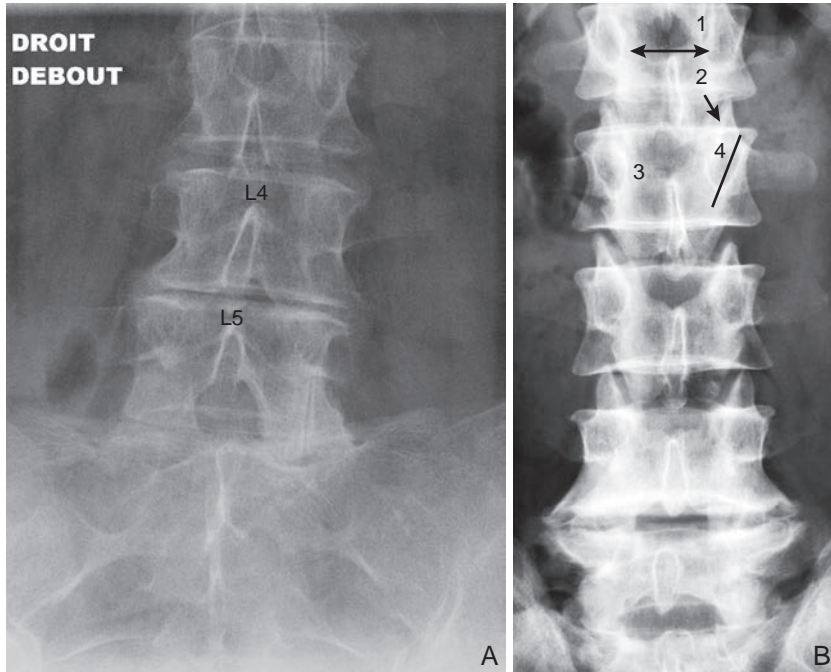


Fig. 16-4. Radiographie de rachis lombaire de face montrant des signes de : **A.** un rétrécissement de l'espace intervertébral L4-L5; **B.** un canal lombaire rétréci.

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2009.

En cas de scoliose détectée sur l'incidence de face, le patient est positionné côté convexe contre le potter pour que la divergence du rayonnement enfle la concavité.

Les ceintures pelvienne et scapulaire sont perpendiculaires au potter et dans l'axe du rayon directeur.

Radio-anatomie (figure 16.5)

Critères de qualité

Cette incidence doit permettre de visualiser toutes les vertèbres lombaires, y compris leurs processus épineux.

Les espaces intersomatiques doivent être parfaitement visibles.

On ne doit pas observer de dédoublement du mur postérieur, ni des plateaux vertébraux, ni des pédicules superposés. Dans le cas inverse, cela signifierait soit une rotation, soit une inclinaison relative du rachis.

● Remarque

L5 peut être d'analyse délicate à cause de la superposition avec les crêtes iliaques (ce qui peut imposer la réalisation d'un cliché localisé à ce niveau).

Éléments de l'analyse

On analyse la structure osseuse dans sa globalité (repérage, aspect de l'os, statique).

On analyse ensuite les structures osseuses une à une (contours, trame).

On prend alors en compte les structures molles (disques intervertébraux, viscères, diaphragme).

En position debout, la lordose lombaire est dépendante de la pente sacrée. À l'état normal, le plateau sacré forme un angle de 20 à 55° avec l'horizontale.

La lordose physiologique fait apparaître le coin supéropostérieur de L1 à l'aplomb du coin inféropostérieur de L5. La distance entre la ligne unissant ces deux points et le bord postérieur de la

