

Autopsie virtuelle - Expérience montpelliéraine : de l'échographie à l'IRM



O. Prodhomme, C. Veyrac, C. Baud, M. Saguintaah, M.-J. Perez, N. Bigi, P. Blanchet, C. Rouleau, A. Couture

Introduction

La médecine fœtale est confrontée à une mortalité non négligeable (1-2 %) regroupant les *Morts Fœtales In Utero* (MFIU) et les *Interruptions Médicales de Grossesse* (IMG).

Tout l'enjeu des études post-mortem, dans ces deux circonstances, consiste à établir un diagnostic étiologique précis de manière à pouvoir réaliser un conseil génétique pertinent dans la prévision d'une grossesse ultérieure [HELPER LA, HERSH DR *et al.* 2001 ; FAYE-PETERSEN OM, GUINN DA *et al.* 1999]. Pour la MFIU, l'objectif est, dans la mesure du possible, de déterminer la cause du décès. Dans le cadre de l'IMG, le but est tout d'abord de confirmer ou d'infirmer les anomalies détectées chez le fœtus *in utero*, en échographie fœtale, voire en IRM fœtale, puis de compléter les insuffisances éventuelles de l'imagerie anténatale [AKGUN H, BASBURG M. *et al.* 2007].

Classiquement, le bilan post-mortem comprenait des clichés radiologiques corps-entier pour l'étude du squelette et une autopsie du fœtus comportant des photographies, une étude macroscopique, une dissection et une étude histologique des différents tissus. Ces dernières années les études génétiques complètent souvent l'autopsie. De la même manière, ces 15 dernières années les travaux sur l'autopsie virtuelle, en imagerie en coupe, et l'IRM (largement en tête) se multiplient [WOODWARDS PJ, SOHAEY R *et al.* 1997 ; BROOKES JS, HAGMANN C. 2006 ; THAYIL S, SCHIEVANO S *et al.* 2010 ; DEDOUIT F, OTAL P. *et al.* 2006 ; DIRNHOFER R, JACKOWSKI C *et al.* 2006 ; SIESWERDA-

HOOGENDOORN T, VAN RIJN RR. 2010]. Il y a plusieurs raisons à cet engouement pour la "virtopsie" :

- Tout d'abord, la population des fœtopathologistes est en régression [WHITBY EH, PALEY MNJ *et al.* 2005, BROOKES JS, HAGMANN C. 1996] et se pose la problématique de maintenir une offre d'études post-mortem pour pallier à cette pénurie.
- Ensuite, dans la société actuelle, les familles acceptent de moins en moins l'atteinte à l'intégrité corporelle, que ce soit pour des raisons sociales ou psychologiques. Personne ne nie l'intérêt de pouvoir remplacer l'autopsie classique par une autopsie virtuelle, tant cette dernière est mieux acceptée par la famille comme par le corps médical, à la condition que celle-ci ait une rentabilité diagnostique équivalente [ALDERIESTEN MA, PERINGA J. *et al.* 2003]. Ces dernières années plusieurs travaux ont étudié l'autopsie mini-invasive (IRM + biopsies percutanées) en alternative à l'autopsie classique [BREEZE ACG, JESSOP FA. *et al.* 2011, BREEZE ACG, JOSSEOP FA *et al.* 2008].
- Enfin, l'autopsie virtuelle, bien qu'inférieure à l'autopsie classique dans la majorité des cas, peut parfois compléter l'étude post-mortem (lyse cérébrale, détections d'anomalies additionnelles). Elle présente en outre l'avantage de pouvoir être comparée à l'imagerie anténatale (contrairement à l'autopsie classique) et ainsi la faire progresser en recherchant rétrospectivement sur les documents anténataux une anomalie détectée lors de l'étude post-mortem.

Le département d'Imagerie Pédiatrique et essentiellement le Dr Alain Couture proposent, depuis plus de 20 ans, une étude échographique post-mortem



corps-entier, en complément de la radiographie du squelette dans certains cas de MFIU et de certaines IMG. Depuis ces deux dernières années, nous avons réalisé également 16 IRM dans les suites d'une IMG ou d'un décès périnatal précoce.

L'échographie post-mortem

Le département d'Imagerie Pédiatrique de Montpellier à une grosse expérience puisque nous réalisons de manière ciblée, depuis plus de 20 ans, des échographies post-mortem dans le cadre de l'étude fœtopathologique à la demande des médecins en charge de la médecine fœtale (échographiste anténatal, généticien, obstétricien, fœtopathologiste, radiologue...) en fonction de l'existence d'un point d'appel en imagerie anténatale et/ou à l'examen macroscopique et/ou d'antécédents personnels et familiaux du couple.

Le protocole actuel d'échographie post-mortem inclut une étude à la sonde linéaire de haute fréquence (12 voire 17 MHz), cérébrale, oculaire, thoracique, abdominale et médullaire, parfois complétée par une étude à la sonde convexe de moyenne fréquence (8 MHz). Une échographie ciblée, sur une anomalie macroscopique, complète parfois ce protocole systématique. La durée d'une telle exploration est estimée entre 15 et 20 minutes et dépend des anomalies recherchées et/ou mises en évidence.

Les avantages de cette technique, par rapport à l'IRM, sont multiples. Le premier d'entre eux vient des modalités de réalisation des images. En IRM, des séries sont acquises dans des plans de coupes sélectionnés, en 3D ou non, puis la lecture de ces images se fait *a posteriori*. Il est possible de travailler dans les trois plans de l'espace mais il n'est pas envisageable de multiplier les plans de coupes pour faciliter l'étude de certaines structures (ex : le cœur, le tube digestif...). L'échographie permet, quant à elle, de proposer une multitude de plans de coupes et de les adapter en fonction des conditions anatomiques et des malformations retrouvées. En particulier, l'intérêt de l'échographie est de pouvoir

“suivre” une structure tubulaire de l'amont vers l'aval en s'adaptant à l'anatomie de chaque fœtus. Par exemple, il est possible de suivre les gros vaisseaux médiastinaux, un par un, de leur cavité d'origine vers leur destination finale, en s'adaptant aux courbures et trajets sinueux éventuels qui peuvent limiter leur étude sur des plans de coupes figés, même avec une séquence IRM 3D [WHITBY 2005]. Il est également possible de “suivre” des segments digestifs, normaux ou pathologiques, et ainsi d'attester de l'intégrité de la morphologie et de la position duodénale ou œsophagienne ou de repérer un niveau transitionnel (atrésie, sténose, masse...). L'absence d'air intra-digestif dans les conditions d'une MFIU ou d'une IMG (absence de déglutition d'air) facilite l'exploration de la cavité abdominale. De plus, le fait que l'échographie soit un examen “temps réel” est également un avantage indéniable. En effet, la découverte “inattendue” d'une anomalie morphologique X en échographie peut inciter à aller chercher une anomalie Y ou Z qui serait passée inaperçue lors d'une exploration “systématique”. Ceci est quasiment impossible avec l'IRM qui ne permet pas de modifier le protocole au gré des découvertes et des besoins.

La fœtopathologie est la situation idéale pour tout bon échographiste qui soit. Le spécimen est de petite taille et ne contient pas de graisse, ce qui permet l'étude à haute fréquence, 12 voire 17 MHz (fig. 1). L'intérêt par rapport à l'IRM c'est que la performance échographique est inversement proportionnelle à l'âge gestationnel du fœtus (contrairement à l'IRM où la rentabilité de l'examen est inversement proportionnelle au terme). Plus le fœtus est jeune, plus l'étude à 12 ou 17 MHz est complète. La minéralisation et la maturation osseuse sont d'autant plus incomplètes que le terme est précoce permettant de multiplier les voies d'abord. Cet avantage est néanmoins limité par la pauvreté relative des anomalies plus le terme est précoce (maturation cérébrale ou anomalie d'apparition tardive). Les images du contenu rachidien sont un bon exemple de la très bonne qualité de l'examen échographique, en raison de l'absence d'ossification postérieure, du caractère très superficiel de l'exploration et de l'absence totale de graisse sur de trajet d'exploration.



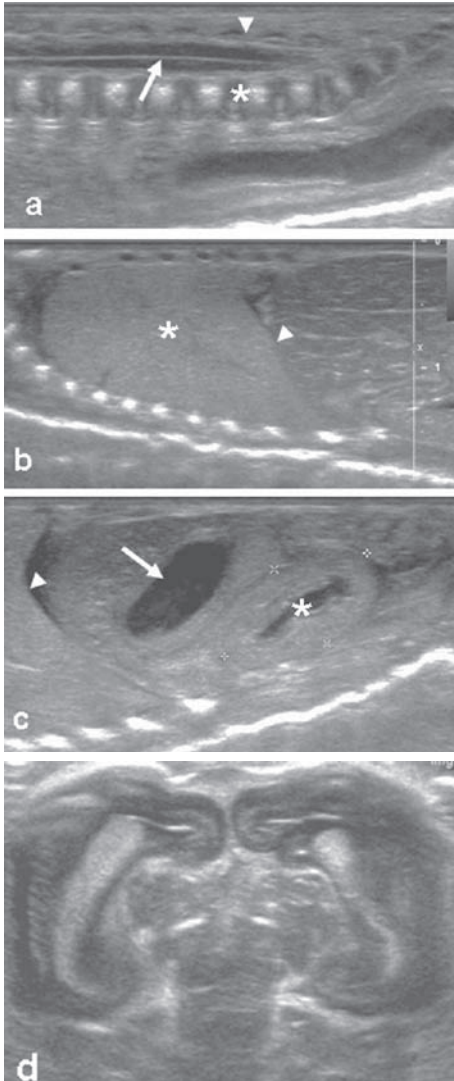


Fig. 1 : Images obtenues avec la sonde de haute fréquence 17 MHz

- a) Canal rachidien (sagittal). Cordon médullaire (▶), canal épendymaire (→); rachis (✱)
- b) Cage thoracique droite (sagittale)
- c) Abdomen (sagittal dans le grand axe du rein gauche)
- d) Cerveau (coronal)

Le fœtus n'ayant jamais respiré ni déglutit d'air, les études, thoracique et abdominale, sont exhaustives (œsophage, trachée, tube digestif intra-abdominal, poumons...).

