



HAL
open science

Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation de l'âge gestationnel de 4 foetus. Évaluation de l'utilité du Cone Beam Computed Tomography

Mathilde Bounyavong

► **To cite this version:**

Mathilde Bounyavong. Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation de l'âge gestationnel de 4 foetus. Évaluation de l'utilité du Cone Beam Computed Tomography. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03198784

HAL Id: dumas-03198784

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03198784>

Submitted on 15 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2021

Thèse N°18

**Thèse pour l'obtention du
DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par BOUNYAVONG Mathilde

Née le 18 janvier 1994 à Libourne (33)

Le 01/04/2021

**Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation
de l'âge gestationnel de 4 fœtus. Evaluation de
l'utilité du Cone Beam Computed Tomography.**

Sous la direction du Docteur Bou Christophe

Membres du jury

Présidente	Pr BOILEAU Marie-José	Professeur des Universités
Directeur	Dr BOU Christophe	Maître de conférences des Universités
Rapporteur	Dr BENALI Larbi	Maître de conférences des Universités
Assesseur	Dr GOURGUES Jane	Assistante Hospitalo-Universitaire
Assesseur	Dr THEBAUD Noélie	Maître de conférences des Universités

A ma mère,

Président M. TUNON DE LARA Manuel

Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme BERTRAND Caroline	58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie	Mr DELBOS Yves	56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M. CATROS Sylvain	57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M.SEDARAT Cyril	57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M	Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M.	Jean-Christophe	FRICAÏN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M,	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M,	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Florian	PILEU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Laurie	FUCHS	Odontologie pédiatrique	56-01

REMERCIEMENTS

A notre présidente de thèse

Madame la Professeure Marie-José BOILEAU

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous section Orthopédie dento-faciale 56-01

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites de présider cette thèse. Merci pour votre disponibilité et votre pédagogie lors de la transmission de votre savoir. Veuillez trouver dans ce travail, le témoignage de mon respect et de ma reconnaissance.

A notre directeur de thèse

Monsieur le Docteur Bou Christophe

Maître des conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous section Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale 56-02

Je vous remercie infiniment d'avoir accepté la direction de cette thèse. Merci pour la confiance que vous m'avez accordée en me donnant ce sujet. Votre pédagogie et votre bienveillance ont été d'une aide précieuse dans le développement de ma confiance professionnelle et personnelle, je vous en remercie. Je vous remercie de la gentillesse que vous m'avez témoignée tout au long de nos échanges. Veuillez recevoir l'expression de ma gratitude et mon plus grand respect.

A notre rapporteur de thèse :

Monsieur le Docteur Benali Larbi

Maître des conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous section Unités médico-légales

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant d'être le rapporteur de cette thèse. Par ce travail, veuillez recevoir le témoignage de mon profond respect.

A notre assesseur :

Madame le Docteure THEBAUD Noélie

Maître des conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous section Biologie orale 57-01

Je tiens à vous remercier et à vous témoigner toute ma reconnaissance d'avoir accepté de juger cette thèse. Je garderai en mémoire votre douceur et votre pédagogie qui m'a guidé et m'a donné le goût de la pédodontie. Je souhaite vous témoigner l'assurance de mes sentiments respectueux.

A notre assesseur :

Madame le Docteure GOURGUES Jane

Assistant hospitalo-universitaire

Sous section Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale 56-02

Je souhaite vous remercier d'avoir accepté de juger cette thèse sans hésitation. Par ce travail, je vous témoigne ma gratitude et mon respect.

A ma famille,

A ma mère, comme à chaque grand moment de ma vie, ton absence se fait davantage sentir. J'aurais tellement aimé que tu sois là. Depuis ton départ, chaque jour est un combat, je continue à me battre contre mes démons et ces angoisses qui m'habitent depuis que tu es partie, à me battre pour te rendre fière.

A mon père, j'espère qu'avec cette thèse, tu seras fière de moi. Merci pour tes encouragements quotidiens pendant ma P1, même s'il est parfois difficile de dire ce que l'on ressent, je vais répondre à ta question favorite : Oui je t'aime mon papa.

A ma Mamie Annie, depuis petite, un lien particulier nous unit. Tu es et resteras ma plus grande leçon de vie, tu es un roc, un exemple de combativité pour moi. La vie n'a pas été facile avec toi, le destin s'est souvent abattu sur toi, et il continue de s'acharner... Malgré toutes ces épreuves, tu continues de garder ton sourire ! Merci d'être là pour moi.

A mon Papy Boun , Papy tu es la douceur et la sérénité qui a rythmé mon enfance, toi qui m'a appris à jouer aux échecs et au Mastermind, ou quand tu me massais avec tes pieds. Les prochains mois vont sûrement être difficiles pour toi, mais je serai là pour t'épauler et aider à surmonter ça.

A ma Mamie Boun, tu es malheureusement partie quelques semaines avant cette thèse. Malgré ta réticence pour le monde médical, j'aurais aimé que tu me voies devenir Docteur. Tu resteras la plus belle étoile qui veillera sur moi. Merci pour tout.

A ma petite sœur, Microbille, ce petit bout en train qui veut être aussi drôle, belle et intelligente que moi ! J'aurais aimé que la vie me donne la vraie place de sœur que j'aurai du avoir auprès de toi. Toi la grosse patate pourrie que j'ai attendu pendant des mois pour finalement te voir naître dans une voiture, avant que l'on ne m'oublie à la maternité car tu accaparais (déjà) toute l'attention. Même si notre enfance a été plus marquée par des disputes et des bagarres que par des câlins, je voulais que tu saches que je suis fière de ce que tu es devenue et fière de te voir t'épanouir à faire ce qu'il te plaît. Bon courage pour ton envol et sache que je ne serai jamais très loin en cas de chute.

A mon tonton Nicolas, tu étais mon parrain, comme mon deuxième père. Grâce à toi j'ai appris mes plus belles leçons, pas seulement celles sur les divisions, celles sur la vie. J'ai compris que pour avoir ce qu'on voulait, il fallait travailler, travailler dur parfois. Depuis toute petite tu m'as donné le goût du travail, j'aimais travailler avec toi pendant les vacances. Ton départ n'a fait qu'accentuer mon chagrin. Je m'efforce chaque jour à te rendre fière.

A Patou et Coco, merci pour votre soutien infaillible depuis tant d'années. Merci pour votre bienveillance, votre douceur et les bonnes attentions que vous avez toujours à mon égard.

A ma marraine, cette femme si inspirante que ma maman avait choisi pour la seconder, merci d'avoir endossé à merveille ce rôle difficile, merci de toujours être présente, à l'écoute et encourageante malgré la distance. Une madeleine peut parfois évoquer des souvenirs d'enfance, moi j'ai un Roquefort de Proust pour me rappeler les doux étés passés en Aveyron. Par ces quelques mots, je voudrais te remercier et te dire que je suis fière d'avoir une marraine aussi forte et déterminée dans tout ce qu'elle entreprend. Encore merci pour tout.

A la famille LCAZE, cette tribu dirigée d'une main de maître par deux gaulois réfractaires, merci à vous de m'avoir accueilli comme votre fille adoptive. Merci pour votre bienveillance et votre amour partagés depuis des années, grâce à vous j'ai découvert la joie des repas de familles.

A mes amis,

A ma plus vieille amie, Alexia,

Je me souviendrais toujours de cette rentrée de CE1 où je t'ai sauvée des griffes de la voleuse de gommes ! Je voulais te remercier d'être une fidèle amie depuis tant d'années, merci d'être l'oreille qui écoute mes galères, merci de me pousser dans mes projets les plus délirants, merci pour tous ces fous rires ! La route a été longue et nous n'ouvrirons pas de magasins de jouets ; bientôt docteurs, je suis fière d'avoir fait tout ce chemin avec toi, je m'arrête plus tôt que toi, mais je te souhaite beaucoup de courage dans cette dernière ligne droite !

Ps : un énorme merci à MHD la puissance, de m'avoir toujours accueillie et soutenue comme sa propre fille.

A mes boys,

A mon Maxou,

Toi le frère que je n'ai jamais eu. Après tant d'années passées, côte à côte à bavarder à l'école, l'université nous a séparés. Même si nous nous voyons moins souvent, tu sais que tu as une place essentielle dans ma vie, je voulais te remercier d'être là dès que tu le peux pour moi. Je suis fière de ce que tu es devenu et tu sais que chacune de nos galères continuera de nous rapprocher.

Arthur, même si je ne suis pas toi, tu es une partie de moi. Toi le premier patient à qui j'ai détecté une carie qui était en fait une cacahuète ! Merci d'être mon double au masculin avec la même façon de penser et de voir le monde. Merci pour toutes ces barres de rire passées et celles à venir. Je suis fière de ta nouvelle vie parisienne avec Chacha, vous faites bien la paire et je suis ravie de te voir si heureux avec une fille simple et gentille Je vous fais plein de bisous et je vous souhaite pleins de réussite.

Baptiste, après avoir été mon beau-frère tu es devenu un vrai frère. Merci d'avoir su faire la part des choses et d'avoir réussi à préserver et à embellir notre amitié. Merci d'être ce mec simple et fufou qui met des paillettes dans ma vie. Pleins de bisous et de bonheur avec Fiona la douceur !

Clem, ce business man qui n'arrive pas à prendre rendez-vous pour se faire extraire ses dents de sagesse, tellement il est surbooké. Je t'ai connu tu m'arrivais sous le coude, et tu m'appelais l'intello. Depuis quand tu m'appelles c'est pour une ordonnance pour sauver ton voyage aux States. Merci pour ton soutien infailible. Bravo pour la belle vie parisienne que tu es en train de te construire et merci à Justine pour tous les messages radio qu'elle accepte de passer pour moi !

Titi, le papa de la Tribu. Ravie de partager avec toi ce rôle de parents à la tête de cette bande de fous. Sans nous, les soirées ne seraient que de mauvais remake de Koh Lanta ! Merci de faire partie de mes boys, les mecs sur qui je peux compter en toutes circonstances.

Aux plus bonnes de mes copines,

Juju, je ne me rends pas bien compte de ce que nous sommes devenues, mais je suis fière de notre parcours et fière de l'avoir fait avec toi. Merci pour ton soutien, je te souhaite plein de bonheur ma Titou avec ton juju !

Lulu, ma petite lulu, tellement de bons souvenirs, je suis contente que notre amitié continue à évoluer, qui de mieux pour m'assister ? Pleins de bisous aux Poirot !

Fafa, Je te remercie d'être à mes côtés depuis tant d'années ! Je te souhaite pleins de belles choses pour l'avenir.

Maëlys, merci à toi de m'avoir suivie dans mon projet le plus fou, merci pour ces bons moments et merci aussi pour les bons petits plats que tu me faisais à la coloc ! Pleins de bonheur avec Val !

Gaëlle, qui l'aurait cru que notre amitié évoluerait ainsi. Merci pour tout et merci pour ces quelques mois de coloc ! Et n'oublie jamais de croire en tes rêves ! Je te soutiendrai jusqu'à ce que tu les atteignes.

Suzanne, tata Suzanne, encore désolée pour toutes les étiquettes de Ferrero collées sur ton manteau. Bon courage pour tes projets futurs et garde cette étoile qui brille dans tes yeux et qui fait de toi une belle personne.

Alexia D., j'ai beaucoup d'admiration pour la personne que tu es. Au fil des années, j'apprends à te découvrir et à te connaître un peu mieux Je suis heureuse de te compter parmi mes fidèles amies. Merci !

Marion D., je te souhaite pleins de belles choses pour les années à venir, garde ta simplicité, ton optimisme et l'espoir qui portent tes projets ! A bientôt sur un terrain de bad !!

Clara Droudrou, merci pour ta folie, ta bonne humeur et ta joie qui m'ont boosté pendant nos deux P1. Bonne route à toi droudrou et à bientôt sur ton caillou !

Au Crew des culs mous,

A Camille, ma zouzoute, cette petite sœur que le destin m'a mise entre les mains. Peut-être que ce sont les plus grandes failles qui rapprochent des êtres humains. On a traversé et partagé tellement de choses ensemble : les galères des mémoires de biomat', nos X1 en TP, nos chagrins de cœurs brisés, nos verres en soirée, les empreintes et les endos à Saint André. Toujours collée l'une à l'autre, je me rends compte que le temps a passé. Où est-ce que je nous vois dans 10 ans ? Toujours l'une avec l'autre dans un chalet à la montagne ou une maison au bord de l'eau. Continue à prendre confiance en toi et n'oublie jamais que je t'aime fort.

Cluclu, avec le recul je n'ai que des bons moments à tes côtés ! Même les galères que m'a fait vivre Dark Cluclu, ton double maléfique, me font rire ! Je te souhaite pleins de belles choses à Bisca, madame la néo-landaise.

Tautauz, je me souviens de notre première rencontre, deux doublantes côte à côte dans cet ED du Turorat, c'était le début de notre idylle ! Dommage que tu m'aies plantée pour un Mimizannais... La défaite étant digérée, je vous souhaite pleins de belles choses à toi, Nico et Marius !

Dodie 33, dire que notre amitié aurait pu s'arrêter le jour où tu m'as trainée dans un cours de danse contemporaine de 3h... Merci pour les paillettes que tu mets dans ma vie Djadja. Bisous de ton petit renardeau.

Tintin le sang, une passion commune pour le foot qui m'a valu une entorse en P2, je me suis ensuite rendue à l'évidence, je préfère regarder le foot avec toi que d'y jouer. Heureuse que ton cœur ai un peu basculé du côté obscur de la force, tu sais les Landes c'est pas si mal ...

Quentin C., toi le parrain que le destin m'a donné. J'ai très vite compris que ce qui nous rapprocherait ça ne serait pas les ronéo de biomatériaux mais plus les apéros ! Merci pour tous ces moments mémorables où ton rire et tes canines resteront gravé dans ma mémoire !