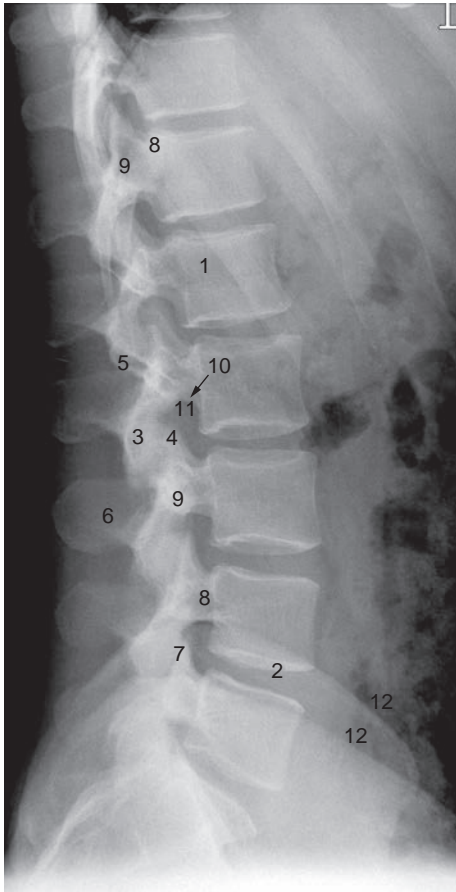


Fig. 16-5. Radio-anatomie de l'incidence de rachis lombaire de profil.

1. Corps de la 1^{re} vertèbre lombale. 2. Disque intervertébral de L4-L5. 3. Processus (facette) articulaire inférieur de L2.
4. Processus (facette) articulaire supérieur de L3. 5. Lame de L2. 6. Processus épineux de L3. 7. Facette (articulation zygapophysaire) de L4-L5. 8. Pédicule. 9. Partie interarticulaire. 10. Incisure vertébrale inférieure de L2.
11. Foramen intervertébral de L2-L3 (pour la racine de L2).
12. Crête iliaque.

Source : Weir J et al. Anatomie du corps humain. Atlas d'imagerie. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2010.

vertèbre à l'apex de la courbure (L3) doit alors être de 7 à 30 mm (figure 16.6).

Les espaces intervertébraux sont cunéiformes. Cet aspect s'accroît avec la descente dans le rachis. L'épaisseur des disques va en augmentant vers le bas de la colonne, à l'exception du dernier disque qui est le plus étroit.

La taille des foramens intervertébraux diminue avec la descente dans le rachis.

Notions de pathologie

En traumatologie

L'incidence de profil complète l'incidence de face et sera plus contributive dans un certain nombre de cas. Les fractures tassements somatiques seront plus facilement visibles sur cette incidence, surtout si le tassement est modéré. Les fractures des processus épineux seront également plus visibles sur cette incidence, surtout si le déplacement engendré est minime. Les fractures pédiculaires seront plus facilement quantifiables sur cette incidence, tout comme leur retentissement potentiel sur l'équilibre rachidien.

En neurologie

Une perte d'épaisseur d'un disque intervertébral peut être le signe indirect d'une protrusion discale (figure 16.7a).

Le pincement discal, tout comme des ostéophytes (évoluant aux dépens du bord postérieur des plateaux vertébraux ou des bords antérieurs des surfaces articulaires), peuvent impacter la taille des foramens de conjugaison et expliquer un syndrome radiculaire (figure 16.7b).

En orthopédie

Les spondylolisthésis peuvent être visibles sur cette incidence. L'incidence sert alors à classifier l'atteinte par les stades de Meyerding⁶¹ (figure 16.8) [7].

Le rachis lombaire en incidence localisée de la charnière lombo-sacrée

Ces incidences se réalisent de face ou de profil. Elles interviennent pour améliorer la visibilité des structures quand les incidences globales n'ont pas été suffisantes. Elles seront particulièrement intéressantes si :

⁶¹ La classification de Meyerding repose sur quatre stades évaluant le glissement de L5 sur le plateau sacré divisé en 4. Exemple : au stade 3, le mur postérieur de L5 est à l'aplomb du quart antérieur du plateau sacré.