L'étude étant post-mortem, l'examen n'est pas artéfacté par les mouvements (pas de respiration, cris, mouvements de retrait...) qui limitent habituellement la rentabilité de l'échographie. De plus, le caractère post-mortem de cette étude (ne portant aucunement atteinte à l'intégrité corporelle) permet de la prolonger autant que nécessaire en s'adaptant aux circonstances (multiples malformations, malformations complexes) sans que la patience du sujet soit limitante.

En termes de santé publique, comme l'a toujours dit mon maître, l'échographie c'est "l'IRM du pauvre". En effet, à l'heure où l'accessibilité aux machines IRM est limitée et où la santé coûte plus qu'elle ne rapporte, l'avantage du prix et de la disponibilité de l'échographie sont à considérer comme des avantages au profit de cette technique.

Les inconvénients de l'échographie par rapport à l'IRM sont également nombreux. Tout d'abord la rentabilité diagnostique globale est moindre qu'en IRM, en dehors peut-être du cœur (pour lequel notre expérience reste néanmoins limitée), et ceci est d'autant plus vrai que le terme est avancé (fig. 2, 3). C'est particulièrement vrai pour l'échographie cérébrale dont la qualité est très inférieure à l'IRM cérébrale (fig. 4), de manière encore plus prononcée que dans la situation pédiatrique. Parfois, la présence d'air secondaire à l'injection intracrânienne de formol gêne l'étude échographique.

La caractérisation tissulaire est supérieure en IRM grâce aux différentes séquences disponibles : T1 et T2 minimum. L'échographie peut difficilement être exhaustive à l'inverse de l'IRM. Par exemple, nous limitons l'étude échographique au tronc et à la tête en excluant volontairement la face, le cou et les membres qui demanderaient autant de temps d'examen supplémentaire. En IRM, toutes ces informations sont acquises sur une seule séquence corps entier sans allongement du temps d'examen. L'échographie est également limitée dans



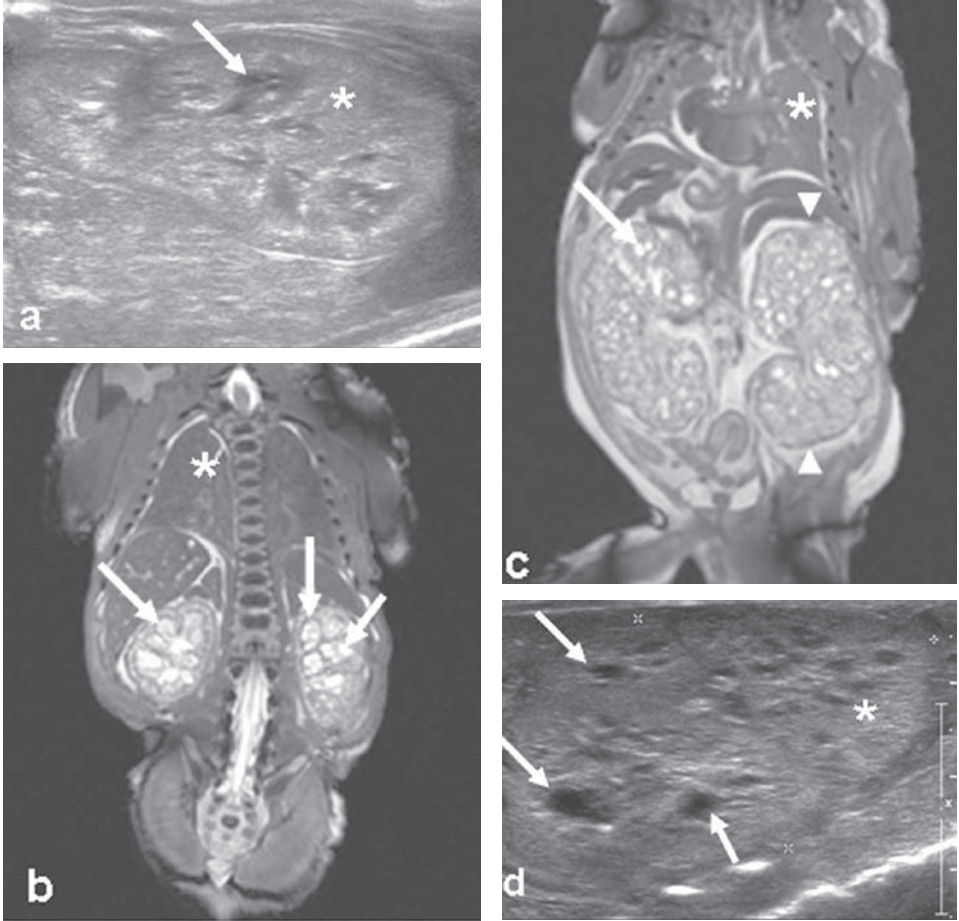


Fig. 2 : Imagerie post-mortem des reins du patient 6 présentant une polykystose récessive (a et b) et du patient 2 présentant une maladie kystique du rein en rapport avec un syndrome Meckel Like (c et d).

- a) Coupe sagittale échographique dans le grand axe du rein droit (kyste à prédominance médullaire →). Dédifférenciation cortico-médullaire (*).
- b) Coupe coronale T2 : kystes à prédominance médullaire. Pas d'hypoplasie pulmonaire(*).
- c) Coupe coronale T2 : Néphromégalie majeure (▶◀) microkystique (→) avec nette hypoplasie pulmonaire secondaire. Dédifférenciation corticomédullaire (*).
- d) Coupe sagittale échographique dans le grand axe du rein droit (kystes rénaux multiples (→)). Dédifférenciation cortico-médullaire (*).



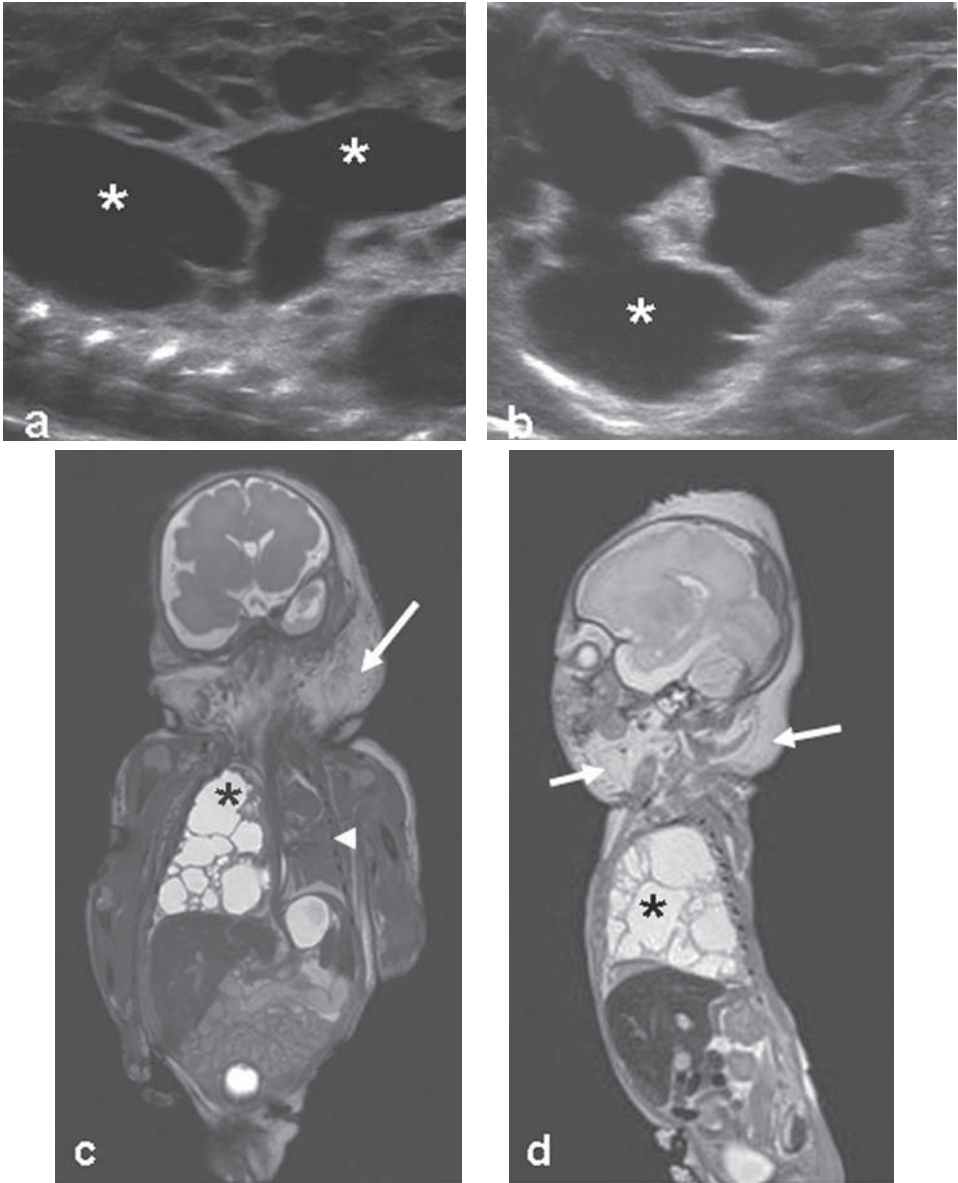


Fig. 3 :

- a, b Coupes échographiques (12 MHz) post-mortem, sagittale (a) et axiale (b), thoraciques du poumon droit du patient 1 présentant une maladie adénomatoïde pulmonaire droite (kystes de 20 à 30 mm (*)).
- c) Coupe coronale IRM (T2 TRUFISP 3D) montrant la maladie adénomatoïde pulmonaire droite chez le patient 1. Œdème sous cutané facio-tronculaire en rapport avec un probable syndrome cave supérieur (→). Macrokystes (*). Poumon gauche (▶).
- d) Reformats sagittal paramédian droit montrant les mêmes anomalies.