A mes stagiaires d'inter, Matthis et Mikeldi, la vie n'est pas toujours facile quand on a une équipe de bras cassés. Mais grâce à vous, j'ai enfin été reconnu à ma juste valeur, celle de cheffe. Merci d'avoir transformé ce job d'étudiant en partie de rigolade entre commères d'inter. A quand le mojito ?

A toutes les autres belles rencontres, ces belles rencontres que je ne vois pas souvent, celles à qui j'envoie un sms d'anniversaire une année sur deux, mais celles qui me mettent des paillettes dans le ventre et des confettis dans le cœur quand on se voit tous les 5 ans. A Julia, à Tommy B, Pierre et Paul, aux Naomi's, à Théo, à François à Alexis le grenoblois, à Rémy, aux copains de dentaires, compagnons de TP, de Wei. Merci pour ces bons moments.

Au docteur CELLIE,

Merci pour votre bienveillance et votre confiance depuis tant d'années. Dès mon stage de 3^{ème}, vous m'avez encadré pour me faire découvrir le métier ; en première année, vous m'avez encouragé lorsque j'ai échoué et durant toutes mes années dentaires, vous avez été toujours présent pour m'épauler. Chaque jour j'apprends en travaillant à vos côtés, vous m'aidez à prendre de l'assurance et à avoir confiance en moi et je vous en remercie. Je suis admirative du professionnel mais aussi de la personne combative que vous êtes. Merci pour votre soutien infaillible.

Sommaire

Introduction :.....	12
Partie 1 : Morphogenèse et organogenèse des vertébrés	
1. Développement embryonnaire : morphogène et organogenèse	13
a. Les quatre premières semaines de développement	13
b. Morphogenèse du pôle céphalique	16
c. Développement des membres supérieurs et inférieurs	19
d. Stades de Carnegie	21
e. Anomalies de développements et retard de croissance	28
2. Développement fœtal : maturation des organes.....	29
a. Développement des organes génitaux.....	29
b. Evolution et croissance du pôle céphalique	30
3. Méthodes d'estimation de l'âge gestationnel	31
a. Paramètres utilisés en biométrie fœtale.....	32
b. Suivi de croissance : tables de biométries et formules de détermination de l'âge gestationnel	34
c. Comparaison des divers examens complémentaires.....	38
Partie 2 : Cas clinique.	
1. Analyse macroscopique à la loupe binoculaire	41
a. Présentation et description macroscopique des 4 fœtus	41
b. Bilan de l'analyse macroscopique	49
2. Investigation complémentaire et acquisition au CBCT	52
a. Rappels sur le CBCT	52
b. Résultats des acquisitions des divers fœtus.....	55
3. Résultats d'estimation de l'âge.	63
Conclusion :	65
Annexes :	66

Introduction :

En médecine légale et judiciaire, l'expertise thanatologique autorise la possibilité d'être confronté à des missions d'identifications évaluatives sur des nouveaux nés ou des fœtus. Que la cause de la mort soit naturelle ou commise par un tiers, deux principales questions vont émerger. Quel âge à ce fœtus ou ce nouveau né ? Est-il né viable ?(1)

Pour répondre à ces questions, le médecin légiste, suite à l'acte thanatologique autopsique pour déterminer la cause médicale et médico légale de décès, peut faire appel à l'imagerie médicale, pour compléter une mission d'anthropologie médico-légale.

En France, le fœtus et l'embryon ne disposent pas de statut juridique, ils sont considérés comme des « choses ». En effet, pour prétendre à un statut juridique, il faut être né viable et vivant. Un enfant est considéré comme viable lorsqu'il a atteint 22 semaines d'aménorrhée ou un poids supérieur ou égal à 500 grammes. Dès lors qu'il remplit une de ses conditions et qu'il naît vivant, il obtiendra un statut juridique. (2)

Pour estimer l'âge d'un embryon ou d'un fœtus, il est d'usage de mesurer des paramètres anthropométriques afin de les comparer à des courbes de croissance. Classiquement le paramètre le plus utilisé est la longueur crânio-caudale car elle est mesurable et représentative à tous les stades de développement de l'embryon ou du fœtus. D'autres paramètres peuvent être utilisés chez les fœtus, comme la longueur fémorale ou le diamètre bipariétal. Lors d'une grossesse, ces paramètres sont relevés par examen échographique car il a l'avantage d'être un examen d'imagerie non irradiant. En médecine médico-légale, le médecin légiste peut faire appel à des examens radiographiques car ils sont plus précis pour effectuer les mesures anthropométriques ou à des mesures directs sur des os secs.

Récemment, une mission judiciaire d'identification médico-légale de 4 échantillons, a été confiée au Dr Bou. Il devait affirmer ou infirmer l'origine humaine de ces derniers et estimer leur âge. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'intérêt de l'utilisation du cone beam computed tomography pour compléter l'examen macroscopique de notre étude anthropométrique de ces 4 embryons et/ou fœtus.

Pour répondre à cet objectif, nous allons dans une première partie énumérer les mécanismes de morphogenèse et d'organogenèse des vertébrés, de la phase embryonnaire à la phase fœtale ; ainsi que les différents examens permettant d'estimer l'âge gestationnel. Dans une seconde partie, nous présenterons et détaillerons notre étude anthropométrique composée d'une analyse macroscopique suivie d'une analyse radiologique par acquisition au cone beam computed tomography.

Partie 1 : Morphogenèse et organogenèse chez les vertébrés.

Les vertébrés regroupent les êtres vivants ayant les caractéristiques suivantes : une symétrie bilatérale, un squelette interne articulé autour d'une colonne vertébrale centrale abritant la moelle épinière, un crâne protégeant l'encéphale, au maximum deux paires de membres locomoteurs, une bouche généralement munies de deux mâchoires. (3)

Les premiers stades de l'embryogenèse sont similaires pour tous les vertébrés : tout commence par la fécondation, l'œuf fécondé va ensuite subir des divisions cellulaires c'est la segmentation, qui aboutira à la formation du blastula.

Le blastula va ensuite subir des remaniements spatiaux conduisant à la mise en place de différents feuilletts embryonnaires c'est la phase de gastrulation. Les feuilletts embryonnaires seront à l'origine des différents organes. Après ce stade, chaque espèce va dès lors se différencier, avec la mise en place du système nerveux central (phase de neurulation). (4,5)

Pour l'être humain, la grossesse se décompose en 3 périodes de développement :
- la période de l'œuf qui commence lors de la fécondation jusqu'à la fin de la 3^{ème} semaine
- la période embryonnaire, de la 4^{ème} semaine à la fin de la 8^{ème} semaine de développement
- la période foétale, du début du 3^{ème} mois à la naissance.

Nous regrouperons les deux premières périodes, de l'œuf et embryonnaire dans un premier chapitre, puis nous aborderons dans un second temps la période foétale.

1. Développement embryonnaire : morphogène et organogène

a. Les quatre premières semaines de développement

La première semaine de développement débute par la rencontre de l'ovule et du spermatozoïde, c'est la fécondation. Durant les premières heures, un clivage cellulaire s'effectue, donnant naissance aux blastomères. Après multiplication cellulaire, l'amas des blastomères forme la morula lors du 4^{ème} jour.

Les blastomères commencent rapidement à exprimer une polarité interne-externe : les blastomères centraux font partie de l'amas cellulaire interne, à l'origine de l'embryon ; tandis que les blastomères externes forment le trophoblaste, qui sera la source d'une partie du placenta.

Dès le 5^{ème} jour, la morula peut absorber des liquides grâce à la perméabilité du trophoblaste, ce qui forme une cavité appelée cavité du blastocyste ; l'amas cellulaire interne est alors refoulé d'un côté de la cavité, ce côté devient alors le pôle embryonnaire du blastocyste.

Parallèlement à ces phénomènes de clivage et de cavitation, l'œuf subit également une migration qui le transporte de la trompe utérine, lieu de la fécondation, jusqu'à l'utérus, lieu de l'implantation, où le blastocyste s'implante dans l'endomètre à la fin de la première semaine de développement. (4) (**Figure 1**)

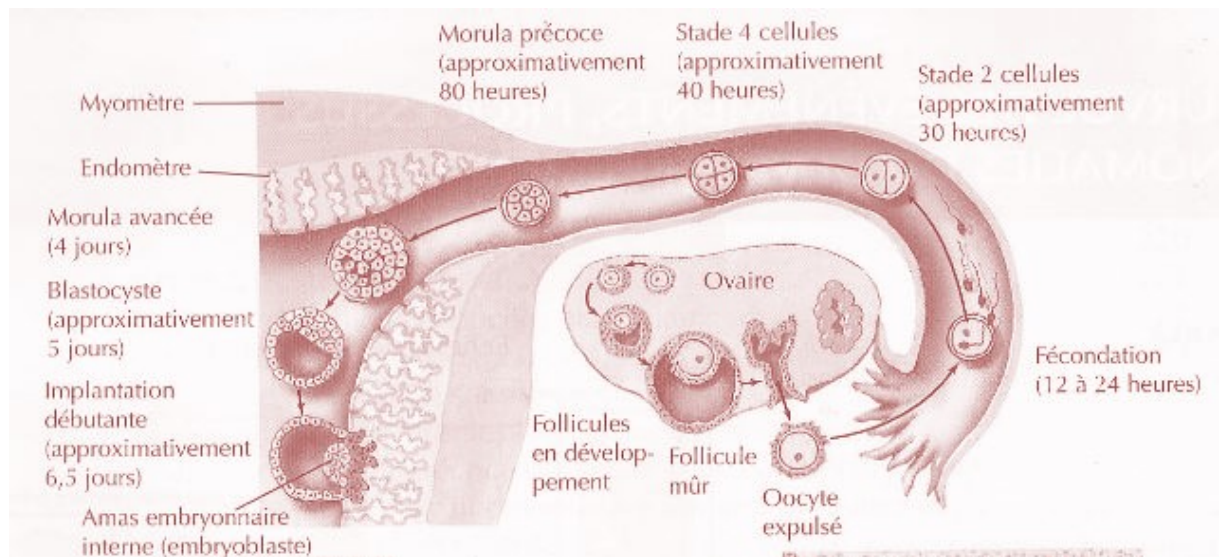


Figure 1 : Illustration de la première semaine de développement. Atlas d'embryologie humaine.

Lors de la deuxième semaine de développement, l'embryoblaste situé au niveau du pôle embryonnaire se scinde en 2 couches cellulaires distinctes. Dès le 8^{ème} jour, il est possible de distinguer l'épiblaste, couche externe ou supérieure et l'hypoblaste, couche interne ou inférieure.

Cette scission de l'embryoblaste marque le passage du blastocyste au stade de disque embryonnaire didermique ; elle marque aussi l'établissement d'un axe dorso-ventral primitif. Le disque embryonnaire didermique est bordé par la cavité amniotique, du côté de l'épiblaste et la vésicule ombilicale, du côté de l'hypoblaste. Au milieu de la deuxième semaine, un nouveau tissu se répand, le mésoderme extra-embryonnaire pour donner naissance à la cavité chorionique. (4)(Figure2)

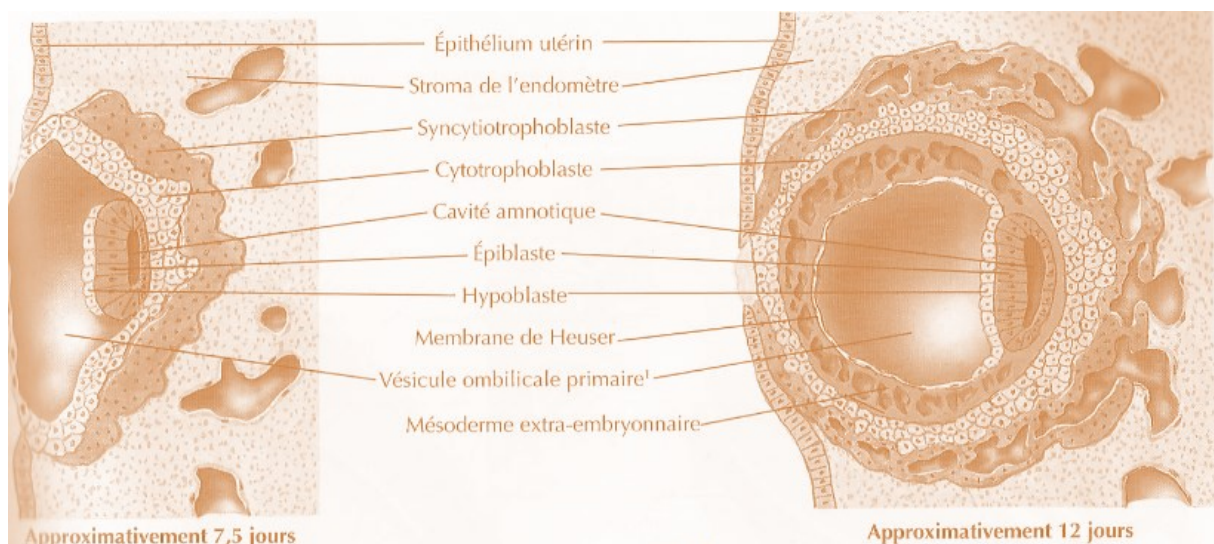


Figure 2 : Illustration de la seconde semaine de développement. Atlas d'embryologie humaine.

Le début de la troisième semaine de développement commence par l'apparition de la ligne primitive située au niveau de l'axe médian du disque embryonnaire. Il s'agit d'un épaissement marqué d'un sillon médian ; au fil des jours, ce sillon s'allonge le long de l'axe cranio-caudal.