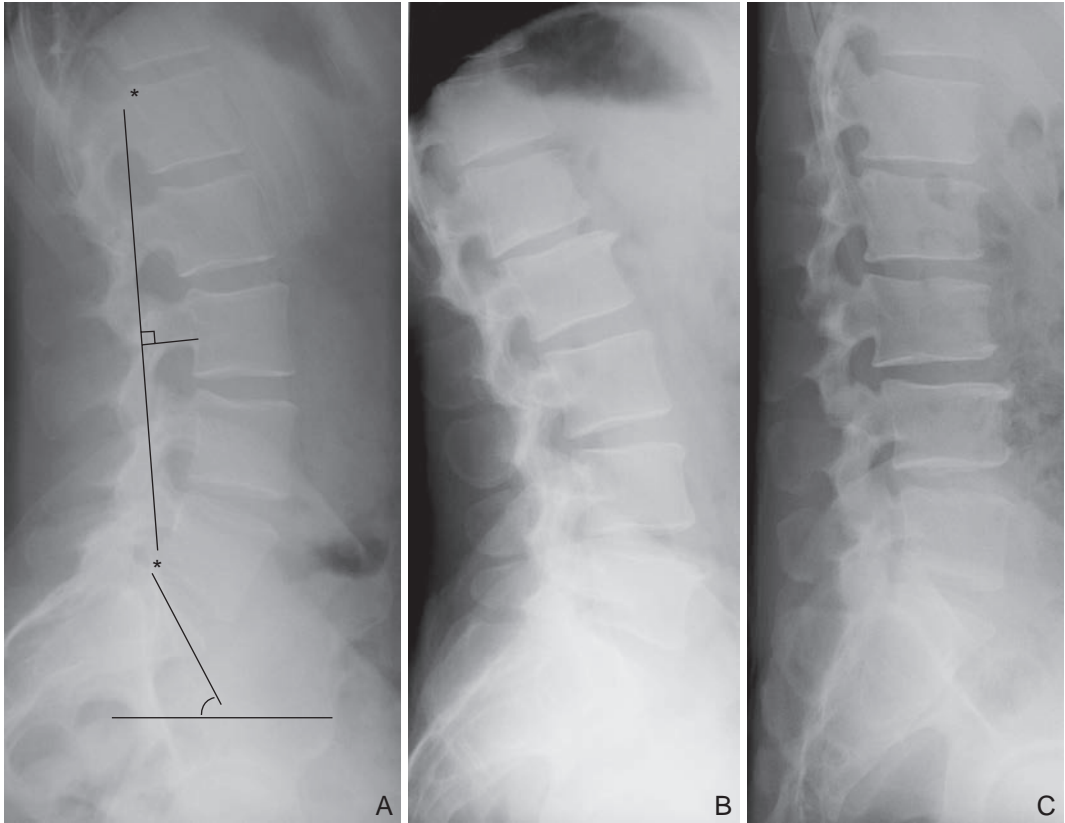


Fig. 16-6. Radiographie de rachis lombaire de profil montrant les repères de la lordose physiologique (A), une des configurations de l'hyperlordose (B) et une courbure lombaire effacée (C).



Fig. 16-7. Radiographies de rachis lombaire de profil montrant : A. un pincement discal L4-L5; B. un foramen de conjugaison rétréci par un ostéophyte foraminal L5-S1.

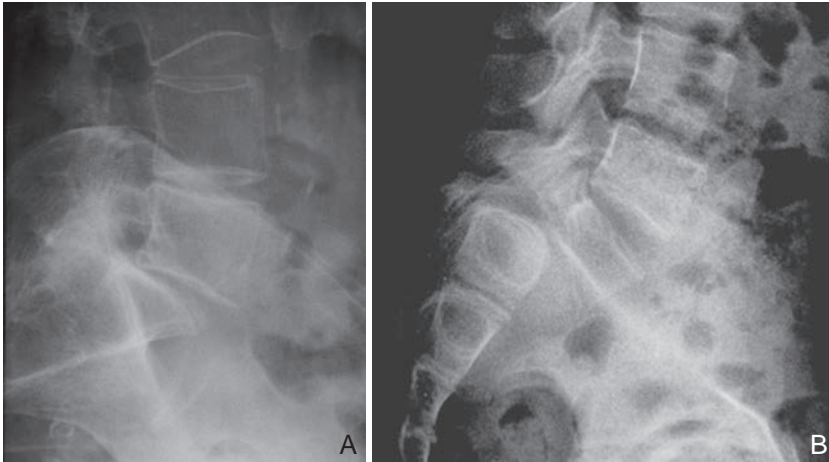


Fig. 16-8. Radiographie de rachis lombaire de profil montrant un spondylolisthésis de stade 1 (A) et de stade 4+ (B).

- sur le profil d'ensemble, la superposition des crêtes iliaques rend l'analyse de la charnière lombo-sacrée délicate (par un mauvais contraste);
- sur la face d'ensemble, l'inclinaison de la charnière empêche de bien enfile le dernier disque intervertébral.