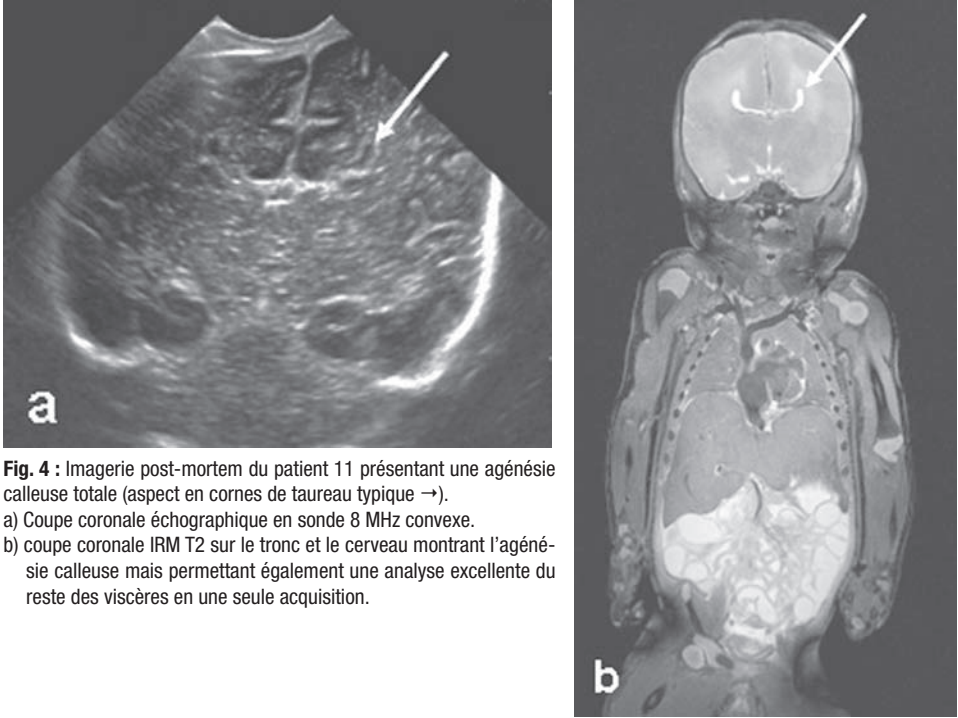


Fig. 4 : Imagerie post-mortem du patient 11 présentant une agénésie calleuse totale (aspect en cornes de taureau typique →).

- a) Coupe coronale échographique en sonde 8 MHz convexe.
b) coupe coronale IRM T2 sur le tronc et le cerveau montrant l'agénésie calleuse mais permettant également une analyse excellente du reste des viscères en une seule acquisition.

certaines indications : étude du palais, de la langue, des structures osseuses minéralisées, des oreilles moyennes et internes...

L'échographie ne permet pas l'acquisition de volume en routine alors que l'IRM permet des acquisitions 3D ouvrant la voie à des mesures de volume, des reconstructions multiplanaires...

Les documents échographiques sont de relecture plus difficile (que l'IRM) ce qui limite l'accès à des informations *a posteriori* et la diffusion des images auprès des autres spécialités. En particulier, ces documents sont souvent insuffisants pour illustrer une anomalie de découverte post-mortem à l'attention des imageurs anténataux.

La réalisation des images d'échographie nécessite la présence d'un médecin compétent alors qu'une IRM post-mortem peut tout à fait être réalisée sans présence médicale, sous réserve que le protocole soit bien établi et que les manipulateurs soient

formés et informés. La lecture peut se faire *a posteriori* d'autant plus qu'il n'y a pas d'urgence à rendre un compte rendu dans ce contexte.

Les résultats de la contribution de l'échographie à l'examen fœtopathologique sur la période de janvier 2010 à septembre 2011 seront présentés lors du congrès. Sur cette période 101 examens échographiques post-mortem ont été réalisés parmi les 603 examens fœtopathologiques effectués sur la même période sur le CHU de Montpellier, soit 16,8 %.

L'IRM post-mortem

Matériels et méthodes

Protocole IRM

Les IRM ont été réalisées sur une IRM SIEMENS AVANTO SYNGO 1,5 T clinique le plus souvent au tout début (7 heures) ou à la toute fin (19 heures) des



vacations de patients. Les indications étaient posées en staff de *Centre Pluridisciplinaire de Diagnostic Pré-Natal* (CPDPN) par le médecin radiologue, en accord avec les autres membres du CPDPN. Le consentement des parents à cette étude IRM était obtenu par une autorisation écrite identique au document de consentement à l'autopsie classique.

Les séquences réalisées comprenaient au minimum :

- une séquence T2 TRUFISP 3D acquise dans le plan coronal sur l'ensemble du corps fœtal ;
- une séquence T1 VIBE 3D acquise dans le plan coronal sur l'ensemble du corps fœtal ;
- une séquence T1 EG INOP dans le plan coronal sur l'ensemble du corps fœtal.

Les paramètres précis de la séquence sont présentés dans le tableau 1.

La durée totale d'une telle exploration est de 10 minutes.

Selon le motif de l'examen d'IRM, des séquences dédiées à l'étude encéphalique étaient ajoutées au protocole, avec réalisation au minimum de séquences T2 dans les trois plans de l'espace et d'une séquence T1 sagittale.

Les séquences T2 TRUFISP 3D et T1 VIBE 3D sont toutes deux iso-volumétriques permettant une étude en mode MPR de bonne qualité.

Population

16 IRM ont été réalisées entre janvier 2010 et septembre 2011. Dans 12 cas, il s'agissait d'études post-mortem dans le cadre d'une IMG. Dans 4 cas il s'agissait d'une mort néonatale précoce dans les 10 premiers jours de vie.

La réalisation de l'IRM n'avait pas pour but de pallier l'absence d'autopsie, qui a été acceptée dans 15 cas, mais elle venait en complément de celle-ci dans un but scientifique (évaluation du protocole, familiarisation avec l'analyse et l'interprétation d'exams IRM post-mortem, comparaison rétrospective avec les résultats de l'autopsie classique...). Il s'agit d'un travail d'observation préliminaire avec analyse rétrospective des dossiers dans leur ensemble sans comparaison en double aveugle entre l'IRM et l'autopsie classique.

Résultats

Population

L'ensemble des cas étudiés est présenté sous la forme de tableau récapitulatif (Tableau 2) avec les données anténatales disponibles, les éléments retrouvés sur les examens d'imagerie post-mortem (radiographies du squelette, échographies, IRM essentiellement) ainsi que le résultat du

Tableau 1 : Paramètres des séquences du protocole d'IRM systématiquement réalisées

	T2 TRUEFISP 3D	T1 VIBE 3D	T1 EG INOP
Temps d'acquisition	3'34"	2'20"	1'14"
TR (ms)	5,23	6,81	275
TE (ms)	2,63	3	2,38/4,97
Nombre d'excitations	1	1	2
Epaisseur de coupe (mm)	0,9	0,9	4
Voxel (mm ³)	0,9 x 0,9 x 0,9	0,9 x 0,9 x 0,9	2,7 x 1,9 x 4
Angle de bascule	68	15	70
Matrice	512 x 512	512 x 512	256 x 180
Plan d'acquisition	Coronal	Coronal	Coronal



Tableau 2 : Tableau récapitulatif des données des patients ayant eu une IRM post-mortem