La ligne primitive est le point de départ du phénomène de gastrulation qui permet la mise en place des trois feuilletts embryonnaires, et la transition de l'embryon au stade embryonnaire tridermique.

Au cours de la gastrulation, les trois feuilletts embryonnaires se mettent en place grâce à certaines cellules épiblastiques qui subissent des transformations cellulaires ainsi qu'une migration à travers la ligne primitive. Au contact de ces cellules épiblastiques « transformées », l'hypoblaste disparaît et est remplacé par l'endoderme définitif.

Lors de leur migration à travers la ligne primitive, quelques cellules épiblastiques divergent dans l'espace entre l'épiblaste et l'endoderme définitif, pour donner naissance au mésoderme intra-embryonnaire. Enfin, les dernières cellules de l'épiblaste qui n'ont pas migré dans la ligne primitive, finissent par former l'ectoderme.

L'apparition de la ligne primitive permet également de définir les principaux axes du corps. Les trois feuilletts embryonnaires sont les points de départ de l'élaboration des organes. Durant la troisième semaine, l'ectoderme se différencie et donne naissance à la plaque neurale, lieu précurseur de la formation du système nerveux central.(4)(Figure 3)

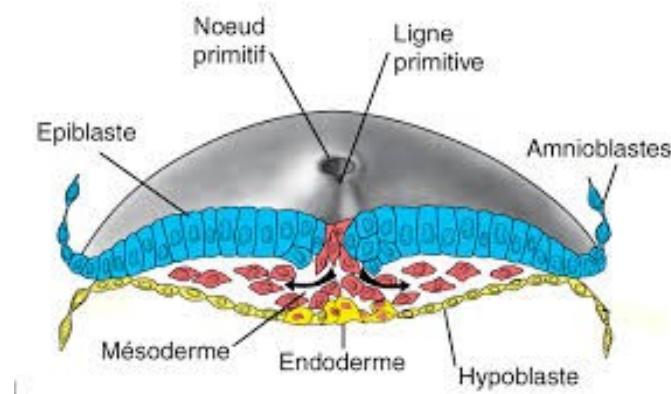


Figure 3 : Illustration du phénomène de gastrulation durant la troisième semaine de développement. Sources Dr BOU.

Durant la quatrième semaine, la neurulation permet la transformation de la plaque neurale en tube neural, ce dernier est à l'origine de l'encéphale, de la moelle épinière et des cellules des crêtes neurales, qui migreront et seront à l'origine de plusieurs structures.

De plus, durant cette quatrième semaine, le disque embryonnaire va subir une croissance différentielle avec un accroissement de sa longueur, ce qui conduit à un plissement du disque embryonnaire. Suite au plissement, les différents feuilletts du disque embryonnaire vont entrer en

contact entre eux et fusionner sur la ligne médiane et ventrale, avec leurs feuilletts hétérolatéraux. A la fin de la quatrième semaine, nous sommes en présence d'un embryon avec une forme corporelle tridimensionnelle qui va débiter sa morphogénèse. (4)(Figure 4)

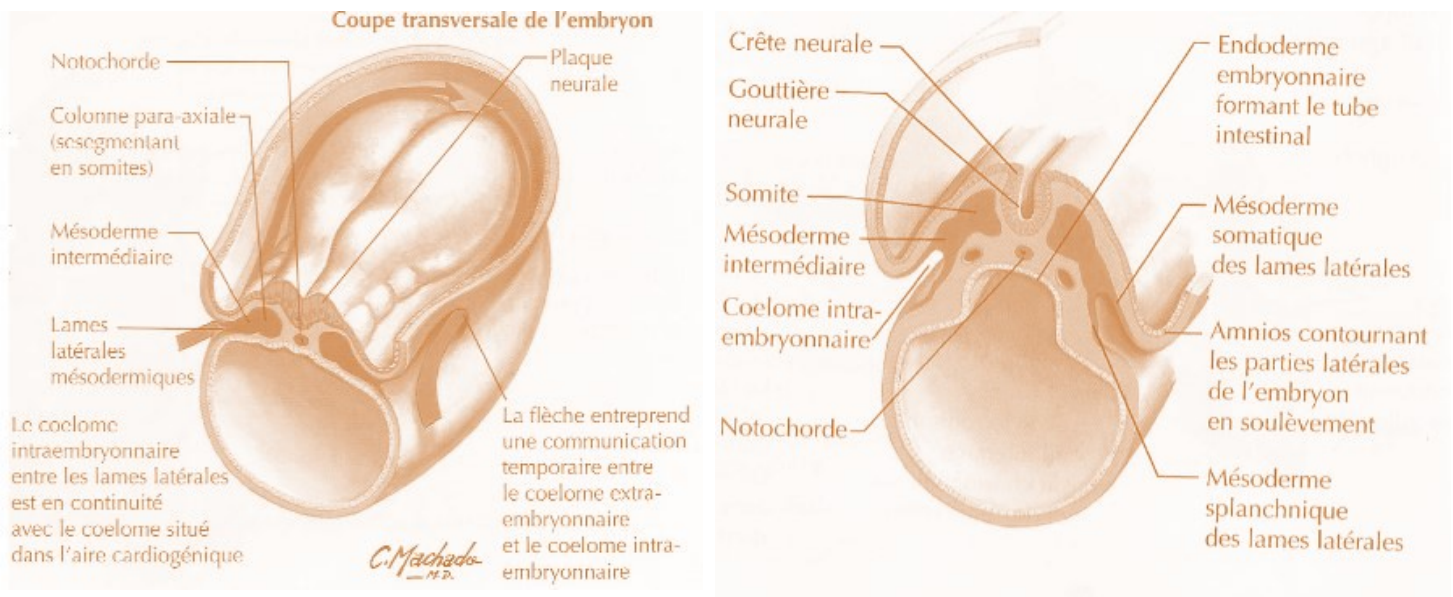


Figure 4 : Illustration du phénomène de neurulation durant la quatrième semaine de développement. Atlas d'embryologie humaine.

b. Morphogénèse du pôle céphalique

- Mise en place de l'appareil pharyngé

Le développement des organes de la face se fait grâce à l'appareil pharyngé, duquel dériveront les bourgeons primitifs, qui seront à l'origine de la bouche et du nez. L'oreille et l'œil vont se développer à partir de placodes.

L'appareil pharyngé, point de départ du développement du tiers inférieur de la face et du cou, se met en place entre la quatrième et la cinquième semaine de développement. (Figure 5).

Son origine est mixte : les six paires d'arcs pharyngés dérivent du mésoderme, les poches pharyngées sont d'origine endodermiques et les fentes pharyngées proviennent de l'ectoderme. Chaque arc pharyngé va donner naissance à un squelette cartilagineux et à des muscles, innervés par les nerfs crâniens correspondant. Le premier arc donnera naissance aux cinq bourgeons primaires de la face, ils fusionneront à partir de la sixième semaine de développement pour donner naissance au stomodeum et aux fosses nasales. (5)

La face humaine se forme entre la quatrième et la dixième semaine de développement par la fusion des cinq bourgeons faciaux : un bourgeon fronto-nasal, deux bourgeons maxillaires et deux bourgeons mandibulaires.

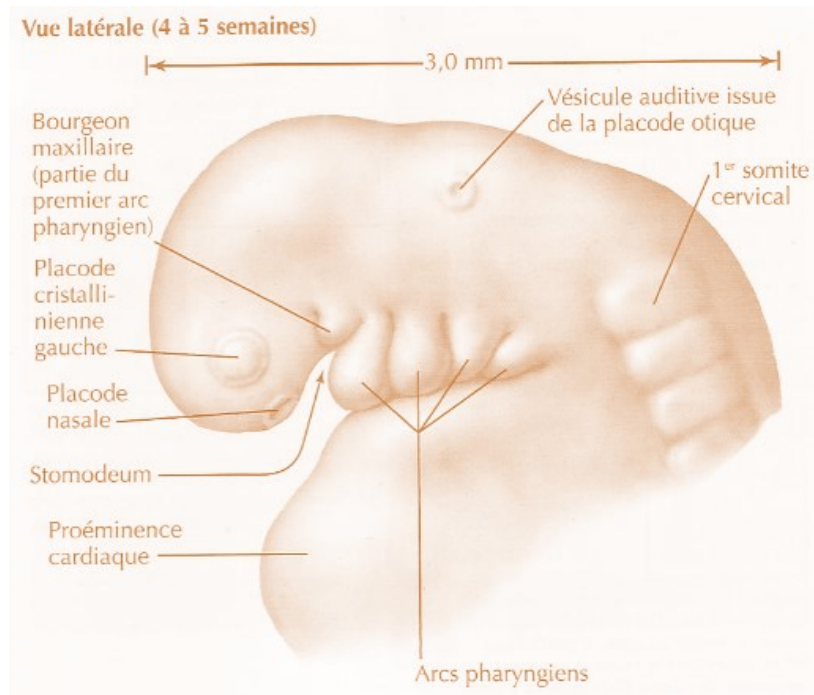


Figure 5: Illustration de la mise en place de l'appareil pharyngé durant la quatrième et cinquième semaines de développement. Atlas d'embryologie humaine.

- Formation de la bouche et du nez

Au cours de la quatrième et de la cinquième semaine de développement, la dépression intermandibulaire se comble afin que les deux bourgeons mandibulaires puissent entrer en contact et fusionner, ils sont à l'origine de l'ébauche de la lèvre inférieure. C'est aussi durant la cinquième semaine, que la membrane oro-pharyngienne se rompt pour préfigurer une large bouche embryonnaire. La bouche se réduira pour atteindre sa largeur finale au cours du deuxième mois. (4)

Parallèlement à la mise en place de l'ébauche de la bouche, pendant la cinquième semaine, deux épaissements ectodermiques apparaissent sur le bourgeon fronto-nasale, ce sont les placodes olfactives ; en s'invasant durant la sixième semaine, ces placodes olfactives séparent de chaque côté le bourgeon fronto-nasal en deux bourgeons nasaux, latéral et medial.

Au cours de la sixième semaine, les bourgeons nasaux médiaux fusionnent entre eux pour donner le dos du nez et le septum nasal ; les bourgeons nasaux latéraux s'accroissent et rejoignent les bourgeons maxillaires pour former le massif médian. Ce dernier est à l'origine du palais primaire, de la partie moyenne du nez, du philtrum et du bloc incisif supérieur. (4,5)(Figure 6)



Figure 6 : Photos chronologiques de la formation de la bouche et du nez à partir des bourgeons de la face. Page 21.23.25.27 de « the anatomy of the human embryo » de G. STEDING.

- Formation de l'œil :

L'œil est issu de plusieurs feuilletts embryonnaires : ectoderme, mésoderme, endoderme et cellules des crêtes neurales.

Lors du 24^{ème} jour, il est possible d'identifier une vésicule optique ayant pour origine le prosencéphale (cerveau antérieur) qui évoluera en cupule optique le 31^{ème} jour. Parallèlement à ce phénomène, au niveau de l'ectoderme, une placode cristallinienne se met en place lors du 28^{ème} jour, elle s'invaginera et formera la cupule cristallinienne pour enfin s'isoler en vésicule cristallinienne lors du 33^{ème} jour. Cette vésicule se différenciera pour aboutir à la formation du cristallin à partir du 39^{ème} jour.

Au niveau de la cupule optique, deux parois se forment pour donner naissance à la rétine neurale et à la rétine pigmentaire. Durant le 33^{ème} jour, la mélanine apparaît au niveau de la rétine pigmentaire, pour donner sa coloration à l'œil. Les paupières commencent à se développer à partir du 44^{ème} jour pour ensuite se fermer durant la 8^{ème} semaine de développement. Les paupières resteront fermées de la 8^{ème} semaine de développement au 5^{ème} mois. (4)

- Formation de l'oreille :

L'oreille est d'origine mixte : l'oreille interne dérive d'un renflement ectodermique appelé placode otique, tandis que les oreilles moyenne et externe dérivent de l'appareil pharyngé.

L'oreille interne se développe dès la fin de la troisième semaine à partir de la placode otique, celle-ci évoluera durant la quatrième semaine en cupule puis vésicule otique pour finalement aboutir à la formation du conduit cochléaire lors de la cinquième semaine.

L'oreille moyenne est constituée d'une cavité tympanique et d'une trompe auditive, issue de la première poche pharyngée ; elle comprend aussi les osselets de l'ouïe dérivant du premier et deuxième arcs pharyngés. (4,5)

L'oreille externe est composée du pavillon, qui lui permet de capter les sons de l'extérieur, et du conduit auditif externe, qui permet de conduire les sons externes jusqu'au tympan. (6) Elle trouve son origine dans la première fente ectodermique de l'appareil pharyngé. Le pavillon se forme dès le trente-troisième jour, avec la mise en place de six bourgeons épiblastiques appelés colliculi de HIS, sur les premiers et deuxièmes arcs pharyngés. Ces derniers atteignent leur taille maximale lors du quarante-quatrième jour, puis ils entameront une fusion et une migration dorso-crâniale. C'est finalement lors de la vingtième semaine, que le pavillon aura atteint sa forme définitive, cependant sa croissance continuera bien après la naissance. (4,7) Le conduit auditif externe se forme à partir du premier sillon pharyngé, il sera oblitéré jusqu'à la sixième semaine. (4,5)

c. Développement des membres supérieurs et inférieurs

La morphogenèse des membres se déroule entre la 4^{ème} et la 8^{ème} semaine, à partir de bourgeons composés de mésoderme et d'ectoderme, apparaissant sur la paroi latérale du corps. Les membres inférieurs se développent secondairement par rapport aux membres supérieurs, en effet, la morphogenèse des membres suit un gradient de croissance crânio-caudal et proximo-distale.(5)

Après l'apparition du bourgeon au 24^{ème} jour pour le membre supérieur et au 28^{ème} jour pour l'inférieur, celui va s'aplatir et évoluer en palette, puis vont apparaître des rayons interdigitaux qui préforment les futurs doigts ou orteils. Au niveau de ces rayons, un phénomène d'apoptose va permettre d'individualiser des sillons interdigitaux afin de séparer les futurs doigts ou orteils.