● Remarque

Des clichés localisés peuvent être nécessaires à l'étage L4-L5 pour les mêmes raisons.

Indications spécifiques

Ces incidences sont particulièrement contributives dans l'analyse des rapports articulaires et dans l'analyse des disques intervertébraux.

Réalisation

Le patient est généralement dans la même position que pour les incidences de base. La différence tient dans la collimation du faisceau et dans l'inclinaison du tube.

Radio-anatomie (figure 16.9)

Critères de qualité

Ils reprennent ceux des incidences en vue globale mais doivent être localisés et doivent dégager parfaitement l'espace intervertébral considéré.

Éléments de l'analyse

L'analyse se focalise sur les structures de la charnière : L5, S1, et le disque intervertébral.

Notions de pathologie

Outre les pathologies évoquées précédemment, il est intéressant d'évoquer les anomalies transitionnelles.

Les termes de lombalisation, sacralisation ou hémi-lombalisation, et hémi-sacralisation nécessitent une analyse globale de la colonne (pour un repérage irréprochable). De plus, les différentes configurations peuvent s'associer à la conservation ou non du disque intervertébral. Les anomalies transitionnelles peuvent également prendre la forme de néo-articulations entre un méga-processus transverse L5 et un aileron sacré ou une aile iliaque (figure 16.10).

Incidence du rachis lombaire de 3/4

Cette incidence a pour but de dégager les différents composants de l'arc neural.

Indication spécifique

Diagnostic et analyse d'une lyse isthmique.

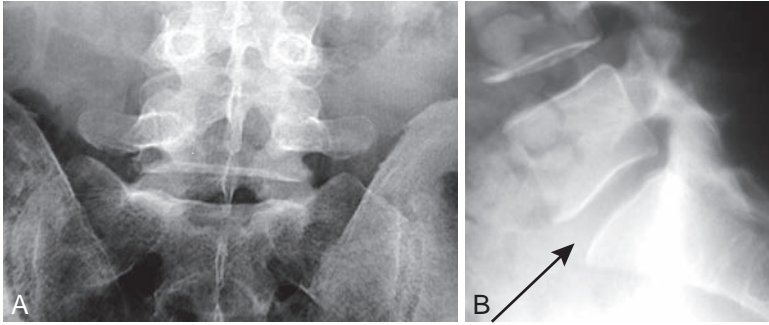


Fig. 16-9. Radio-anatomie de l'incidence localisée de la charnière lombo-sacrée de face et de profil.

La flèche indique l'inclinaison du rayon pour la réalisation de l'incidence de profil.

Source : Runge M et Bonneville JF. Radioanatomie du rachis lombaire en imagerie conventionnelle. EMC – Radiologie et imagerie médicale : Musculosquelettique – Neurologique – Maxillofaciale 2010 : 1–22.

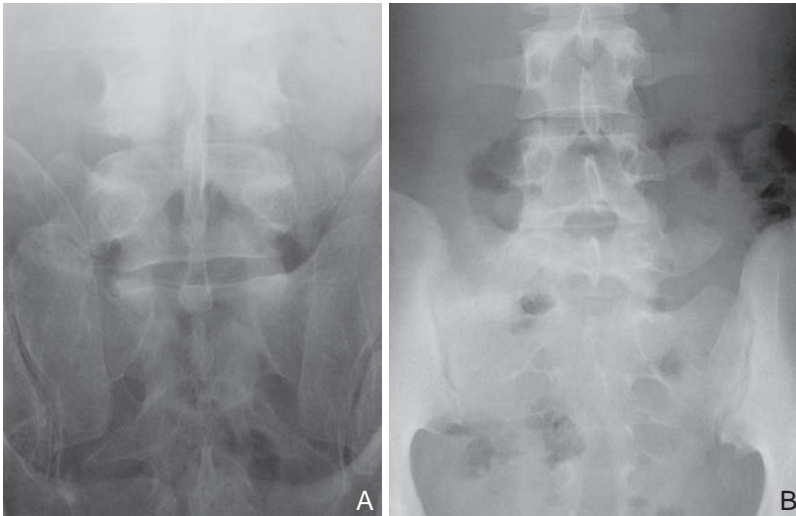


Fig. 16-10. Radiographies localisées de la charnière lombo-sacrée montrant : A. une néo-articulation L5-S1 droite ; B. une hémilombalisation droite.