Patients	Données de l'imagerie anténatale	Echographie post-mortem	IRM post-mortem	Autre	Autopsie / Diagnostic final
Patient 1 IMG 28 SA	Echo : MAKP macrokystique, cœur dévié à gauche, hypoplasie pulmonaire IMG avant IRM prévue	MAKP kystes les plus volumineux de 20 à 30 mm Médiastin dévié à gauche avec hypoplasie pulmonaire gauche Epanchement pleural G Lame d'ascite Œdème en pélerine	MAKP pulmonaire droite Œdème en pélerine. Epanchement pleural gauche de faible abondance, ascite minime Volumétrie pulmonaire Volume pulmonaire à 33 cm³ = NORMAL	Rx squelette : RAS en dehors épaulement des parties molles en «pèlerine»	Concordante Maladie adénomatoïde du poumon avec syndrome cave supérieur Plis palmaire transverse unique bilatéral
Patient 2 IMG 24 SA	Echo: Anamnios Gros reins hyperéchogènes avec perte de la différenciation cortico médullaire, micro-kystes Doute important sur l'intégrité du vermis	Néphromégalie et petits kystes rénaux prédominant en médullaire, différenciation, vessie vide Collection anéchogène péricérébrale sous-arachnoïdienne Doute sur agénésie vermiennne	Kystes à prédominance médullaire, néphromégalie, différenciation Collection anéchogène péricérébrale sous-arachnoïdienne Agénésie vermiennne Vessie vide Epanchement des séreuses Volumétrie pulmonaire Hypoplasie pulmonaire	Rx squelette : Augmentation de volume de l'abdomen	Concordante Syndrome de Meckel-Gruber Like Agénésie vermiennne Rein polykystiques en faveur de Syndrome de Meckel Fibrose hépatique avec prolifération ductulaire
Patient 3 IMG 28 SA	Echo et IRM Polymicrogyrie, hypoplasie lobes frontaux, pyélectasie droite, omphalocèle à 14SA, anomalie de position des gros vaisseaux Artère ombilicale unique gauche	Néant	Micropolygyrie Microcéphalie Pyélectasie droite modérée Cœur difficile à explorer Epanchement des séreuses	Rx de squelette : Pas de microcraque	+ Complète Hypoplasie des ongles des pieds Petite hernie ombilicale Dysplasie de la valve tricuspide Crosse aortique droite Artère ombilicale unique gauche
Patient 4 IMG 26 SA	Echo : Microphthalmie gauche, agénésie totale du corps calleux	Microphthalmie gauche avec kyste orbitaire gauche Agénésie totale du corps calleux	Microphthalmie gauche, image kystique orbitaire issue du globe oculaire bilatérale (G > D). Agénésie totale du corps calleux Epanchements minimes des séreuses	Rx de squelette : Orbites normales	Concordante Anomalie macroscopiques des extrémités et de la face Délétion terminale du bras long du chromosome 13
Patient 5 IMG 24 SA	Moebius (contexte d'échec d'IVG)	Néant	Qualité moyenne Ajout d'une séquence T2 SPACE 3D de meilleure qualité RAS	Néant	Concordante RAS en dehors de particularités faciales



Tableau 2 (suite) : Tableau récapitulatif des données des patients ayant eu une IRM post-mortem

Patients	Données de l'imagerie anténatale	Echographie post-mortem	IRM post-mortem	Autre	Autopsie / Diagnostic final
Patient 6 IMG 30 SA	Echo et IRM : Néphromégalie, diminution de la différenciation cortico-médullaire, hyper-échogénéicité et hyposignal médullaire avec microkystes Oligoamnios franc	Néphromégalie, diminution de la différenciation cortico-médullaire, hyper-échogénéicité médullaire avec microkystes Pas d'hydropisie pulmonaire	Epanchement des séreuses Néphromégalie, hypersignal médullaire T2 avec inversion de la différenciation, microkystes médullaires Anomalie de signal du foie avec espaces portes trop bien visibles Vessie vide Volumétrie pulmonaire Pas d'hydropisie	Rx du squelette : RAS	Concordante Fibrose portale Polykystose hépato-rénale récessive
Patient 7 IMG 31 SA	Echo et IRM : Hernie diaphragmatique gauche avec LHR péjoratif et volumétrie pulmonaire également, foie gauche partiellement intra-thoracique	Hernie diaphragmatique avec du poumon gauche objectivé au sommet de l'hémi-thorax gauche, foie gauche hernié	Epanchement des séreuses. Hernie diaphragmatique gauche, foie gauche intra-thoracique Volumétrie pulmonaire Hypoplasie Volumétrie foie intra-hépatique	Rx du squelette : RAS	Incomplet Attente résultats
Patient 8 IMG 35 SA	Echo et IRM : – Déficit d'opercutisation de la scissure de Sylvius, microcéphalie, germinolyse bilatérale	Lissencéphalie, aucun sillon ind-visualisable (12 MHz), germinolyse bilatérale	Lissencéphalie, microcéphalie avec multiples couches parenchymateuses cérébrales, germinolyse bilatérale Cavité porencéphalique frontale droite (injection formol ?) Minime épanchement pleural	Rx du squelette : Microcrânie	Incomplet Attente résultats
Patient 9 IMG 20 SA	Echo : Maladie osseuse, brièveté des os long majeure, déformations des os longs, cage thoracique étroite	Epanchement pleuraux Pas d'anomalie viscérale objective	Qualité mauvaise (âge du fœtus) Epanchement pleural Volumétrie pulmonaire	Rx squelette : confirmation des données anématales CT 3D : Idem	Incomplet Attente résultats
Patient 10 IMG 26 SA	Echo et IRM : Agénésie totale du corps calleux, pyélectasie bilatérale D > G, artère ombilicale unique, malformation cardiaque (CAV ?) T18	Néant	Qualité moyenne Epaississement vésical, reins en L fusionnés avec dilatation pyélocalcicelle Cage thoracique étroite Corps calleux partiellement visualisé en antérieur (très difficile) Volumétrie pulmonaire	Rx du squelette : RAS	Incomplet Attente résultats
Patient 11 IMG 35 SA	Echo et IRM : Dysplasie majeure du corps calleux confinant à l'agénésie totale du corps calleux Mnéningocèle occipitale	Agénésie complète du corps calleux Mnéningocèle occipitale	Agénésie complète du corps calleux Mnéningocèle occipitale	Rx du squelette : RAS	Incomplet Attente résultats



Tableau 2 (suite) : Tableau récapitulatif des données des patients ayant eu une IRM post-mortem

Patients	Données de l'imagerie anténatale	Echographie post-mortem	IRM post-mortem	Autre	Autopsie / Diagnostic final
Patient 12 Décès J4 IMG 27 SA	Echo : Puzzle vertébral, dilatation des ventricules latéraux majeure avec destruction de la ligne médiane, engagement du cervelet	Hydrocéphalie majeure avec destruction de la ligne médiane, engagement des tonsilles Epanchement pleural	Hydrocéphalie majeure des ventricules latéraux (rhombencéphalosynapsis ?) Deux hémisphères surnuméraires lombaires	Rx du squelette : Deux hémisphères surnuméraires lombaires, macrocranie CT 3D : Idem	Incomplet Attente résultats
Patient 13 Décès J10 de vie Prématuré à 32 SA	Grossesse gémellaire	Normale à J2 Hémorragie intra-ventriculaire grade IV bilatérale à J8 de vie sans facteur déclenchant	HIV IV bilatérale Condensation pulmonaire (suffocation ? infection ?)	Rx thorax/ ASP pré-mortem : RAS – Jumeau en vie et en bonne santé	Concordante Broncho-pneumonie aiguë focalement supprimée Hémorragie sous-épendymaire, ventriculaire et retentissement ischémique parenchymateux
Patient 14 Décès J4 Hypotonie axiale Hypoglycémie Rhabdomyolyse Acidose métabolique Consanguinité parentale	Néant	Echographie pré-mortem. Hyperéchogénéité +++ de la substance blanche diffuse, hyperéchogénéité des noyaux lenticulaires, germinolyse gauche Aspect en candélabre des artères thalamo-striées +++ Probable hypoplasie du corps calleux Reins : pas de différenciation cortico-médullaire, petits kystes diffus	Anomalie diffuse du signal de la substance blanche cérébrale. Gros reins kystiques sans différenciation cortico-médullaire Signal hépatique anormal ? (2 plages de signal différent) Hypertrophie musculaire myocardique ventriculaire (à posteriori) Dysmorphie facial non accessible en Volume Rendering Thyroïde de morphologie et de signal normal	Rx thorax pré-mortem : cardiomégalie	+ complète Cardiomégalie hypertrophique prédominant au niveau du septum Glande thyroïde d'aspect pauvre en colloïde Stéatose hépatique Néphromégalie et kystes glomérulaires et tubulaires Pas d'argument pour une cytopathie mitochondriale Dysmorphie crano-faciale modérée (hypotélorisme, oreilles mal ourlées) Viscère d'un aspect « pâle »
Patient 15 Décès J1 Prématurité à 30 SA + 2J	Echo et IRM : MAKP pulmonaire droite microkystique (1 seul macrokyste centimétrique) avec déviation médiastinale et hypoplasie pulmonaire contralatérale Anasarque fœtale, hydramnios	Echographie pré et post-mortem. Kyste hilaire proximal 10 mm Emphysème lobaire géant droit ou atrésie partielle ou kyste bronchogénique compressif Aération débilitante dans les segments postéro-inférieurs Ascite	Kyste hilaire droit, emphysème segmentaire géant lobaire supérieur droit partiel, visualisation d'une partie du poumon droit de signal normal (lobe inférieur et moyen et une partie du lobe sup.) et du poumon gauche Volumétrie pulmonaire	TDM thorax post-mortem : non contributive Radios thorax pré-mortem : aération progressive du poumon gauche et d'une partie du poumon droit Bronchographie ex-vivo : Atrésie bi-segmentaire de la lobaire supérieure droite	Concordante Emphysème congénital partiel lobe supérieur droit avec hypoplasie pulmonaire relative du reste du poumon sain Atrésie bronchique (kyste) bi segmentaire sur la lobaire supérieure droite
Patient 16 Décès J1 Anomalie cutanée (peau fragile), arthrogrypose	Arthrogrypose 4 ^{ème} grossesse 3 ^{ème} arthrogrypose anténatale ATCD de deux décès néonataux	Néant	Témoins d'arthrogrypose RAS par ailleurs Epanchement des séreuses.	Rx squelette : Signes d'arthrogrypose, brièveté des corps vertébraux antéropostérieure, 2 fractures diaphysaires	Autopsie refusée : Arthrogrypose, quelques particularités faciales, anomalie cutanée avec fragilité orientant vers une dermatopathie restrictive



foetopathologiste ou de l'anatomopathologiste pour les enfants nés vivants.