Aux environs du 47^{ème} jour, une flexion ventrale va être initiée au niveau du membre supérieur ainsi qu'une plicature laissant apparaître l'articulation du coude, il en sera de même au niveau du membre inférieur. Enfin au 56^{ème} jour, toutes les régions des membres sont distinctes. (4) (**Figure 7, 8 et 9**)

C'est durant le 3^{ème} mois et plus précisément à partir de la 10^{ème} semaine, que les ongles se mettent en place à partir d'un lit primitif constitué d'épiderme, pour ensuite donner une matrice qui est l'ébauche de l'ongle qui subira ensuite un processus de kératinisation.

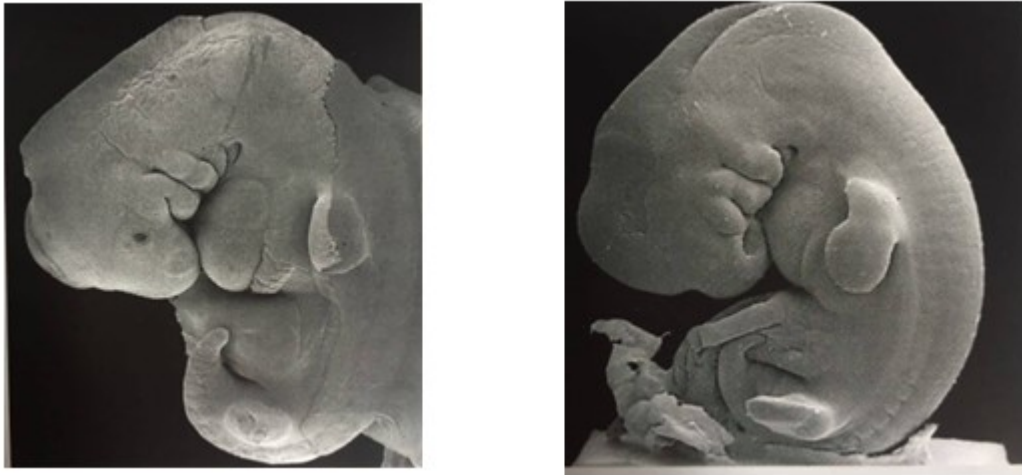


Figure 7 : Développement et évolution des membres supérieurs et inférieurs. Page 9 et 11 de « the anatomy of the human embryo » de G. STEDING.

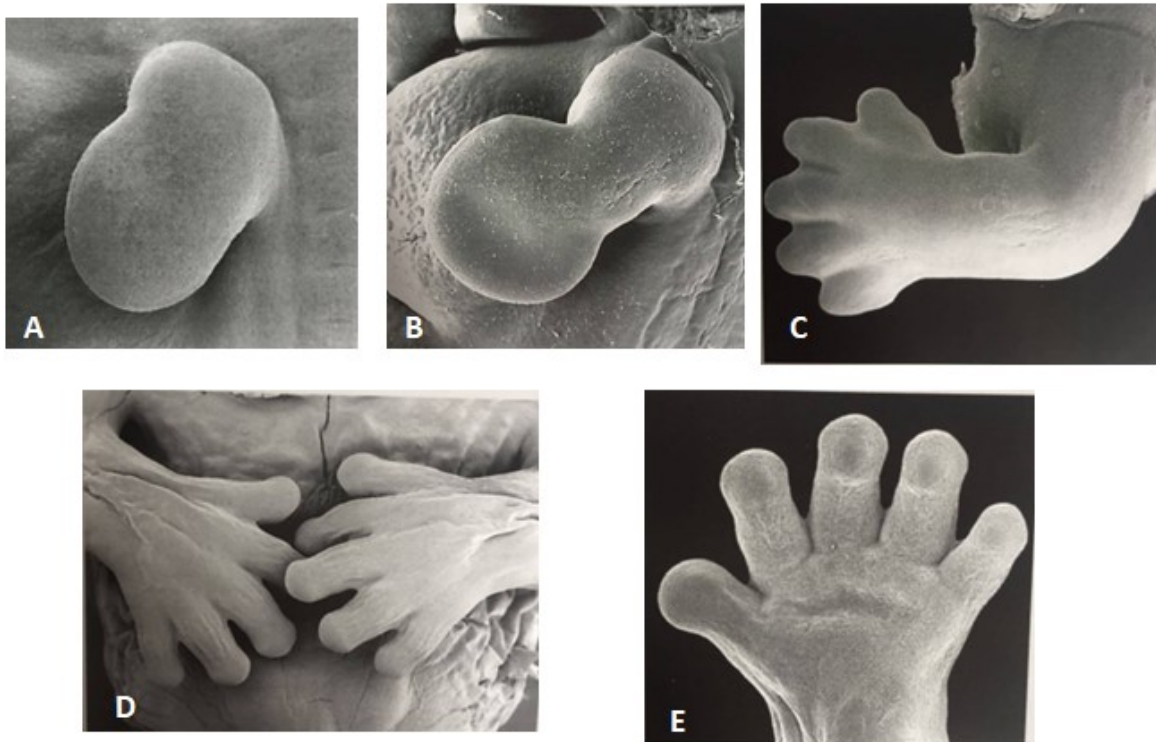


Figure 8 : Les différents stades d'évolution du membre supérieur A) Stade bourgeon ; B) Stade palette ; C) Sillons interdigitaux ; D) Présence des doigts, les mains se joignent et se touchent ; E) Mains avec les coussinets tactiles. Page 71.73.75.77 de « the anatomy of the human embryo » de G. STEDING.

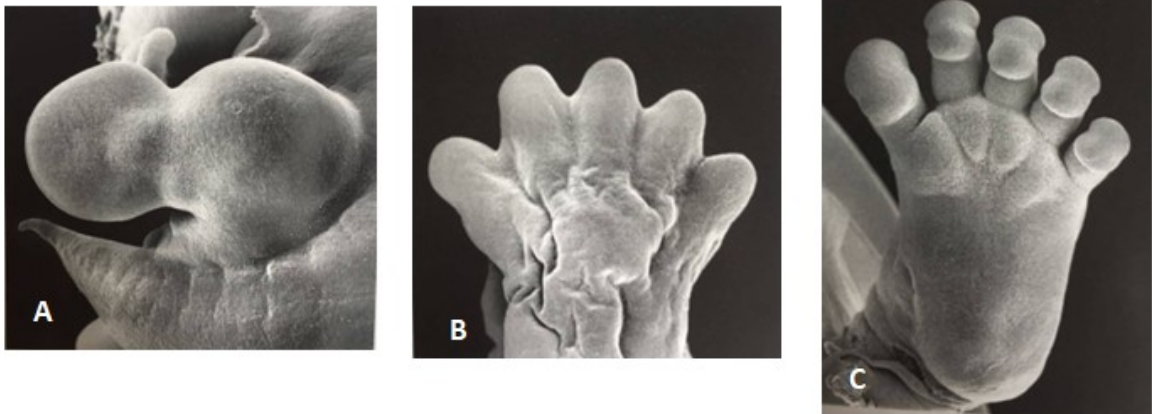


Figure 9 : Les différents stades de développement du membre inférieur. A) Stade palette ; B) Sillons interdigitaux ; C) Pieds avec coussinets tactiles. Page 93.97 de « the anatomy of the human embryo » de G. STEDING.

d. Stades de Carnegie

Les stades de Carnegie sont une classification des stades de développement embryonnaire développée par STREETER en 1942 et complétée par O'RAHILLY et MULLER en 1987. Cette classification a pour but de décrire le rythme de développement de l'embryon en corrélant trois critères principaux d'un embryon : son âge, sa taille et ses caractéristiques morphologiques. Ces stades de Carnegie, permettent ainsi d'estimer l'âge de développement d'un embryon, en comparant sa morphologie et sa taille. Les huit semaines de la période embryonnaire ont été divisées en 23 stades embryonnaires. Chaque stade embryonnaire ou stade de Carnegie regroupent des événements clés du développement de l'embryon. (8) (5)(Figure 10)

La figure 15 est un tableau résumant les grands événements des stades de Carnegie, il est la synthèse d'informations regroupées à partir des ouvrages et sites suivants :

- Embryologie de F. Encha-Razavi et E. Escudier.
- Kyoto Embryos Collection et The Carnegie Staged Embryos du Dr Mark Hill
- www.embryology.ch
- Developmental Stages in Human Embryos: Revised and New Measurements de R. O'Rahilly et F. Muller

Il faut noter que pour les stades 6 à 14, la datation de l'embryon est légèrement sous estimée par le Dr Mark Hill, Encha-Razavi et Escudier tandis qu'elle est légèrement surestimée pour les stades 17 à 23, par rapport à l'article de O'Rahilly et au site embryology.ch. Ainsi pour la datation de l'embryon, ce tableau tient compte d'un tableau du Dr O'Rahilly ; en effet O'Rahilly a participé à l'élaboration de ces stades de développement en 1972 puis qu'il a mis à jour en 2009. Ainsi dans notre étude, nous baserons sur la datation de O'Rahilly.

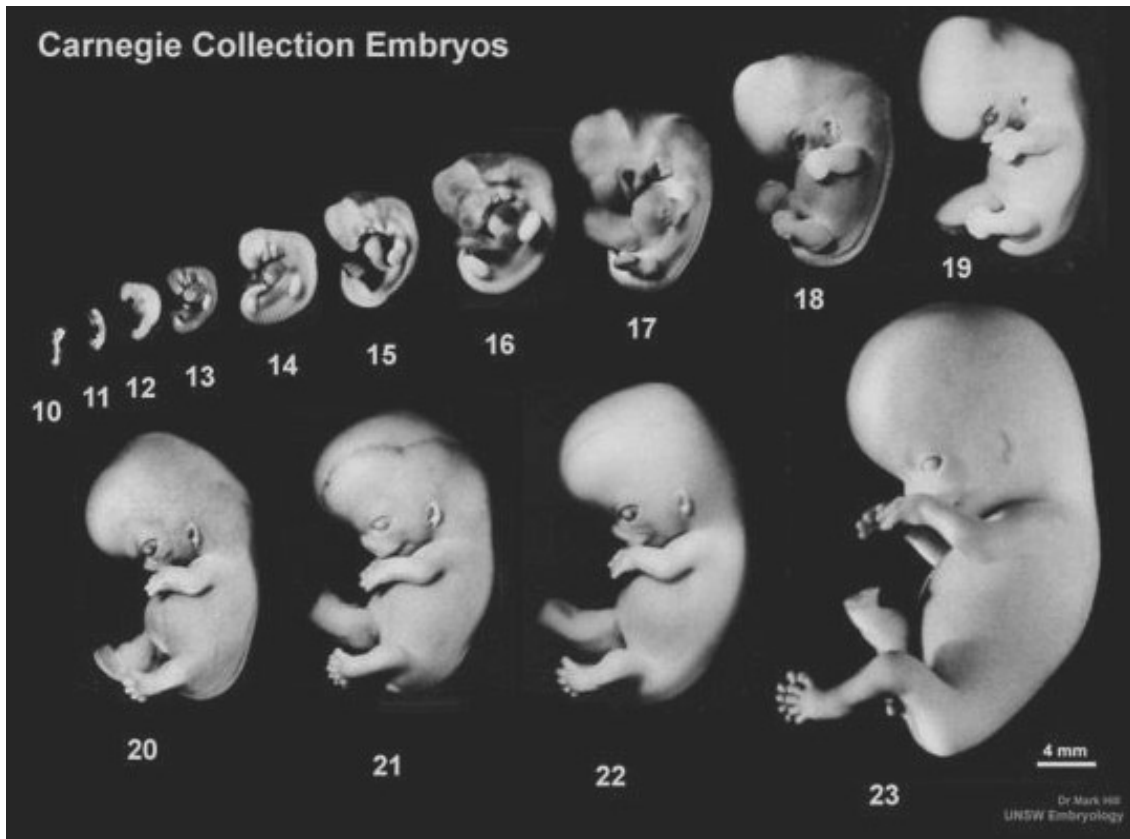


Figure 10 : Illustrations des différents stades de Carnégie, du stade 10 au 23. Image tirée du livre « Carnegie collection embryos » du Dr M. HILL

Nous ne nous attarderons pas sur les 10 premiers stades de Carnégie qui regroupent le développement de l'embryon durant ses quatre premières semaines de développement, car ceci a été développé un peu plus haut dans le chapitre I.a). Cependant, nous détaillerons les faits marquants des stades 11 à 23.(2,6,7)

Stade 11 :

L'embryon mesure entre 2.5 et 4.5 mm pour un âge d'environ 29 jours. Il est incurvé et son neuropore antérieur commence sa fermeture. De plus au niveau de la face, les placodes otiques, ainsi que les vésicules optiques sont formées.

Stade 12 :

L'embryon mesure entre 3 et 5 mm pour un âge situé à 30 jours. Le neuropore antérieure est fermé tandis que le postérieur commence sa fermeture. Au niveau du pôle céphalique, 3 arcs branchiaux sont identifiables. Les bourgeons des membres apparaissent latéralement au tronc.