Réalisation

Le patient est généralement debout, tourné à 45° par rapport à la plaque radiographique (de façon à en décoller le côté opposé de celui qui est analysé). Pour analyser les isthmes droits, le patient est tourné vers sa droite. Le tube radiogène est horizontal.

Radio-anatomie (figure 16.11)

Critères de qualité

- Bonne séparation des deux hémis-arcs postérieurs droit et gauche des derniers étages lombaires.

- Visualisation des « petits chiens de Lachapelle » (nom donné à la construction radiologique induite par les différents éléments de l'arc postérieur).

Éléments de l'analyse

Nous cherchons ici à analyser les constituants du « petit chien de Lachapelle » :

- son museau : le processus transverse ;
- son œil : le pédicule ;
- son oreille : le processus articulaire supérieur ;
- son cou : l'isthme ;

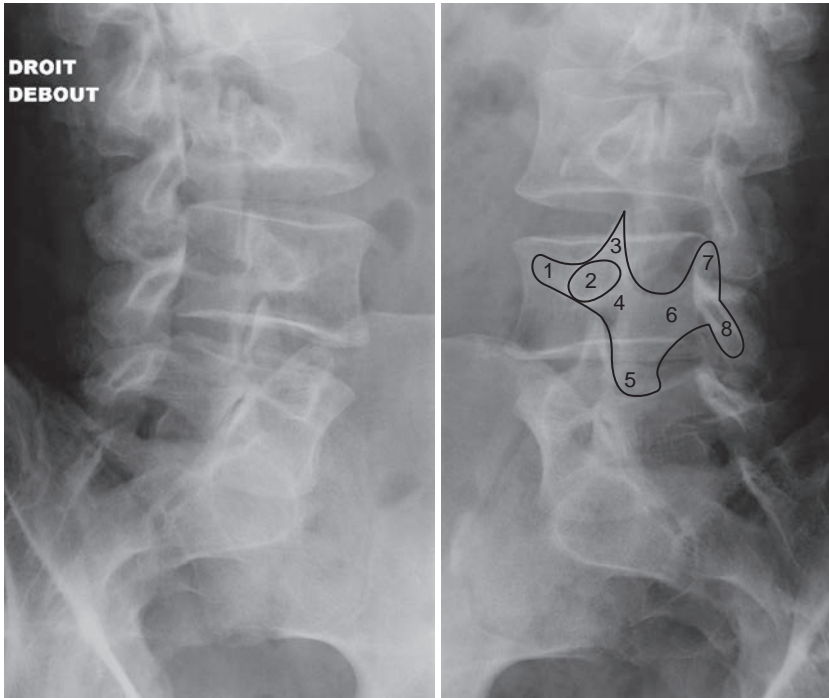


Fig. 16-11. Radio-anatomie de l'incidence de rachis lombaire de $\frac{3}{4}$.

1. Apophyse transverse gauche. 2. Pédicule gauche. 3. Apophyse articulaire supérieure gauche. 4. Isthme gauche. 5. Apophyse articulaire inférieure gauche. 6. Lame gauche. 7. Apophyse articulaire supérieure droite. 8. Superposition de l'apophyse épineuse et de l'apophyse articulaire supérieure droite.

- sa patte avant : le processus articulaire intérieur;
- son corps : la lame;
- sa queue : le processus transverse;
- sa patte arrière : la superposition du processus épineux et du processus articulaire inférieur.

Notions de pathologie

La lyse isthmique donne à voir au niveau du col du petit chien une image de collier qui signe une solution de continuité à cet endroit (figure 16.12).

Apport à l'ostéopathie

Ces incidences peuvent amener à contre-indiquer le thrust quand elles mettent en évidence :

- une pathologie inflammatoire tumorale ou traumatique;

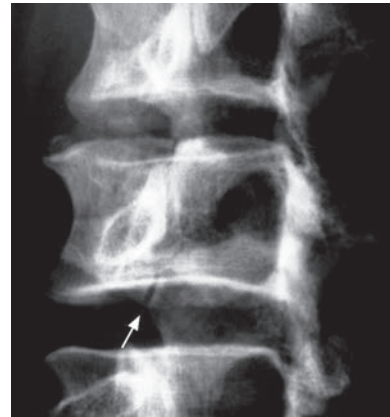


Fig. 16-12. Radiographie de rachis lombaire de $\frac{3}{4}$ montrant une lyse isthmique (flèche).