Le terme moyen des IMG est de 27,8 SA [20-35]. Le délai moyen de réalisation de l'échographie est de 50,1 h [24-120]. Le délai moyen de réalisation de l'IRM est de 40,8 h [12-120]. Les principales anomalies détectées en anténatales ayant justifié l'IMG sont : cérébrales (7), thoraciques (2), rénales (2).

Qualité d'image

Dans 13 cas sur 16 (81 %) l'IRM est de très bonne qualité et permet une interprétation de qualité, holocorporelle. Dans deux cas, la qualité des images est moyenne pour une interprétation fiable (24 et 26 SA). Dans un cas, le terme précoce de réalisation de l'IRM, à 20 SA peut expliquer la mauvaise qualité des images (fig. 5).

La séquence 3D T2 présente des artefacts d'interférence à l'interface air-corps, dégradant l'image

mais ne limitant pas la qualité d'interprétation. De même, en présence d'épanchements gazeux intra-corporels de grande abondance (gastrique, pneumothorax...) des artefacts de même nature sont présents sur les séquences T2. La séquence 3D T1 présente parfois une texture "granitée" altérant la qualité image sans modifier les performances diagnostiques.

Analyse des images

Dans la grande majorité des cas on note la présence d'épanchements faibles à moyens des séreuses qui semblent être une conséquence "physiologique" post-mortem (taphonomique). La sensibilité de détection de ces épanchements est meilleure en séquence T2, dans laquelle le contraste liquide/parenchyme est excellent (fig. 6). Cela permet une très bonne délimitation des organes les uns avec les autres en pondération T2 malgré un mauvais contraste entre les organes pleins sur la séquence utilisée. A l'inverse, en pondération T1, le

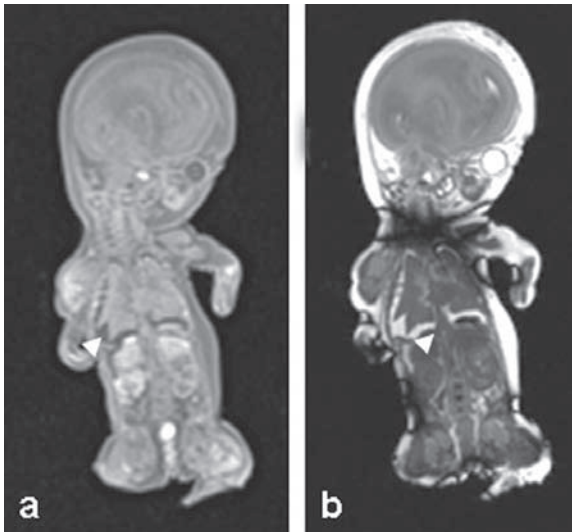


Fig. 5 : Coupes coronales T VIBE 3D (a) et T2 TRUFISP 3D (b) chez le plus jeune fœtus imagé à l'IRM à 20 SA (patient 9) illustrant les limites de l'IRM à ce terme (épanchement pleural ►).



Fig. 6 : Patient 16 : Lipoatrophie musculaire (*) en rapport avec l'arthrogrypose. Epanchement liquidien des séreuses (épanchements pleuraux (→) et lame d'ascite (►)).



contraste entre les parenchymes est meilleur mais la délimitation des organes est parfois gênée par un contraste plus faible entre les parenchymes et les épanchements péri-viscéraux responsable d'une imprécision dans l'estimation métrique.

En pondération T1, plusieurs structures sont en franc hypersignal T1 facilitant leur détection et leur analyse morphologique. Sont concernés, le méconium, la vésicule biliaire (surtout après la naissance), la thyroïde, la post-hypophyse et le cristallin. De plus, il existe un très bon contraste parenchymateux cortico-médullaire au niveau des reins et des surrénales.

En pondération T2, sur des séquences millimétriques 3D isovolumétriques, l'hypersignal aqueux est très utile pour vérifier l'anatomie de structures liquidiennes de petite taille tels que les canaux

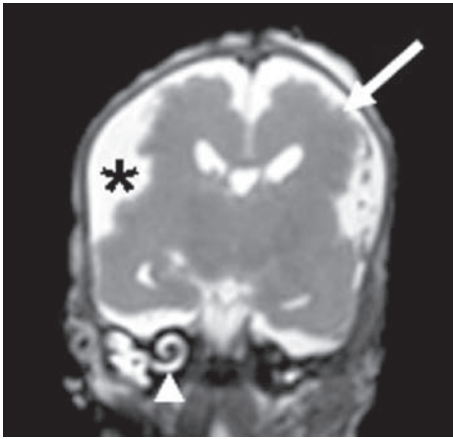


Fig. 7 : Coupe coronale T2 du cerveau du patient 3 avec micropolygyrie et microcéphalie (→). Aspect non operculisé de la vallée sylvienne (*). On remarque la très bonne visualisation des structures liquidiennes de l'oreille interne (▴).

semi-circulaires (fig. 7), l'arbre trachéo-bronchique, la morphologie ventriculaire et permettre la détection de micro-kystes, en particulier au niveau des reins (fig. 2).

L'acquisition 3D isovolumétrique permet des reconstructions MPR de bonne qualité qui autorisent une analyse des structures anatomiques dans les trois plans de l'espace en acquérant une seule séquence et permet également la réalisation de volumétries d'organes grâce à des logiciels dédiés.

Scanner [THAYIL S, CHITTY LS *et al.* 2010 ; LEVY AD, HARCKE HT *et al.* 2007]

Notre expérience tomodynamométrique est très faible. Nous avons réalisé uniquement deux body-scanner chez deux fœtus présentant des points d'appel osseux anténataux. Nous avons réalisé un scanner thoracique sur notre premier dossier d'autopsie virtuelle dans le cadre d'une MAKP supposée en anténatal pour laquelle le résultat n'a pas été contributif. Ce premier résultat ne nous a pas encouragés à poursuivre la réalisation des TDM chez le fœtus décédé compte tenu du faible contraste des parenchymes et au sein des parties molles. Le contenu liquidien thoracique, chez le fœtus, diminue la rentabilité de cette technique, habituellement supérieure à l'IRM pour l'étude de parenchyme pulmonaire.

Dans notre faible expérience, le scanner ne semble pas apporter d'information complémentaire au bilan couplé, IRM/radios du squelette en totalité, même en ce qui concerne la pathologie osseuse. La représentation en Volume Rendering 3D est intéressante pour la compréhension des malformations osseuses complexes et facilite la communication entre les spécialités de la médecine fœtale grâce un rendu iconographique didactique (fig. 8).



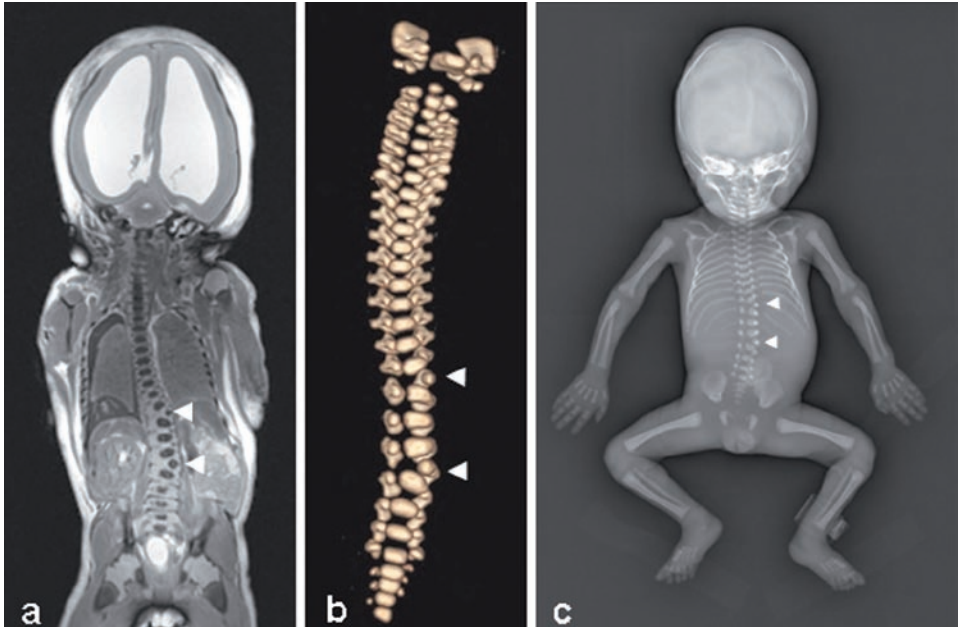


Fig. 8 : Correspondance entre les images post-mortem IRM (a), TDM (b) et radiographique (c) d'une même anomalie de segmentation vertébrale chez le patient 12 (2 vertèbres surnuméraires, dorsale et lombaire).