Stade 13 :

L'embryon mesure entre 4 et 6 mm et il se situe aux environs du 32^{ème} jour. Au niveau de son orientation, l'embryon prend une forme de C et le neuropore postérieur est fermé. Le pôle céphalique compte à présent 4 paires d'arcs branchiaux. Pour la mise en place des membres, celle-ci débute par l'allongement du membre supérieur. **(Figure 11)**

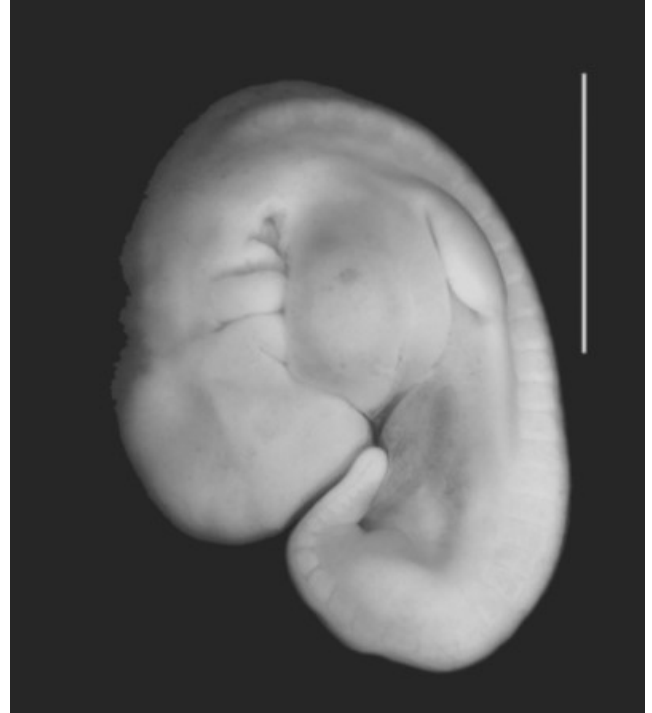


Figure 11 : Embryon stade 13 de Carnegie. Page 7 de « *the anatomy of the human embryo* » de G. STEDING (à gauche) et page 64 de « *Kyoto Embryo Collection* » de M. HILL (à droite).

Stade 14 :

L'embryon mesure entre 5 et 7 mm pour un âge d'environ 33 jours. Ce stade est marqué par le développement des membres supérieurs qui évoluent en palettes et par la présence de cupules optiques, ébauche de l'œil au niveau de la face.

Stade 15 :



Figure 12 : Embryons stade 15 de Carnegie. Page 9 de « *the anatomy of the human embryo* » de G. STEDING (à gauche) et page 92 de « *Kyoto Embryo Collection* » de M. HILL (à droite).

L'embryon mesure entre 7 et 9 mm et est âgé d'environ 36 jours. Au niveau de la face, les vésicules cristalliniennes sont présentes, ainsi que les gouttières nasales. Pour les membres, au niveau supérieur, ils continuent leur évolution, tandis que pour l'inférieur, le développement commence avec un aspect en nageoire. **(Figure 12)**

Stade 16 :

L'embryon mesure entre 8 et 11 mm et son âge est estimé à 39 jours. Au niveau de la face, nous notons l'apparition de la rétine pigmentaire et du bourgeon auriculaire. Pour les membres inférieurs, ils avancent dans leur développement et passent au stade palettes.

Stade 17 :

L'embryon mesure entre 11 et 14 mm à environ 41 jours. Le bourgeon auriculaire a évolué pour préfigurer le pavillon de l'oreille grâce à la fusion de ces 6 renflements. Pour les membres supérieurs, les sillons interdigitaux sont visibles. **(Figure 13)**



Figure 13 : Embryon stade 17 de Carnegie. Page 118 de « Kyoto Embryo Collection » de M. HILL.

Stade 18 :

L'embryon mesure entre 13 et 17 mm et est âgé d'environ 44 jours. Au niveau de la face, et plus particulièrement de l'œil, la paupière est en formation. Les sillons interdigitaux sont dorénavant aussi visibles au niveau des membres inférieurs, tandis que pour les membres supérieurs, des encoches sont présentes entre les doigts.

Stade 19 :

L'embryon mesure entre 16 et 18 mm et a environ 46 jours. Ce stade est marqué par un repli ventral des membres grâce à l'ébauche des articulations coude, épaule, hanche et genou.

Stade 20 :

L'embryon mesure entre 18 et 22 mm, à 49 jours. Le développement des membres continue d'avancer avec un allongement et une flexion des membres supérieurs en position de pronation, pour les membres inférieurs, il y a encore des encoches entre les orteils. Au niveau du crâne, il est possible de visualiser le plexus vasculaire sous la peau. **(Figure 14 A)**

Stade 21 :

L'embryon mesure entre 23 et 24 mm, pour un âge d'environ 51 jours. Les mains se terminent par de doigts longs et distincts tandis que les orteils possèdent des palmures. Les mains et les pieds se rapprochent. **(Figure 14 B)**

Stade 22 :

L'embryon mesure entre 23 et 28 mm, et est estimé à environ 53 jours. Les orteils sont désormais bien distincts. Pour la face, les paupières et les oreilles externes sont développées. **(Figure 14 C)**

Stade 23 :

L'embryon mesure entre 27 et 31 mm pour un âge situé aux environs de 56 jours. L'embryon a terminé son organogenèse, il a un visage avec des caractéristiques humaines. Ses organes génitaux externes sont indéterminés. **(Figure 14 D)**

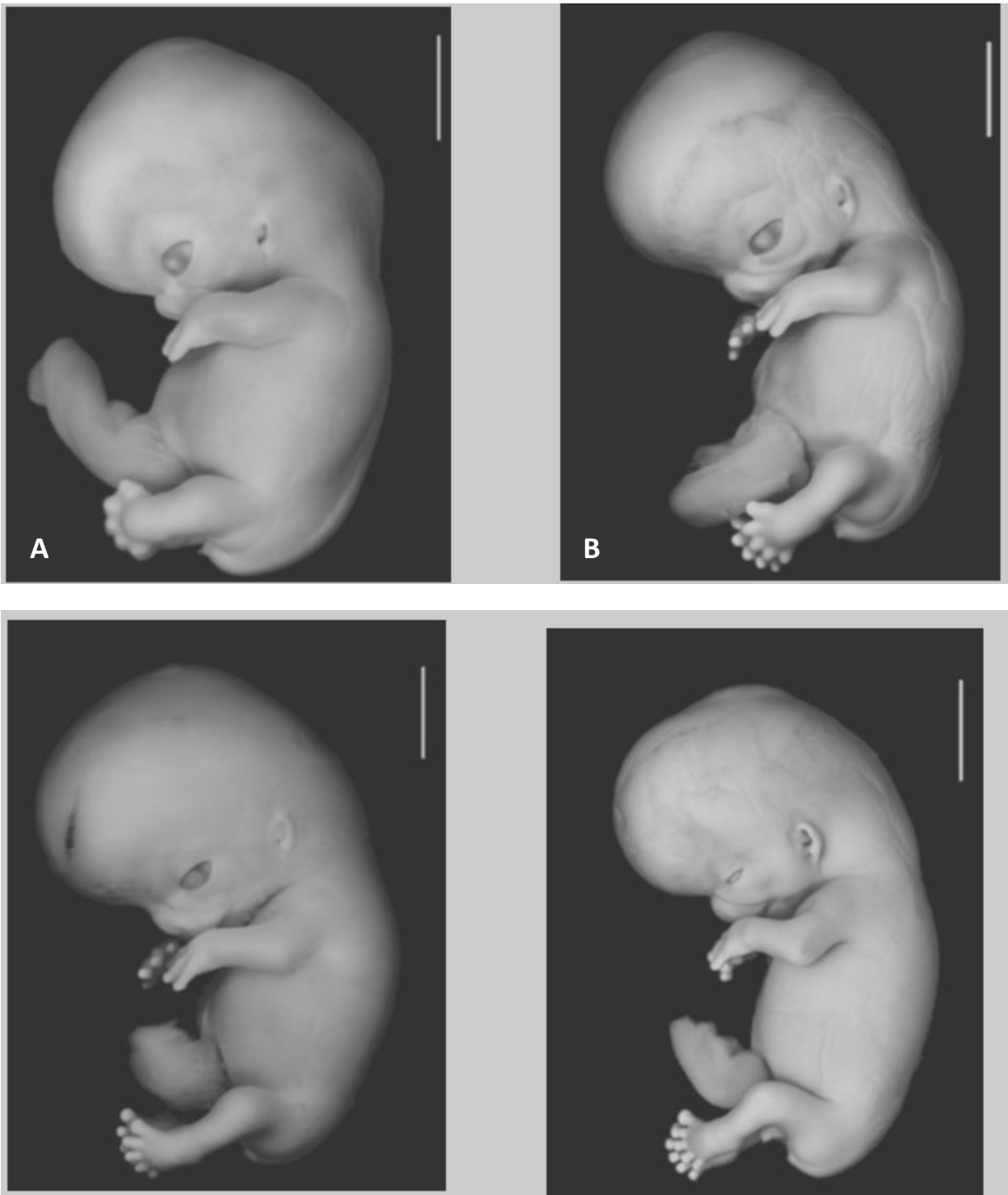


Figure 14 : Evolution de l'embryon du stade 20 au 23 de Carnegie.
A) Stade 20, avec échelle de 4 mm, persistance de palmure entre les orteils.
B) Stade 21, avec échelle de 5mm, le pavillon de l'oreille commence à être formé.
C) Stade 22, avec échelle de 4 mm, les orteils sont séparés, le pavillon de l'oreille est bien individualisé
D) Stade 23, avec échelle de 5mm, embryon avec une apparence humaine : le rapport tête/tronc diminue grâce à l'allongement du tronc. L'oreille a une position latérale par rapport à l'œil, les membres se joignent et se touchent. Pages 154, 165,175, 187 de « Kyoto Embryo Collection » de M. HILL.

Stade	Jours	Taille (mm)	Événements
1	1	0.1-0.15	Fécondation
2	2-3	0.1-0.2	Clivage des blastomères : 2 à 16 blastomères, stade de morula, compaction
3	4-5	0.1-0.2	Formation du Blastocyste libre : 16 à 32 cellules
4	6	0.1-0.2	Début de la nidation
5	7-12	0.1-0.2	Nidation avec modification du trophoblaste, disque embryonnaire didermique
6	16-18	0.2	Mise en place de la ligne primitive
7	18-21	0.4	Gastrulation, Prolongement céphalique
8	21-25	1-1.5	Nœud de hensen, développement de la corde
9	25-27	1.5-2.5	Disque embryonnaire plat. Plaque neurale profonde. Une à trois paires de somites
10	28-30	2-3.5	Embryon rectiligne ou légèrement incurvé. Neuropores antérieur et postérieur largement ouvert. Un à deux arcs branchiaux visibles
11	28-30	2.5-4.5	Embryon incurvé. Neuropore antérieur en voie de fermeture. Placodes otiques présente, vésicules optiques formées.
12	29-31	3-5	Bourgeons des membres supérieurs apparaissent. Neuropore antérieur fermé. Neuropore postérieur en voie de fermeture. 3 paires d'arcs branchiaux visibles. Fossettes otiques présentes.
13	30-33	4-6	Embryon en forme de C. Neuropore postérieur fermé. Bourgeons des membres supérieurs allongés et ébauche des bourgeons des membres inférieurs.. 4 arcs branchiaux. Vésicule otique formée. Placodes optiques distinctes. Appendice caudal présent
14	33-35	5-7	Bourgeons des membres supérieurs en palettes. Cupules optiques présentes
15	35-37	7-9	Palettes membres supérieurs avec sillons interdigitaux. Vésicules cristalliniennes présentes. Gouttières nasales présentes, membres inférieurs en nageoires.
16	37-40	8-11	Palettes au niveau des membres inférieurs, rétine pigmentaire. Bourgeon auriculaires
17	39-42	11-14	Sillons interdigitaux visibles aux membres supérieurs. Début du pavillon de l'oreille. Allongement du tronc.
18	42-45	13-17	Sillons interdigitaux visibles aux membres inférieurs. Epaule visible. Paupière en formation. Encoche entre les doigts. Mamelons visibles.
19	45-47	16-18	Orientation ventrale des membres. Le tronc s'allonge. Hernie dans le cordon
20	47-50	18-22	Allongement et flexion des membres supérieurs. Doigts distincts avec palmures. Encoche entre les orteils. Plexus vasculaire et crânien apparaît
21	49-52	22-24	Rapprochement mains et pieds. Doigts distincts et longs. Orteils distincts avec palmures.
22	52-55	23-28	Orteils distincts. Paupières et oreilles externes développées
23	53-58	27-31	Caractéristiques humaines du visage. Organes génitaux externes indéterminés. Régression de l'appendice caudal

Figure 15 : Tableau des événements majeurs des stades de Carnegie.

e. Anomalies de développements et retard de croissance

La tératologie est la « science qui traite des anomalies et des malformations liées à une perturbation du développement embryonnaire ou fœtal ». (9)

Lorsque l'embryogenèse est perturbée par une mutation génétique et/ou un agent tératogène, la croissance de l'embryon se fait de façon anormale avec apparition d'anomalies congénitales structurelles, c'est la dysmorphogenèse, ceci peut aboutir à la malformation ou à la déformation d'une structure ou d'un organe.

Il existe 3 grands principes de tératologie qui ont une corrélation directe avec les malformations congénitales humaines :

- Le principe de période critique :

La période critique se définit par le moment où une structure embryonnaire est sensible à un agent tératogène, en général cette période critique correspond à une période où la structure embryonnaire se différencie et se développe activement.

Ainsi la période critique de l'embryon correspond aux huit premières semaines de développement ; en effet c'est durant ces premières semaines que l'organogenèse se déroule ; toutes les structures embryonnaires se mettent en place, se développent, l'embryon est donc le plus vulnérable aux agents tératogènes durant cette période.

- Le principe de dose critique :

Chaque agent tératogène est corrélée à une courbe de réponses doses-dépendantes obtenues à partir d'études tératologiques, c'est-à-dire qu'en fonction de la dose reçue, l'effet pourra être sans gravité, avec des conséquences mineures ou majeures et parfois même létale.