Source : Cotten A. Imagerie musculosquelettique : pathologies locorégionales. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2009.

- une fracture en cours de consolidation de moins de 3 mois;
- un rachis opéré de moins de 3 mois. On ne manipule jamais un rachis ostéosynthésé;

- une anomalie anatomique affectant la stabilité ou la mécanique rachidienne (hémi-vertèbre, défaut d'ossification, etc.);
- un spondylolisthésis de stade 2 ou plus [8].
Ne contre-indiquent pas à la manipulation :
- les spondylolisthésis de stade 1 ;
- les anomalies transitionnelles si la mobilité physiologique est maintenue ;
- les anomalies de posture telles que la scoliose et l'hyperlordose ;
- le spina bifida occulta ;
- une usure discale ou une arthrose, à moins que l'atteinte soit marquée au point de modifier la structure articulaire ou s'il existe des ponts osseux, ou encore si la position pré-manipulative est douloureuse ;
- un canal lombaire étroit sauf si la position pré-manipulative est douloureuse.

Radiographie de face

L'incidence de face, *a fortiori* si elle a été réalisée debout, nous apporte des renseignements sur l'équilibre postural du patient au moment de la réalisation du cliché.

Les signes d'usure articulaire sont à considérer comme l'empreinte dans le temps des contraintes subies par le squelette au niveau considéré. Ces signes sont à intégrer à la réflexion ostéopathique dans ce sens. Rappelons encore une fois qu'il n'y a pas de lien de cause à effet direct entre un degré d'évolution arthrosique et une plainte douloureuse exprimée par le patient. En revanche, les deux phénomènes ont certainement une étiologie commune.

Une dysfonction cinétique vertébrale n'a pas de traduction radiologique directe.

Incidence de De Sèze (ou dorso-lombo-pelvi-fémorale)

Cette incidence permet une visualisation intéressante de la posture lombo-pelvienne. Il faut cependant prendre avec précaution les diagnostics de bascule pelvienne provenant d'une différence de longueur de jambe. Nous abordons ce sujet au chapitre 7, p. 79.

Radiographie de profil

Les remarques faites pour l'incidence de face sont valables ici également.

Tom Dummer utilisait l'incidence de rachis lombaire de profil pour justifier l'utilisation des SAT [9].

Radiographie de 3/4

Cette incidence peut être vectrice de contre-indications à la manipulation structurelle à grand bras de levier, si elle est révélatrice d'une lyse isthmique. Elle ne présente pas d'apport supplémentaire au diagnostic ostéopathique.

Lombalgies, lomboarthrose, sciatiques et hernies discales

Il est important de rappeler qu'il n'existe pas de différence radiologique, dans les lombalgies communes, entre un rachis douloureux et un rachis non douloureux. De ce fait, la prescription de radiographie pour lombalgie commune ne devrait pas exister dans les premiers temps de l'affection.

Dans le rachis dégénératif, les recommandations sont de ne pas répéter les radiographies s'il n'y a pas d'évolution du symptôme. Notons que le lien anatomo-clinique entre lombalgies et arthrose doit être manié avec précaution. L'arthrose est une évolution naturelle du squelette, plus ou moins précoce en fonction du mode de vie, des antécédents traumatiques, etc. La douleur décrite par un patient aura vite tendance à être rattachée à l'image. Les ostéopathes ont ici un rôle important de dissociation ; la structure ne reflète pas forcément la fonction !

Cette notion de causalité est primordiale en imagerie. Elle est à interroger dans les diagnostics de hernies discales. Les études dans la population asymptomatique montrent une prévalence de hernies discales allant jusqu'à 35 % [10]. Or, 2 à 3 % seulement de la population générale présente une sciatologie. Peut-on imaginer le lien entre l'imagerie et le symptôme ? Chevrot et Vallée pensent que les syndromes radiculaires sont davantage induits par une réaction tissulaire similaire à celle d'une entorse qu'à une protrusion canalaire du matériel discal [11].