- a) IRM : Coupe coronale T2 passant par les anomalies vertébrales. Ventriculomégalie majeure associée.
b) TDM : Reformat en Volume Rendering 3D du rachis dans son intégralité.
c) Radiographie de squelette de face.

Discussion

Sémiologie thanatologique : "Prudence !"

Les premières expériences d'imagerie thanatologique, quelle que soit la technique, confrontent les radiologues à une problématique spécifique à l'imagerie post-mortem : la taphonomie. Ce terme regroupe toutes les modifications physiques et biologiques qui interviennent après le décès de l'individu. En effet, parmi les anomalies détectées par l'imagerie post-mortem, il faut dissocier celles qui sont uniquement la conséquence de ces modifications taphonomiques, "physiologiques", et celles qui sont pathologiques. Par exemple, dans notre travail la présence très fréquente de thromboses

vasculaires (gros troncs médiastinaux, intra-cardiaques) et d'épanchements liquidiens de faible abondance des séreuses sont à rattacher aux premières altérations physico-biologiques corporelles post-mortem (importance corrélée au délai ?) (fig. 6). Lorsque les épanchements des séreuses sont plus abondants, il faut discuter des étiologies pathologiques comme, par exemple, dans nos cas d'hernie diaphragmatiques et de MAKP.

L'apparition rapide de ces modifications post-mortem en imagerie doit nous inciter à réaliser très précocement les examens post-mortems, et ce d'autant plus que la technique est sensible (IRM) afin d'éviter les biais d'interprétation [THAYYIL S. 2011].



La multiplication des études sur l'imagerie post-mortem va permettre d'affiner la sémiologie taphonomique dans les années à venir. En attendant, il faut rester prudent sur l'interprétation d'une image radiologique détectée avant de l'attribuer comme la cause du décès ou comme une image pathologique pré-mortem. Par exemple, des études récentes post-mortem sur le cochon ont permis de contredire des thèses avancées sur la corrélation entre la sémiologie thanatologique et le mécanisme des accidents de plongée.

Protocole d'IRM montpelliérain : "qui peut le plus peut le moins !"

Nous avons choisi pour nos études post-mortem de réaliser des séquences 3D et isovolumétriques afin d'effectuer des volumétries virtuelles d'organe et il s'avère qu'elles sont particulièrement utiles pour l'interprétation en raison de reconstructions MPR de qualité. Plus qu'en échographie, l'imagerie post-mortem en IRM, s'affranchit de la principale limite de la technique : le mouvement du sujet étudié. Cette particularité nous permet d'effectuer des séquences de bien meilleure qualité que chez le vivant sans autre limite que la durée d'examen. Il faut profiter de cette situation pour proposer un protocole d'étude post-mortem en poussant les performances des machines afin d'avoir des études de qualité irréprochables et exhaustives.

La pérennité des données d'imagerie incite à s'imposer une culture "de la belle image" et ceci en raison de plusieurs objectifs médicaux et universitaires. La première finalité est évidemment d'optimiser les performances diagnostiques de l'outil. Ensuite, il est essentiel d'avoir des documents iconographiques suffisants pour effectuer une analyse rétrospective, éventuellement nécessaire à la lumière des données de l'autopsie ou d'une information complémentaire autre (antécédent, nouvelle grossesse, diagnostic génétique...).

Pour communiquer, il est également important d'avoir des documents iconographiques de qualité,

que ce soit pour les correspondants au sein de la médecine fœtale ou pour la communication scientifique, les publications ou les présentations en congrès.

Plus l'iconographie est précise, plus il est facile de l'utiliser pour la confronter aux autres modalités d'imagerie anté- ou post-mortem. La très grande qualité de l'imagerie post-mortem IRM peut être utile pour faire progresser la compréhension et la détection des anomalies en anténatal. Elle peut également servir de support à la formation des plus jeunes à l'anatomie et à la pathologie fœtale.

Enfin, plus les études seront exhaustives et exploitables (acquisitions isovolumétriques) plus il sera facile de réaliser des bases de données afin d'effectuer d'éventuelles études rétrospectives de volumétrie, d'anthropométrie, statistiques... compte tenu des avancées technologiques et cognitives quotidiennes (par exemple : nouvel outil de traitement d'image, description d'une nouvelle association syndromique, d'un nouveau gène...).

Les séquences réalisées permettent une analyse précise des viscères intra-abdominaux, intra-thoraciques, du cerveau, mais également des parties molles des membres (os calcifié excepté) et du cou (fig. 9). Le tube digestif et le poumon, non aérés, sont plus facilement étudiables que dans les situations postnatales dans lesquelles l'air, vide de signal et susceptible de créer des artéfacts, limite l'analyse de ces deux structures. La face est globalement très bien étudiée également avec accès aux canaux semi-circulaires, à la morphologie du palais, au profil...

L'exploration IRM post-mortem présente également des limites, en particulier en ce qui concerne l'exploration de l'os calcifié et au niveau de l'exploration cardiaque et des gros vaisseaux proximaux. Les gros vaisseaux et le cœur sont difficilement étudiables en raison de leur conformation en trois dimensions à laquelle s'ajoute l'existence de thrombus intra-vasculaires [WHITBY 2005]. En effet, ses thrombus limitent le contraste qui existe normalement



entre les structures vasculaires médiastinales et les autres organes. Pour l'étude de l'os calcifié, l'imagerie irradiante vient efficacement en complément de l'IRM, pour l'étude cardiaque, l'injection de produit de contraste post-mortem pourrait solutionner le problème. Breeze *et al.* concluaient en 2006 une étude en exprimant des réserves quant à la qualité l'interprétation cardiaque et digestive [Breeze 2006]. Plus récemment, une équipe, RUDER *et al.*, a montré l'importance de prendre en considération le facteur température du corps dans l'analyse des images, le signal étant nettement réduit avec la diminution de la température corporelle. Il

convient de redoubler de vigilance quant à la réalisation et l'interprétation des images, nous, radiologues, qui avons l'habitude de travailler autour de 37 °C [RUDER 2011].

Volumétries : "bientôt sans ouvrir !"

La volumétrie des organes fait partie intégrante de l'examen d'autopsie et apporte des éléments substantiels au diagnostic. En pratique courante, le poids des organes est privilégié (simplicité de réalisation).

En marge des autopsies virtuelles fœtales nous avons également réalisé des IRM post-mortem dans le cadre de la mort inexplicée de l'enfant (16 enfants). L'objectif principal de ce travail était l'évaluation de la capacité de l'IRM à mesurer virtuellement la volumétrie d'organe. Les volumes estimés en IRM à partir de séquences 3D et d'un logiciel dédié (MYRIAN®, Intrasense, Montpellier, France) ont été comparés aux volumes réels (autopsie), mesurés grâce au déplacement d'une colonne d'eau après immersion de l'organe dans un récipient gradué (fig. 10). Les résultats, en cours de publication, montraient une très bonne concordance pour le cerveau, le poumon et le foie. Pour les reins, le thymus et la rate, le rapport entre les volumes IRM et autopsiques étaient proches de 1, mais lors de test de Blant et Altman, la concordance était statistiquement insuffisante. La volumétrie du cœur et des glandes surrénales était peu satisfaisante (cœur : problématique des thrombus intra-cardiaques, surrénales : problématique de la taille, de la forme et de la situation). Plusieurs travaux similaires chez le fœtus ont déjà été publiés avec des résultats satisfaisants pour les plus gros organes (cerveau, foie, poumons) [BREEZE 2008, THAYIL 2009].

Cette volumétrie présente un certain intérêt pour mesurer la volumétrie pulmonaire post-mortem afin de la comparer aux volumétries estimées en anténatal et aux volumétries attendues au terme de la mort fœtale.

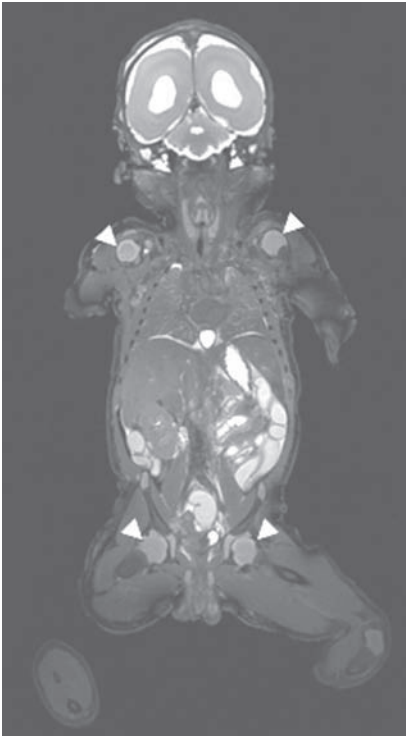


Fig. 9 : Exemple de coupe coronale corps-entier T2 TRUFISP 3D réalisée (patient 8). Microlissencéphalie. Résolution spatiale excellente. Visualisation nette des cartilages (►) (articulation coxo-fémorales, gléno-humérale).