- Le principe de la génétique :

Il existe une constitution génétique qui fait varier la sensibilité à un agent tératogène. La susceptibilité de développer des malformations congénitales suite à l'exposition à un agent tératogène est donc différente d'un embryon à l'autre, en fonction de sa génétique. (4)

Pour citer quelques exemples de dysmorphogenèse tératogènes, il y a le syndrome alcoolique fœtale, l'alcool est un agent tératogène qui traverse la barrière placentaire, surtout lorsqu'il est absorbé durant la période embryonnaire, ceci entraîne une microcéphalie accompagnée d'un défaut de croissance de toute la face.

Dans les années 1960, le thalidomide est prescrit aux femmes enceinte pour soulager leurs nausées, or il s'avère que ce médicament est un puissant agent tératogène qui affecte le développement des membres.

Certaines mutations génétiques ou exposition à des agents tératogènes peuvent entraîner des malformations congénitales trop importantes et donc létales.

2. Développement fœtal : maturation des organes

La période fœtale est la dernière période de développement d'un individu, elle s'étend du 3^{ème} mois de grossesse à la naissance, habituellement à 38 semaines. Elle fait suite à la période embryonnaire durant laquelle la majorité des organes se sont mis en place, or ils ne sont pas encore fonctionnels. Ainsi la période fœtale est une période de maturation et de croissance des organes et des structures. La croissance se fera par l'apport de nutriments via le placenta de la maman. (4)

a. Développement des organes génitaux.

La détermination du sexe se fait dès la fécondation, c'est le sexe chromosomique. Selon les gènes portés par ces chromosomes sexuels, une cascade d'événements va se mettre en place afin d'aboutir à un sexe phénotypique.

Dès la 3^{ème} semaine, dans sa région terminale, l'embryon possède un cloaque qui réunit les canaux intestinal et urogénital. Au cours de la 4^{ème} à la 6^{ème} semaine, ce cloaque, se segmente en deux parties : le sinus uro génital et le rectum.

Les organes génitaux internes vont se différencier à partir de structures dérivant du mésoblaste intermédiaire : les canaux de Wolf et les canaux de Muller.

Pour le sexe masculin, il y a une régression des canaux de Muller au cours de la 8^{ème} et 10^{ème} semaine, tandis que les canaux de Wolf vont évoluer sous l'effet de la testostérone pour aboutir à la formation du canal déférent, de la vésicule séminale et de l'épididyme.

Pour le sexe féminin, c'est l'inverse, dès la 7^{ème} semaine, il y a un maintien des canaux de Muller qui donneront naissance aux trompes utérines à l'utérus et à une partie du vagin.

Les organes génitaux externes ont une origine commune pour les deux sexes ; lors de la 5^{ème} et 6^{ème} semaine, la membrane cloacale est bordée de replis mésenchymateux appelés plis cloacaux qui après fusion, aboutissent à la formation du tubercule génital, ce dernier donnera à terme le scrotum ou les lèvres.

Durant la 7^{ème} semaine, la membrane cloacale est scindée en deux membranes : anale et urogénitale. Latéralement à la membrane urogénitale, les plis labioscrotaux vont se mettre en place. (10) Jusqu'à la 12^{ème} semaine, les aspects des organes génitaux externes restent identiques, il est alors difficile de déterminer le sexe du fœtus. (4)

Pour le sexe féminin, le tubercule génital donne naissance aux clitoris, les plis urogénitaux et labioscrotaux donnent respectivement les petites et grandes lèvres. Pour le sexe masculin, dès le 3^{ème} mois, la sécrétion d'androgènes permet la croissance du tubercule génitale qui donne le pénis et la fusion des bourrelets labioscrotaux pour aboutir au scrotum.

La mise en place des organes génitaux externes est hormono-dépendante, une quantité suffisante d'androgène est nécessaire entre la 8^{ème} et la 14^{ème} semaine de développement, cette période se nomme « fenêtre de programmation de la masculinisation ». (10) (**Figure 16**)

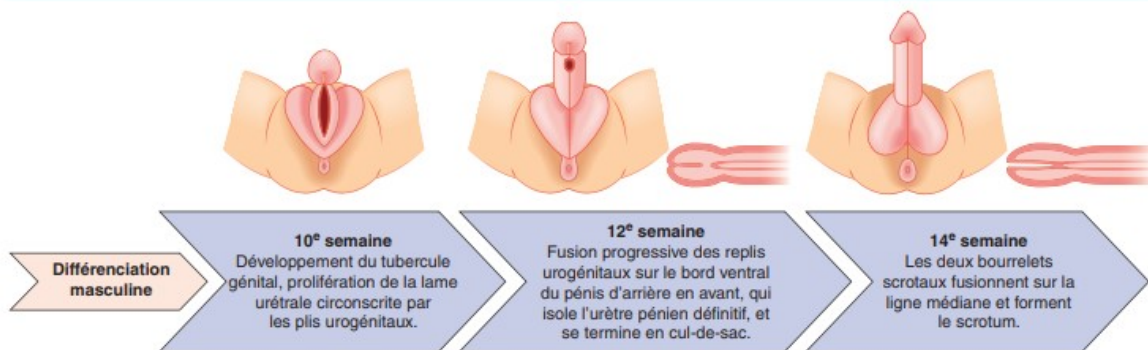
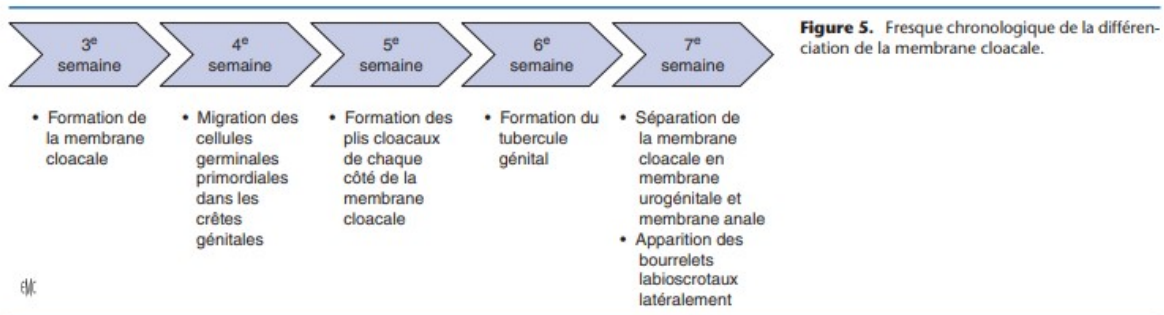


Figure 16 : La différenciation des organes génitaux externes. Embryologie humaine. LARSEN

b. Evolution et croissance du pôle céphalique

Comme vu précédemment, l'œil et l'oreille se mettent en place à partir de placodes durant la période embryonnaire. Cependant ces deux organes des sens continuent de se développer durant la période fœtale.

Pour l'œil, la pupille va se mettre en place aux alentours du 6^{ème} mois, et les paupières qui étaient fusionnés dès la 8^{ème} semaine, vont se séparer entre le 5^{ème} et 7^{ème} mois.

Pour l'oreille externe, le pavillon est formé à la fin de la période embryonnaire, cependant celui-ci continuera de migrer vers une position plus crâniale et latérale jusqu'à la 20^{ème} semaine. Pour ce qui est de l'oreille interne et moyenne, ce n'est qu'au 9^{ème} mois que les osselets acquièrent leurs caractères fonctionnels entre eux.

Pour ce qui est de la bouche, celle-ci est mise en place à la fin de la 5^{ème} semaine, et c'est dès la 6^{ème} semaine que les dents commencent à se former. Tout débute par la mise en place de la lame dentaire, crête d'épiderme qui apparaît au niveau des mâchoires supérieure et inférieure.

Durant la 7^{ème} semaine, les 20 lames dentaires préfigurant les 20 dents déciduales, s'enfoncent dans le mésenchyme sous-jacent pour former les bourgeons dentaires. Dès la 8^{ème} semaine, le bourgeon dentaire évoluera en cupule puis en cloche pour aboutir au futur organe dentaire. Tout commence lorsque le bourgeon dentaire évolue en cupule ; la lame dentaire épithéliale est alors composée de 3 couches, les épithélium adamantins interne et externe séparés par une couche

cellulaire appelée réticulum étoilé. Ces 3 couches épithéliales recouvrent un renflement mésenchymateux sous jacent appelée papille ecto-mésenchymateuse, cette dernière est le siège de la vascularisation et de l'innervation de la future dent. Vient ensuite le stade de cloche où la lame dentaire a évolué en 4 couches épithéliales qui englobent de part et d'autre la papille ecto-mésenchymateuse. C'est à partir du stade de cloche, aux environs de la 14^{ème} semaine, que la dentine va commencer à se former au niveau de la partie externe de la papille ecto-mésenchymateuse ; ensuite l'émail va se former à partir de l'épithélium adamantin pour finalement former la dent déciduale. (4)

3. Méthodes d'estimation de l'âge gestationnel

La détermination de la date de début de grossesse ou de l'âge gestationnel est primordiale pour un suivi adapté de la grossesse, elle permet d'évaluer la croissance fœtale, de pouvoir appréhender une anomalie et d'envisager le terme de la grossesse. (11)

La date de conception d'un enfant est souvent difficile à déterminer car les périodes d'ovulation sont différentes d'une femme à l'autre ; mis à part dans le cas de procréation médicale assistée où la fécondation est contrôlée par un médecin.

L'âge gestationnel peut être exprimé de deux manières. Lorsqu'il est déterminé d'après la date des dernières menstruations de la mère, il s'exprime en semaines d'aménorrhées. En utilisant l'hypothèse que l'ovulation se produit 14 jours après les dernières menstruations pour une femme ayant un cycle de 28 jours. En obstétrique, le développement s'exprime de cette manière. Il peut aussi s'exprimer en semaine de gestation dont le point de départ est la date présumée de conception, celle-ci est généralement déterminée par échographie.

Lors du premier trimestre, les paramètres les plus utilisés pour la datation de l'âge gestationnel sont : la longueur crânio caudale, appliquée notamment dans la formule de Robinson, elle est simple et couramment utilisée ; d'autres paramètres peuvent compléter la datation, il s'agit du diamètre bipariétal, du périmètre abdominal et de la longueur fémorale ; mais selon HADLOCK leur utilisation n'est pas supérieure à l'utilisation de la longueur crânio caudale. (12)

En France, le Collège français d'échographie fœtale recommande l'utilisation de la longueur crânio caudale pour déterminer l'âge gestationnel durant le premier trimestre, cependant depuis 2018, l'utilisation de la formule de ROBINSON a été remplacée par le modèle établi par l'étude INTERGROWTH-21st. Cette étude a aussi permis d'établir des courbes de croissance pour évaluer l'évolution des périmètres abdominal et crânien, du diamètre bipariétal et de la longueur fémorale, en fonction de l'âge gestationnel. (13)

a. Paramètres utilisés en biométrie fœtale

La biométrie fœtale a pour objectif l'élaboration de standards de croissance les plus fiables possibles, puis leur utilisation pour évaluer la croissance d'un individu. Généralement, les courbes standards sont réalisées à partir de relevés de paramètres tels que la longueur crânio caudale, périmètres crâniens et abdominal, longueur fémorale, chez des individus d'âge connu afin d'établir une relation entre le paramètre biométrique et l'âge gestationnel. Les modèles de croissance obtenus seront ensuite utilisés pour déterminer l'âge de fœtus, ils permettront aussi de contrôler la croissance tout au long de la grossesse. (12)

Les principaux paramètres utilisés en biométrie portent sur la croissance du crâne, du tronc et la taille de l'embryon ou du fœtus, ceci permet de représenter la croissance staturopondérale.

La longueur crânio caudale.

Aussi appelée longueur vertex-cortex ou « crown rump length » en anglais, la longueur crânio caudale est le paramètre de choix utilisé lors des datations échographiques, elle peut être utilisée dès le premier trimestre. Généralement, elle se mesure en prenant la plus grande longueur embryonnaire sans correction de la courbure naturelle de l'embryon. (12)

Le diamètre bipariétal et périmètre crâniens

Le diamètre bipariétal se définit comme l'endroit où le crâne est le plus large, sur une coupe axiale, il est mesurable à partir de 10 semaines d'aménorrhées ; les curseurs sont placés sur le bord externe de la table osseuse pariétale proximale et sur le bord interne du pariétal distal.

Le périmètre crâniens ou circonférence céphalique se mesure au niveau du contour externe de la calvaria en excluant les tissus mous. (12)

Le diamètre abdominal transverse ou périmètre abdominal

Le périmètre abdominal se calcule à partir du diamètre abdominal transverse et sont liés par un facteur π . Ils se mesurent à partir d'une coupe axiale la plus circulaire possible, transhépatique, perpendiculaire au rachis et à la veine cave inférieure. Les calibreurs sont placés au niveau des contours cutanés. (12)

La longueur fémorale.

La longueur fémorale correspond à la mesure de sa longueur diaphysaire du fémur, ce dernier doit être pris sur une coupe longitudinale de la cuisse et être rectiligne. Les marqueurs doivent être placés à la jonction entre la diaphyse et l'épiphyse. (4)

L'existence d'une croissance différentielle post natale par rapport au sexe est un fait avéré. Cependant, pour l'estimation de l'âge fœtal, il est important de savoir si la croissance des paramètres biométriques décrits ci-dessus, est influencée par le sexe du fœtus.

Pour GUIHARD-COASTA et ses collaborateurs, en 1999, il existe une variation différentielle de ces paramètres en fonction du sexe, cependant celle-ci n'est significative qu'à partir de 20 semaines d'aménorrhées.