Références

- [1] Herman MJ, Pizzutillo P. Cervical spine disorders in children. *Orthop Clin North Am* 1999; 30(3) : 457-66.
- [2] Bailey DK. The Normal cervical spine in infants and children. *Radiology* 1952; 59(5) : 712-9.
- [3] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 15-6.
- [4] Conférence de consensus. L'imagerie de la sciatique vertébrale commune non opérée. Palais des congrès, Paris, 6-7 novembre 1990. *Feuilles de Radiologie* 1991; 2 : 163-8.
- [5] Anaes. Prise en charge diagnostique et thérapeutique des lombalgies et lombosciatiques communes de moins de trois mois d'évolution. In : Anaes. février 2000. p. 27.
- [6] Société française de radiologie et Société française de biophysique et de médecine nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale, recommandation pour les professionnels de la santé. Transposition de la directive européenne 97/43 Euratom. 1^{re}; 2005. p. 59.
- [7] Vital JM, Pederam M. Spondylolisthésis par lyse isthmique. *EMC Rhumatologie orthopédie* 2005; 2(2) : 125-50.
- [8] Ficher M, Ericau B. Thrust, sémiologie, imagerie, indications en ostéopathie vertébrale. In : Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson; 2009. p. 80-95.
- [9] Dummer T. Specific adjusting technic. Hove Sussex : Jotom Publications; 1995. p. 15-9, no 5.
- [10] Miller JA, et al. Lumbar disc degeneration : correlation with age, sex, and spine level in 600 autopsy specimens. *Spine* 1988; 13 : 173-8.
- [11] Chevrot A, Vallée C. Interprétation nouvelle de l'anatomie, la physiologie et la pathologie de l'articulation inter-somatique vertébrale : la hernie discale n'existe pas. *J Radiol* 1993; 24 : 385-92, no 8-9.

Glossaire

Antéro-postérieur : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient face au tube radiogène.

Bilan d'extension : terme consacré à la recherche de métastases lors d'examens complémentaires ciblés réalisés en oncologie.

Collimation : processus d'orientation et de concentration du faisceau de rayons X.

Diaphyse : corps de l'os, c'est la partie centrale, de forme tubulaire.

Épiphyse : extrémité de l'os long. Fusionne, en fin de croissance, avec la métaphyse.

Métaphyse : zone intermédiaire de l'os, entre la diaphyse et l'épiphyse.

OAD : oblique antérieur droit : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient positionné de 3/4, face au capteur radiologique, côté droit au contact.

OAG : oblique antérieur gauche : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient positionné de 3/4, face au capteur radiologique, côté gauche au contact.

OPD : oblique postérieur droit : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient positionné de 3/4, dos au capteur radiologique, côté droit au contact.

OPG : oblique postérieur gauche : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient positionné de 3/4, dos au capteur radiologique, côté gauche au contact.

Physe : zone cartilagineuse de l'os, elle lui confère sa capacité de croissance longitudinale. Elle se situe entre l'épiphyse et la métaphyse.

Postéro-antérieur : se dit d'une incidence radiologique réalisée patient dos au tube radiogène.

Potter-bucky : tiroir horizontal ou vertical dans lequel on introduit la plaque radiosensible avant la réalisation du cliché.

Radio-clair : se dit d'un élément n'interagissant pas (ou peu) avec les rayons X. De ce fait, ledit élément apparaît sombre en radiographie.

Radiogène : qui émet des rayons X.

Radio-opaque : se dit d'un élément interagissant fortement avec les rayons X, s'opposant à leur passage. De ce fait, ledit élément apparaît blanc en radiographie.

Radio-sensibilité : sensibilité aux rayonnements ionisants susceptible d'entraîner des modifications, par exemple dans un tissu biologique.

Rayon directeur : définit le rayon théorique matérialisant l'axe de propagation du faisceau de rayon X.

Sensibilité : probabilité, d'un signe, pour une maladie donnée, que ledit signe soit présent si le patient est atteint de cette maladie.

Spécificité : probabilité, d'un signe, pour une maladie donnée, que ledit signe soit absent si le patient est sain.