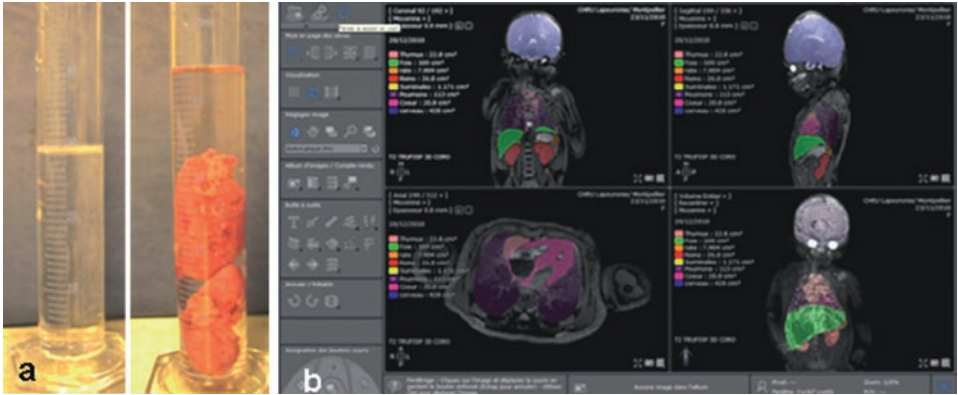


Fig. 10.

a) Volumétrie par déplacement d'une colonne d'eau : autopsie classique.

b) Volumétrie IRM des principaux organes utilisant un logiciel semi-automatique dédié (MYRIAN®, Intrasense, Montpellier, France).

L'imagerie post-mortem en fœtopathologie : "un pour tous, tous pour un !"

Complémentarité des examens

L'ensemble des examens d'imagerie post-mortem ont des avantages et des limites, que nous n'aborderons pas dans ce chapitre, qui les rend complémentaires entre eux. Il n'y a pas un examen miracle susceptible de répondre à toutes les questions posées dans le cadre d'un décès fœtal (IMG ou MFIU).

A titre d'exemple, le scanner et l'IRM post-mortem, présentent des avantages et des limites qui les rendent complémentaires. L'IRM présente un contraste excellent au niveau des tissus mous alors que l'étude des os calcifiés et des structures aériennes est limitée par l'absence de signal ce qui est totalement l'inverse du scanner.

Au total, la meilleure imagerie post-mortem c'est l'imagerie la plus complète : radios du squelette, échographie, TDM, IRM.

Sur l'ensemble des dossiers d'imagerie post-mortem fœtaux (IMG uniquement) qui ont pu bénéficier d'une IRM, présenté dans ce travail, la totalité des examens d'imagerie n'a pas permis de découvrir

une anomalie non suspectée en anténatal. Par contre, dans plusieurs situations, l'analyse post-mortem, de bien meilleure qualité, permettait de préciser les lésions et de confirmer (ou d'infirmer) certaines anomalies suspectées en anténatal.

Multidisciplinarité

De même que chaque technique d'imagerie présente des avantages et des limites, chaque discipline exerçant dans le domaine de l'étude fœtale post-mortem présente des avantages et des limites [WHITBY 2006].

Le Gold Standard, la fœtopathologie, qui apparaît la technique la plus approfondie, la plus aboutie et la plus évaluée depuis des années, est limitée par les refus d'autopsie, va bientôt poser un problème d'accessibilité et nécessite de plus en plus souvent des confirmations génétiques ou de biologie moléculaire. Ces dernières spécialités sont les plus précises en ce qui concerne le diagnostic mais sont entièrement dépendantes des orientations apportées par les examens post-mortem. L'imagerie post-mortem présente l'avantage par rapport à l'autopsie classique de respecter l'intégrité corporelle mais est encore peu évaluée et présente des limitations diagnostiques (cœur en particulier).



L'objectif premier des examens post-mortem, quels qu'ils soient, est de préciser au mieux l'étiologie d'un décès fœtal et ainsi de proposer à la famille la meilleure attitude pratique possible lors des grossesses ultérieures (conseil génétique, prévention, surveillance...). Pour réaliser cet objectif, tous les examens susceptibles d'aider au diagnostic sont à proposer de manière complémentaire. Mais tous les examens n'ont pas les mêmes conséquences pour l'intégrité corporelle. Ceci implique que, si un même résultat peut être obtenu par un examen post-mortem ne portant pas atteinte à l'intégrité corporelle ou par une autopsie, ne sommes-nous pas en droit d'exiger que soit réalisé l'examen non invasif ? Ceci bien sûr n'est pas une réflexion du présent, mais un objectif d'avenir, qui a néanmoins deux conséquences directes. Premièrement, il est impératif de généraliser les examens post-mortem afin d'améliorer leur rentabilité diagnostique, grâce, en particulier, à des collaborations avec les fœtopathologistes, pour qu'un jour l'autopsie virtuelle puisse rivaliser avec l'autopsie classique. Deuxièmement, Il faut progressivement tendre vers des autopsies mini-invasives dirigées par l'autopsie virtuelle. En effet, les excellentes valeurs prédictives positives ou négatives de l'IRM post-mortem sur certaines anomalies ou sur l'intégrité de telle ou telle structure, pourraient rapidement cibler l'examen autopsique. Cela permettrait un gain de temps, en évitant des explorations inutiles, pour les pathologistes dont le nombre se restreint progressivement, et diminuerait le caractère invasif de l'autopsie sans en diminuer le bénéfice.

Au final, la tendance de la médecine thanatologique est de se rapprocher de la médecine du vivant en proposant de plus en plus systématiquement un bilan d'imagerie avant de réaliser un acte invasif avec pour objectif de limiter l'acte invasif au strict nécessaire.

Perfectionnement de l'imagerie anténatale

L'imagerie post-mortem et l'IRM en premier lieu sont également intéressantes par la nature des documents iconographiques proposés. Les images

générées par l'IRM ou l'échographie post-mortem sont didactiques et de même nature que les documents iconographiques anténataux spéréennes. Leur caractère didactique permet une présentation accessible et agréable des résultats d'autopsie, virtuelle, quel que soit le public (staff CPDPN, congrès, étudiants). Le fait que les documents d'autopsie virtuelle soient de même nature que les documents de l'imagerie anténatale permet une confrontation des résultats des deux techniques. L'imagerie post-mortem présentant de nombreux avantages relatifs au caractère inerte du corps étudié est susceptible de mettre en évidence des signes non accessibles jusqu'alors en imagerie anténatale et ainsi de la faire progresser. Enfin, le caractère pérenne des documents présente de nombreux avantages que nous avons déjà discutés dans le chapitre "protocole d'IRM montpelliérain" et que nous ne ferons que résumer ici. Contrairement à l'autopsie qui ne peut être réalisée qu'une seule fois, les images d'IRM, de scanner et d'échographie dans une moindre mesure peuvent être analysées *a posteriori* après les données de l'autopsie ou à la lumière de nouveaux éléments obtenus longtemps après la mort fœtale (récidive d'une pathologie chez un nouveau fœtus, données génétiques non accessibles au moment de la mort fœtale...). Ces documents stockés dans une base de données peuvent être utilisés dans un second temps pour des travaux scientifiques rétrospectifs de mesures de volumes, de segmentation avec analyse surfacique (cerveau), voire de nouvelles techniques d'analyse d'image inaccessibles à ce jour. Ces bases de données sont également une mine de documents iconographiques pour illustrer des enseignements ayant un rapport avec la médecine fœtale.

Problématique de la cotation des actes post-mortem : "qui paye après la mort !"

En fœtopathologie comme en médecine légale, les actes d'imagerie réalisés sur un corps décédé ne peuvent leur être facturés. Il n'existe pas de cotation CCAM pour un acte d'imagerie réalisé en post-mortem. En médecine légale, certains centres se sont rapprochés du ministère de la justice ou bénéficient



d'une partie des budgets alloués à la médecine légale pour indemniser ces actes. Pour d'autres, ce sont les protocoles de recherche qui financent ces examens non rémunérés. L'autopsie virtuelle occupe une très faible proportion de l'activité des services d'imagerie mais cette activité tend à se développer très rapidement. Il apparaît indispensable, quelle que soit l'importance que l'imagerie post-mortem va prendre, qu'elle soit rémunérée au même titre que n'importe quel acte d'imagerie chez le vivant. Cette activité occupe un temps machine et manipulateur équivalent à n'importe quel autre acte d'imagerie médicale et nécessite souvent un temps d'interprétation, par le médecin radiologue, nettement plus long.

Perspectives : "l'autopsie virtuelle de demain !"

Ce qui limite aujourd'hui l'autopsie virtuelle dans tous ces aspects trouvera certainement des solutions demain. Il s'agit des premiers balbutiements d'une nouvelle spécialité de l'imagerie médicale et il faudra plusieurs années avant qu'elle arrive à maturité. D'ici là, les problématiques liées à la reconnaissance de cette discipline seront résolus :

- prise de conscience générale du bénéfice médical à réaliser ces explorations,
- disponibilité des machines (pour la réalisation) et délais raisonnables (pour les modifications taphonomiques),
- et rémunération des actes qui occupent du temps machine mais surtout du temps médecin.

D'un point de vue technique, de multiples travaux sont en cours pour pallier ce qui limite actuellement l'autopsie virtuelle par rapport à l'autopsie classique. Ainsi certains auteurs proposent d'augmenter la valeur du champ magnétique pour les explorations IRM afin d'augmenter la capacité de détection d'anomalies de petite taille ou pour les fœtus de petite taille < 22 SA [ZHANG Z, LIU S *et al.* 2010 ; FINK AM, HINGSTON T *et al.* 2010 ; THAYYIL CLEARY JO *et al.* 2009]. Pour la même raison, l'utilisation de machine dédiée à l'étude de structure de petite taille pourrait augmenter la rentabilité des examens (IRM clinique dédiée aux extrémités, IRM de recherche).