Pour le diamètre bipariétal, la croissance serait significativement différente à partir de la 25^{ème} semaine d'aménorrhées, pour le diamètre abdominal transverse la différence sexuelle serait aussi présente mais seulement en fin de gestation, tandis que la croissance du fémur ne serait pas dépendante du sexe. (12)

Dans une étude publiée en 2019, GALJAARD et son équipe ont eux aussi étudié l'évolution du diamètre bi-pariétal, les périmètres abdominal et crânien et la longueur fémorale afin de mettre en évidence l'existence ou l'absence de différence significative entre les sexes sur des fœtus âgés de 12 à 40 semaines d'aménorrhées. Ils en ont conclu que la croissance crânienne est dépendante du sexe. En effet le diamètre bi pariétal et le périmètre crânien sont significativement plus grands chez les fœtus masculins par rapport aux féminins. Pour le périmètre abdominal, la tendance est similaire, mais ceci est moins démontrable sur la durée de la grossesse par rapport au développement crânien. Enfin la croissance de la longueur fémorale ne présente pas de différence significative selon les sexes. (14)

Il existe d'autres paramètres biométriques qui peuvent être corrélés à l'âge, en voici une liste non exhaustive :

La longueur du pied.

C'est la plus grande distance unissant le point le plus postérieur du pied au niveau du talon et la pointe du premier ou deuxième orteil, selon celui qui est le plus long. Il est possible de la mesurer à partir de 10 semaines d'aménorrhées. (15)

Le diamètre oculaire et distance inter orbitaire.

Le diamètre oculaire correspond à la moyenne entre le diamètre antéro-postérieur et le diamètre transversal, à l'endroit où le globe est le plus large. En pratique, il n'y a que peu de différence entre le diamètre antéro-postérieur et le diamètre transversal, c'est pourquoi il est possible d'utiliser seulement le diamètre transversal. Cependant il est important d'utiliser une coupe où le globe oculaire a un diamètre maximal.

La distance inter orbitaire est mesurée sur une coupe frontale, entre le centre de chaque orbite. Elle n'est mesurable qu'à partir de 11 ou 12 semaines d'aménorrhées. (16)

b. Suivi de croissance : tables de biométries et formules de détermination de l'âge gestationnel

Depuis de nombreuses années, des formules de datation de l'âge gestationnel ont été proposées, chacune utilisant un ou plusieurs paramètres biométriques évoqués un peu plus haut, afin d'estimer avec le moins d'écart possible, l'âge gestationnel, nous allons décrire l'évolution de ces formules au cours du temps.

- 1975, ROBINSON et FLEMING

Tout d'abord, en 1975, *ROBINSON et FLEMING* ont proposé une corrélation entre l'âge gestationnel et la longueur cranio caudale appelé « *crown rump length* ». Ils cherchaient à évaluer la reproductibilité et la précision d'une mesure échographique de la longueur crânio caudale, en essayant de corriger les sources d'erreurs dues à l'opérateur, aux mouvements du fœtus, et à la sensibilité de l'appareil. Ainsi ils ont effectué plus de 300 mesures sur des embryons de 6 à 14 semaines, pour ensuite établir une courbe de régression corrigée qui amène à l'équation suivante :

$$t = 8.052\sqrt{CRL} + 23.73$$

A partir de cette équation, ils ont créé des tables de croissance. **(Annexe 1)**. (17)

- 1984, HADLOCK et al.

En 1984, *HADLOCK et ses collaborateurs*, ont cherché à déterminer l'âge gestationnel qu'ils appellent « *menstrual age* » en fonction de plusieurs paramètres biométriques : diamètre bipariétal, périmètres crânien et abdominal et longueur fémorale. Ils ont ainsi relevés ces paramètres sur 361 fœtus âgés de 14 à 42 « *semaines menstruelles* », et ont construit des modèles de régression impliquant chacun de ces paramètres seuls ou combinés entre eux, ils ont ensuite comparé la fiabilité de ces modèles afin de déterminer celui qui apporte la meilleure prédiction. Ils en ont déduit que le formule estimant « *l'âge menstruel* » le plus fiable était la formule qui combinait les 4 paramètres. Pour une meilleure visualisation de ces données, ils ont établi des tables. **(Annexe 2)**. (18)

- 1994, WISSER et al.

En 1994, *WISSER et ses collaborateurs* proposent une autre formule pour déterminer l'âge gestationnel, en effet ils affirment que la longueur cranio caudale est le meilleur paramètre de datation du premier trimestre mais que selon les formules utilisées à l'époque, il pouvait y avoir un écart allant jusqu'à 16 jours, ainsi ils proposent de mesurer ce qu'il appelle « *the greatest embryonic length* ». Ainsi, à partir d'une coupe frontale, ils vont mesurer la plus grande longueur de l'embryon, sans tenir compte de sa flexion, et en excluant les membres inférieurs. Ils préfèrent utiliser cette

mesure plutôt que la « crown rump length » car avant le 42^{ème} jour d'aménorrhées, il est difficile d'identifier le pôle crânial. Ils en ont ensuite déduit la formule suivante et les tables. (Annexe 3).

$$t = 35.72 + 1.082L^{1/2} + 1.472L - 0.09749L^{3/2}$$

Dans leur étude, *WISSER et al.* proposent une réactualisation des données, en diminuant la possibilité d'erreur par rapport à l'étude de *ROBINSON*. (19)

- 2002, ADALIAN

En 2002, après étude d'une large population de fœtus d'âge connu, *ADALIAN* propose une nouvelle équation utilisant la longueur fémorale pour la datation de l'âge gestationnel à partir de clichés radiologiques. En effet, selon lui les clichés échographiques auraient comme inconvénient d'être dépendant de l'opérateur. Il en déduit la formule suivante :

$$\text{Age prédit (SA)} = 0.434 \times \text{longueur du fémur (en mm)} + 6.93$$

De plus il conclut que sa formule permet d'obtenir un âge proche de l'âge réel, avec une meilleure précision lorsque les sujets sont âgés, c'est pourquoi cette formule est davantage applicable lors de la deuxième partie de la grossesse. (20)

- 2017, National Institute of Child Health and Human Development

En 2017, *The Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development* (NICHD) propose une nouvelle étude d'estimation de l'âge gestationnel chez les fœtus. Les moyens échographiques ayant évolué, ils ont décidé de créer une nouvelle formule qu'ils ont comparé à la celle trouvée par *HADLOCK* en 1984. De plus, contrairement à *HADLOCK* dont la population d'étude n'était composée que de femme de type caucasienne, cette étude du NICHD prend en compte 4 populations ethniques différentes. A partir d'examen de plus de 2000 femmes enceintes, avec une estimation précise des dernières menstruations, ils ont procédé à la mesure du diamètre biparietal, aux périmètres crânien et abdominal et à la longueur fémorale afin d'établir un modèle de régression et l'équation suivante :

$$\text{Gestational age (weeks)} = 10.6 - 0.168 \times \text{BPD} + 0.045 \times \text{HC} + 0.03 \times \text{AC} + 0.058 \times \text{FL} + 0.002 \times \text{BPD}^2 + 0.002 \times \text{FL}^2 + 0.0005 \times (\text{BPD} \times \text{AC}) - 0.005 \times (\text{BPD} \times \text{FL}) - 0.0002 \times (\text{HC} \times \text{AC}) + 0.0008 \times (\text{HC} \times \text{FL}) + 0.0005 \times (\text{AC} \times \text{FL})$$

Avec : *BPD* : diamètre biparietal ; *HC* : circonférence de la tête ; *AC* : circonférence abdominal ; *FL* : longueur du fémur

Leur étude conclut que cette nouvelle formule a une bonne précision pour la période allant de la 14^{ème} à la 20^{ème} semaine de gestation, cependant cette précision diminue lorsque la grossesse

avance. De plus, ils concluent que cette formule obtient des résultats similaires à celle d'HADLOCK sur la période 14^{ème} – 20^{ème} semaine de gestation, cependant après la 21^{ème} semaine de gestation, sa précision est supérieure à celle d'HADLOCK.

- 2018, Intergrowth-21st

En France, depuis 2018, le Collège français d'échographie fœtale a émis des recommandations pour la détermination de l'âge gestationnel à partir de la longueur crânio caudale ainsi que sur l'évaluation des biométries fœtales. Il recommande l'utilisation de courbes standards émises par le projet international « INTERGROWTH 21st ».

Historiquement, les courbes de biométrie du Collège français d'échographie établies dans les années 2000, étaient des courbes dites descriptives, en effet elles représentaient une référence établie à partir de l'étude d'une population de fœtus peu sélectionnés ; elles représentaient une photographie d'une population donnée à un instant donné. Or depuis 1995, l'OMS recommande une approche prescriptive pour l'évaluation de la croissance pédiatrique. Cette approche consiste à étudier une population très sélectionnée, sur des critères géographiques (absence de pollution, altitude...), sur des critères individuels strictes (niveau socio-économique, absence de comorbidité...) afin d'évaluer la croissance d'un individu dans des conditions optimales de santé et d'environnement.

Mené entre 2009 et 2014, le projet « INTERGROWTH-21st » regroupe 8 pays, avec des centres sélectionnés rigoureusement, ainsi que des femmes sélectionnées selon des critères individuels. Lors de cette étude, la croissance, la santé, le développement neurologique de l'embryon ont été suivis régulièrement du début de la grossesse (inférieure à 14 semaines) jusqu'aux 2 ans de l'enfant. Toutes ces mesures ont permis d'établir des courbes de croissance standards prédictives et non plus descriptives.

Pour la détermination de l'âge gestationnel, l'étude a permis d'établir des courbes standards reliant la longueur cranio caudale à l'âge gestationnel durant le premier trimestre de gestation. Voici l'équation reliant ces deux paramètres, ainsi que les tables de croissance, cette équation n'est valable que pour une valeur de la longueur cranio caudale comprise entre 15 et 95 mm. **(Annexe 4)**
(21)

$$\text{Age gestationnel} = 40.9041 + (3.21585 \times CRL^{0.5}) + (0.348956 \times CRL)$$

Après avoir vu les formules les plus utilisées avec les paramètres les plus courants, longueur crânio caudale, diamètre bipariétal, périmètres crânien et abdominal et longueur fémorale, nous allons à présent voir quelques formules utilisant des paramètres moins usuels.

- Estimation de l'âge gestationnel à partir de la longueur du pied.

En 2017, SOO WONG propose une corrélation entre l'âge gestationnel et la longueur du pied pour des fœtus âgés de 10 à 16 semaines, tandis que 2019, STEVENS et son équipe propose une

corrélation pour des fœtus âgés de 14 à 21 semaines. (15,22) En voici la formule et le tableau (Figure 17) :

Formule de SOO WONG : $GA = 0.335 \times FT + 8.845$

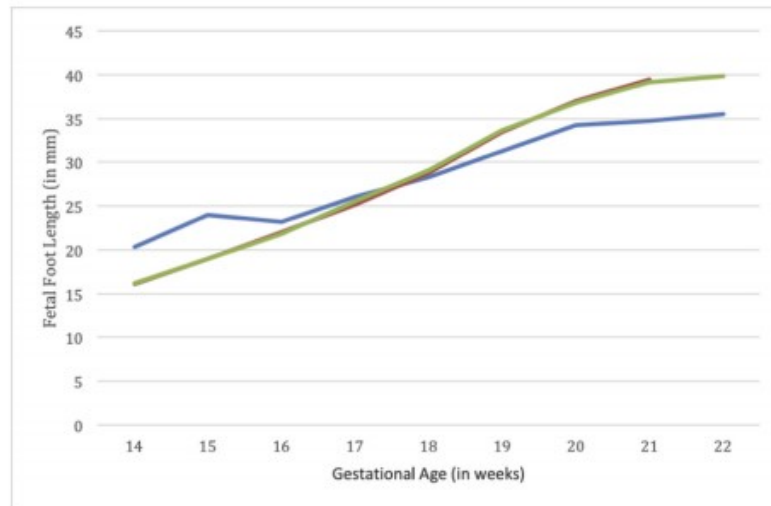


Fig. 3. Caption: Mean foot length per gestational week as determined by last menstrual period, ultrasound, and ACOG best estimate for patients undergoing abortion from 14 weeks to 21 weeks 6 days in Hawaii from October 2012 and December 2014; Legend: LMP, last menstrual period

— LMP
 — Ultrasound
 — ACOG Best Estimate

Figure 17 : Tables estimant l'âge gestationnel à partir de la longueur du pied de Stevens et al.

- Estimation de l'âge gestationnel à partir de l'œil.

ROTH et ses collaborateurs ont proposé des corrélations entre l'âge gestationnel et le diamètre oculaire, la distance inter orbitaire et le diamètre bipariétal. En effet, la croissance de l'œil est liée à la croissance cérébrale ainsi qu'à la croissance du crâne. Le globe oculaire est mis en place à la fin de l'organogenèse comme vu précédemment, cependant sa croissance continuera jusqu'à l'adolescence. Durant la grossesse, la croissance du diamètre oculaire et donc du globe est plus rapide pendant la première moitié de la grossesse. Le tableau suivant résume ces corrélations. (Figure 18)

Tableau I Valeurs du diamètre oculaire, de la distance interorbitaire moyenne et du rapport DIOM/BIP en fonction de l'âge gestationnel*.
Values of ocular diameter, mean interorbital diameter and MIOD/BPD related to gestational age.