Nous avons vu les limites des explorations post-mortem dans l'étude du système vasculaire et du cœur en particulier. En médecine légale, certains auteurs proposent une injection post-mortem pour augmenter la rentabilité diagnostique du scanner ou de l'IRM post-mortem [GRABHERR S, DJONOV V *et al.* 2006 ; JACKOWSKI C, CHRITE A. *et al.* 2006]. Il est tout à fait possible d'envisager la possibilité de transposer ces techniques chez le fœtus pour étudier précisément la morphologie cardiaque et l'émergence des gros troncs vasculaires médiastinaux sans être très invasif.

L'échographie ne révolutionnera jamais l'imagerie post-mortem malgré ses atouts mais elle pourrait constituer un outil de choix à la réalisation de biopsies guidées par imagerie dans la perspective d'autopsie mini-invasives, en raison de ses performances (caractérisation des tissus mous vs TDM) et surtout de sa disponibilité (vs IRM).

Conclusion

L'autopsie virtuelle est vouée à se développer considérablement ces prochaines années. Sa rentabilité est encore inférieure à l'autopsie classique mais l'ensemble des autres paramètres de comparaison avantage l'imagerie. La rentabilité diagnostique des examens d'imagerie post-mortem va progresser avec la multiplication des actes comme cela a été le cas avec l'imagerie du vivant.

L'objectif de l'autopsie virtuelle sera dans un premier temps de compléter l'autopsie classique puis de la guider. L'objectif final est de pouvoir substituer l'autopsie classique par l'imagerie, partiellement (autopsie mini-invasive ciblée) voire totalement, que ce soit en raison d'un rapport bénéfice/"coût" à l'avantage de l'autopsie virtuelle ou par non-réalisation de l'autopsie classique par manque de moyens ou par refus.

Les moyens utilisés (échographie, TDM, IRM de plus ou moins haut champ) et les protocoles d'études sont très hétérogènes et doivent être uniformisés (à l'instar des travaux du GRRIF) afin de répondre au



mieux à la problématique du diagnostic post-mortem en tendant vers l'exhaustivité des techniques et des protocoles.

La multiplication des travaux sur l'imagerie post-mortem va permettre de préciser la séméiologie taphonomique et ainsi améliorer la rentabilité diagnostique de l'imagerie post mortem.

L'échographie post-mortem est "l'IRM du pauvre". Bien que de rentabilité diagnostique moindre, elle présente de nombreux avantages, elle peut apporter des informations complémentaires aux autres techniques et pourrait permettre d'effectuer des biopsies ciblées à moindre coût. L'IRM apparaît être la technique de rentabilité diagnostique maximale mais elle n'est pas multipotente et elle est encore peu disponible en France.

Des solutions doivent être apportées à la problématique de disponibilité des machines et des médecins radiologues qui va de pair avec la rémunération des

actes qui découlera de la reconnaissance de leur légitimité.

Des recherches sont en cours pour optimiser la rentabilité diagnostique de l'imagerie post-mortem (IRM haut champ, injection post-mortem, biopsies ciblées par imagerie).

Dans un avenir proche, l'estimation du volume d'organe pourra se faire sans nécessairement avoir besoin de réaliser une autopsie.

Au sein de la médecine fœtale, l'étude post-mortem fait intervenir plusieurs disciplines à part entière, dans lesquelles l'autopsie virtuelle va s'intégrer en parfaite adéquation avec les autres.

Pour conclure, l'imagerie post-mortem va prendre la même place que l'imagerie médicale chez le vivant quelles qu'en soient les limites actuelles en ciblant au maximum les investigations invasives voire en les substituant.

Bibliographie

- AKGUN H, BASBUG M, OZGUN MT *et al.* (2007) Correlation between prenatal ultrasound and fetal autopsy findings in fetal anomalies terminated in the second trimester. *Prenat diagn* 27: 457-62.
- ALDERIESTEN MA, PERINGA J, VAN DER HULST VPM, BLAAUWGEERS HLG, VAN LITH JMM (2003) Perinatal mortality: clinical value of postmortem magnetic resonance imaging compared with autopsy in routine obstetric practice. *BJOG: an International Journal of Obstetrics and Gynaecology* 110: 378-82.
- BREEZE ACG, CROSS JJ, HACKETT GA *et al.* (2006) Use of a confidence scale in reporting postmortem fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound Obstet Gynecol* 28: 918-24.
- BREEZE ACG, GALLAGHER FA, LOMAS DJ, SMITH GCS, LEES CC (2008) Postmortem fetal organ volumetry using magnetic resonance imaging and comparison to organ weights at conventional autopsy. *Ultrasound Obstet Gynecol* 31: 187-93.
- BREEZE ACG, JESSOP FA, SET PAK *et al.* (2011) Minimally-invasive fetal autopsy using magnetic resonance imaging and percutaneous organ biopsies: clinical value and comparison to conventional autopsy. *Ultrasound Obstet Gynecol* 37: 317-23.
- BREEZE ACG, JESSOP FA, WHITEHEAD AL *et al.* (2008) Feasibility of percutaneous organ biopsy as part of a minimally invasive perinatal autopsy. *Virchows Arch* 452: 201-7.
- BROOKES JA, HALL-CRAGGS MA, SAMS VR, LEES WR (1996) Non-invasive perinatal necropsy by magnetic resonance imaging. *Lancet* 348: 1139-41.
- BROOKES JS, HAGMANN C (2006) MRI in fetal necropsy. *JMRI* 24 : 1221-8
- DEDOUT F, OTAL P, COSTAGLIOLA R *et al.* (2006) Applications à la thanatologie de l'imagerie en coupe : revue iconographique. *J Radiol* 87 : 619-38.
- DIRNHOFFER R, JACKOWSKI C, VOCK P, POTTER K, THALI MJ (2006) Virtopsy: Minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics* 26 : 1305-33.
- FAYE-PETERSEN OM, GUINN DA, WENSTROM KD (1999) Value of perinatal autopsy. *Obstetrics and Gynecology* 94: 915-20.
- FINK AM, HINGSTON T, SAMPSON A, NG J, PALMA-DIAS R (2010) Malformation of the fetal brain in thanatophoric dysplasia: US and MRI findings. *Pediatr Radiol* 40: S134-37.
- GRABHERR S, DJONOV V, FRIESS A *et al.* (2006) Postmortem angiography after vascular perfusion with diesel oil and a lipophilic contrast agent. *AJR* 187 : W515-23.
- HEFLER LA, HERSH DR, MOORE PJ, GREGG AR (2001) Clinical value of postnatal autopsy and genetics consultation in fetal death. *American Journal of Medical Genetics* 104: 165-8.
- JACKOWSKI C, CHRITE A, SONNENSCHNEIN M, AGHAYEV E, THALI MJ (2006) Postmortem unenhanced magnetic resonance imaging of myocardial infarction in correlation



- to histological infarction age characterization. *European Heart Journal* 27: 2459-67.
- LEVY AD, HARCKE HT, GETZ JM *et al.* (2007) Virtual autopsy: Two- and three-dimensional multidetector CT findings in drowning with autopsy comparison. *Radiology* 243: 862-8.
 - RUDER TD, HATCH GM, SIEGENTHALER L *et al.* (2011) The influence of body temperature on image contrast in post mortem MRI. *Eur J Radiol* doi:10.1016/j.ejrad.2011.02.062.
 - SIESWERDA-HOOGENDOORN T, VAN RIJN RR (2010) Current techniques in postmortem imaging with specific attention to paediatric applications. *Pediatr Radiol* 40 : 141-52.
 - THAYYIL S, CHITTY LS, ROBERTSON NJ, TAYLOR AM, SEBIRE NJ (2010) Minimally invasive fetal postmortem examination using magnetic resonance imaging and computerized tomography: current evidence and practical issues. *Prenat Diagn* 30 : 713-18.
 - THAYYIL S, CLEARY JO, SEBIRE NJ *et al.* (2009) Post-mortem examination of human fetuses: A comparison of whole-body high-field MRI at 9.4T with conventional MRI and invasive autopsy. *Lancet* 374 : 467-75.
 - THAYYIL S, SCHIEVANO S, ROBERTSON NJ *et al.* (2009) A semi-automated method for non-invasive internal organ weight estimation by post-mortem magnetic resonance imaging in fetuses, newborns and children. *European Journal of Radiology* 72 : 321-6.
 - THAYYIL S (2011) Less invasive autopsy: an evidence based approach. *Arch Dis Child* 96: 681-7.
 - WHITBY EH, PALEY MNJ, COHEN M, GIFFITHS PD (2006) Post-mortem fetal MRI: What do we learn from it? *European Journal of radiology* 57: 250-55.
 - WHITBY EH, PALEY MNJ, COHEN M, GIFFITHS PD (2005) Postmortem MR imaging of fetus: An adjunct or a replacement for conventional autopsy? *Seminars in fetal and neonatal medicine* 10 : 475-83.
 - WOODWARD PJ, SOHAERY R, HARRIS DP *et al.* (1997) Postmortem fetal MR imaging: Comparison with findings at autopsy. *AJR* 168 : 41-6.
 - ZHANG Z, LIU S, LIN X *et al.* (2010) Development of fetal cerebral cortex: assessment of the folding conditions with post-mortem Magnetic Resonance.