SA e	Diamètre oculaire transversal (mm)			DIOM (mm)			Rapport DIOM / BIP	
	5 ^e P	50 ^e P	95 ^e P	5 ^e P	50 ^e P	95 ^e P	5 ^e P	95 ^e P
11	0,8	1,9	2,8	5,9	8,2	10,5	0,47	0,56
12	1,6	2,7	3,7	7,7	10,0	12,3	0,47	0,56
13	2,4	3,5	4,5	9,5	11,8	14,1	0,46	0,55
14	3,2	4,3	5,3	11,2	13,5	15,8	0,46	0,55
15	4,0	5,0	6,0	12,8	15,1	17,4	0,46	0,55
16	4,7	5,8	6,7	14,4	16,7	19,0	0,45	0,54
17	5,3	6,5	7,4	15,9	18,2	20,5	0,45	0,54
18	6,0	7,1	8,1	17,4	19,7	22,0	0,44	0,53
19	6,7	7,7	8,7	18,8	21,1	23,4	0,44	0,53
20	7,2	8,4	9,3	20,1	22,4	24,7	0,44	0,53
21	7,8	8,9	9,9	21,4	23,7	26,0	0,43	0,52
22	8,4	9,5	10,5	22,7	25,0	27,3	0,43	0,52
23	8,9	10,1	11,0	23,9	26,2	28,5	0,43	0,52
24	9,4	10,6	11,5	25,0	27,3	29,6	0,42	0,51
25	9,9	11,1	12,0	26,1	28,4	30,7	0,42	0,51
26	10,4	11,5	12,5	27,2	29,5	31,8	0,41	0,50
27	10,8	12,0	12,9	28,3	30,6	32,9	0,41	0,50
28	11,3	12,4	13,4	29,3	31,6	33,9	0,41	0,50
29	11,7	12,8	13,8	30,2	32,5	34,8	0,40	0,49
30	12,1	13,2	14,2	31,1	33,4	35,7	0,40	0,49
31	12,5	13,6	14,6	32,0	34,3	36,6	0,40	0,48
32	12,8	14,0	14,9	32,9	35,2	37,5	0,39	0,48
33	13,2	14,3	15,3	33,7	36,0	38,3	0,39	0,48
34	13,6	14,7	15,6	34,5	36,8	39,1	0,38	0,47
35	13,9	15,0	15,9	35,2	37,6	39,9	0,38	0,47
36	14,2	15,3	16,3				0,38	0,47
37	14,5	15,6	16,6				0,37	0,46
38	14,8	15,9	16,8				0,37	0,46

* Les percentiles ont été calculés sur la base de l'ensemble des mesures

Figure 18 : *Tableau de corrélation entre l'âge gestationnel et le diamètre oculaire, le diamètre inter-orbitaire, selon ROTH et Al.*

c. Comparaison des divers examens complémentaires.

L'analyse du fœtus et la détermination de son âge peuvent être déterminés à partir de divers examens complémentaires. En obstétrique, in utero, l'analyse de référence est l'échographie, celle-ci n'est pas irradiante pour le fœtus par rapport aux examens radiologiques. Cependant les mesures échographiques sont opératoires dépendantes et dépendent de la position du fœtus. En anthropologie ou en médecine légale, l'analyse du fœtus peut se faire par autopsie, cependant la préparation des os ou parfois la fragilité des échantillons ne permet pas de mettre en place cette méthode, il est alors possible d'utiliser les examens scanographiques, radiologiques ou par résonance magnétique. (23)

- Utilisation de l'IRM

En 2019, KADJI et ses collaborateurs proposent une revue de la littérature portant sur l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) en obstétrique, notamment pour évaluer le poids du fœtus. Il en arrive à la conclusion que l'IRM permet une acquisition et un traitement rapide des images du fœtus, ainsi qu'une précision supérieure à celles acquises par échographie deux dimensions. Cependant l'inconvénient de l'utilisation de l'IRM reste son coût et sa disponibilité, c'est pourquoi ce n'est pas encore un examen de routine en obstétrique. (24)

- Utilisation de la tomographie multi coupe (MSCT)

En 2013, l'équipe dirigée par Marie MINIER propose une nouvelle méthode d'acquisition des mesures biométriques pour estimer l'âge de fœtus en médecine médico-légale. Plutôt que de mesurer la longueur fémorale directement sur un os sec, qui demande une préparation rigoureuse, elle propose une mesure indirecte du fémur par examen radiographique, plus précisément avec la tomographie multi coupe. Elle a ainsi estimé l'âge de fœtus à partir de longueur fémorale mesurée sur des acquisitions de MSCT. Pour déterminer l'âge gestationnel, elle a appliqué la formule d'ADALIAN vu précédemment.

Elle en a conclu que les mesures prises par MSCT sont fiables et applicables à la formule d'ADALIAN. (25)

- Comparaison des tomographies multi coupe et à faisceau unique : MSCT VS CBCT.

En 2017, SAATI et ses collaborateurs décident de comparer la précision des acquisitions réalisées avec deux types de tomographies, la tomographie multi coupe (MSCT) d'une part et la tomographie à faisceau conique (CBCT) d'autre part. Pour cela, ils mettent en concurrence cinq types de CBCT différents, qu'il compare ensuite à un type de MSCT. La comparaison se fera par l'acquisition d'image de mandibule sèche et sur la mise en évidence de 10 repères anatomiques (foramen mentonnier, pulpe dentaire, canal incisif etc.).

Ils en arrivent à la conclusion que le CBCT, en plus d'être moins irradiant qu'un MSCT, permet aussi d'augmenter la précision et la qualité des images réalisées. (26)

- Comparaison des tomographies à faisceau conique (CBCT) en deux ou trois dimensions.

En 2010, l'équipe menée par HAJ SALEM a analysé 36 fœtus d'âge connu, issus du service de médecine légale du CHU de TOULOUSE, afin de comparer les mesures biométriques des tibias et fémurs droits et gauches de ces fœtus par des acquisitions scanographiques en deux ou trois dimensions. Ils ont ensuite appliqué ces mesures à la formule proposée par ADALIAN en 2002, que nous avons vu un peu plus haut, afin de déterminer l'âge de ces fœtus. Chaque fœtus a été scanné par un Cone Beam CT avec des coupes de 0.2mm d'épaisseur, et a ensuite été traité par

un logiciel qui permettait une reconstruction en deux dimensions puis en trois dimensions, la mesure était ensuite effectuée sur ces différentes reconstructions.

Ils ont ainsi émis 3 hypothèses :

- *Existe-t-il une différence significative sur les mesures de tibias et fémurs entre une acquisition en deux dimensions et une en trois dimensions ?*

Suite à leur travail, il existe une différence peu importante mais significatives entre les mesures 2D ou 3D pour le tibia et le fémur, à droite comme à gauche.

- *Existe-t-il une différence significative liée à la latéralité ?*
Aucune différence significative de latéralité n'a été démontrée.

- *Existe-t-il une différence significative entre l'âge réel et l'âge estimée avec la formule d'ADALIAN, pour chaque os (fémur ou tibia) et chaque type de reconstruction (2D ou 3D) ?*

Il n'y a pas de différence significatives entre l'âge estimé et l'âge réel pour le fémur, mesurée sur une reconstruction 2D ou 3D. Cependant, pour le tibia, seul le droit en reconstruction 2D ne présente pas de différence significative. (23)

Ainsi cette étude nous a démontré que dans notre enquête nous pourrions utiliser avec confiance la formule d'ADALIAN avec des reconstructions 2D ou 3D des fémurs.

Partie II : Cas clinique

« En novembre 2019, le Docteur BOU a été requis pour une expertise judiciaire d'identification d'anthropologie médico légale. En effet, à S... les nouveaux propriétaires d'une maison ayant appartenu à une ancienne pharmacienne récemment décédée, ont découvert au cours de travaux de rénovation 4 flacons contenant des structures organiques identifiées comme embryons et/ou fœtus. Deux embryons d'environ 2 centimètres de long, plongés dans un liquide ressemblant à de l'alcool, un troisième un peu plus évolué d'un point de vue macroscopique avec une apparence humaine mais qui n'a pas été conservé dans un milieu liquide, il s'agit d'un échantillon sec et momifié, et enfin le dernier scellé qui s'apparente à un jeune fœtus conservé dans un bocal rempli d'alcool. Après avoir prévenu la gendarmerie sur la découverte de ces petits individus, une enquête judiciaire est ouverte afin de valider leur origine humaine ou non, ainsi que leur âge. »

Afin de remplir la mission demandée, une analyse anthropologique non invasive macroscopique et virtuelle par imagerie médicale a été conduite. Pour cette dernière, une acquisition à l'aide du CBCT (Cone Beam Computed Tomography) de recherche de l'UFR d'Odontologie sera l'occasion de diligenter une autopsie virtuelle de ces fœtus.

Dans un premier temps, une analyse macroscopiques des échantillons sera effectuée avec une loupe binoculaire, afin d'identifier les caractères morphologiques pouvant poser le diagnostic différentiel de fœtus humains ou animaux. De plus le stade de développement de certaines caractéristiques morphologiques peut donner une indication dans l'estimation de l'âge de l'individu.

Dans un second temps, une acquisition par rayons X à l'aide du CBCT permettra de procéder à une analyse 2D mais aussi 3D volumique qui permettront la mesure de paramètres biométriques indispensables dans l'estimation de l'âge des individus.

1. Analyse macroscopique à la loupe binoculaire

Chaque embryon ou fœtus a été analysé macroscopiquement à la loupe binoculaire (modèle S4E de la marque LEICA.)

Afin de permettre une différenciation de chacun, l'appellation alpha, beta, gamma et oméga a été utilisé eu égard à la taille croissante des embryons ou fœtus.

a. Présentation et description macroscopique des 4 fœtus

- Embryon N°1, Alpha :

Alpha, le premier embryon mesure environ 2 cm de longueur avec des membres repliés sur son abdomen et sa cage thoracique, sur la figure suivante, il a été photographié en position dorsale. **(Figure 19).**



Figure 19 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon Alpha, en position dorsale. Dr BOU Christophe.

Chez cet embryon, l'extrémité céphalique est sous développé, ainsi il va être difficile d'estimer un âge de développement à partir de la morphogenèse faciale. Cependant, nous avons pu observer, au niveau de l'œil, nous pouvons apercevoir une placode optique droite, cependant à gauche, on devine une invagination. Pour l'oreille, aucune placode otique n'est visible. Enfin pour la bouche et nez, nous pouvons deviner les bourgeons primitifs de la face, cependant ils ne sont pas fusionnés, ainsi aucune ébauche de stomodéum ou de fosses nasales ne peut être identifiée. Cette anencéphalie peut être une cause de la mort prématurée de cet embryon (**Figure 20**).

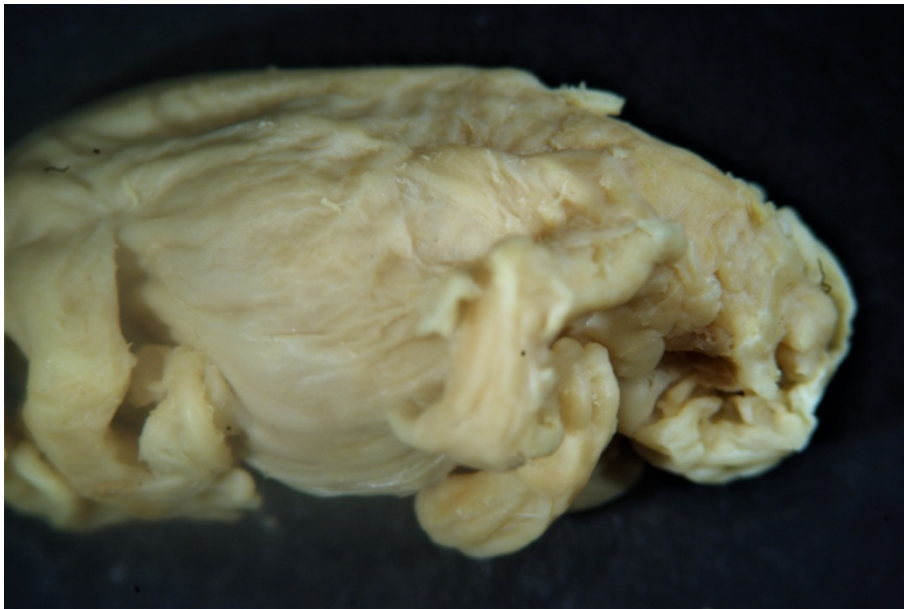


Figure 20 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon Alpha, en position latérale. Dr BOU Christophe.

Concernant la description macroscopique des membres, au niveau des membres supérieurs, nous distinguons les sillons interdigitaux séparés par apoptose, avec individualisation des doigts au niveau des mains, cependant l'apoptose au niveau du pouce est encore incomplète, il garde son aspect « palmé » et est jointif avec l'index (**Figure 21**). Au niveau du bras, nous distinguons 2 segments d'orientation différentes (bras et avant bras), avec des plicature, le coude et l'épaule. De plus, les mains se rejoignent et se touchent sur l'axe central de l'embryon. Pour le membre inférieur, il en est de même avec des sillons interdigitaux séparés, mais une individualisation des orteils moins marquée qu'au niveau du membre supérieur.



Figure 21 : Photographie à la loupe binoculaire de la main droite et du pied gauche de l'embryon Alpha. Dr BOU Christophe.

- **Embryon n°2, Béta.**

Le deuxième embryon mesure lui aussi environ 2 cm, ses membres semblent avoir atteint un stade d'évolution proche des membres de l'embryon Alpha. Cependant chez Béta, le pôle céphalique n'a pas subi d'anomalie de développement. Du fait de la présence d'une tête, avec l'ébauche d'une face, l'embryon Béta a une apparence plus proche de celle de l'être humain par rapport à Alpha. (**Figure 22**).



Figure 22 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon Béta, en position latérale. Dr BOU Christophe

Le pôle céphalique de l'embryon est développé, nous pouvons reconnaître des caractères morphologiques semblables à ceux d'un être humain, cependant le crâne de l'embryon semble enfoncé, comme impacté au niveau du côté droit, nous observons un repli, ceci peut être une cause du décès. **(Figure 23)**

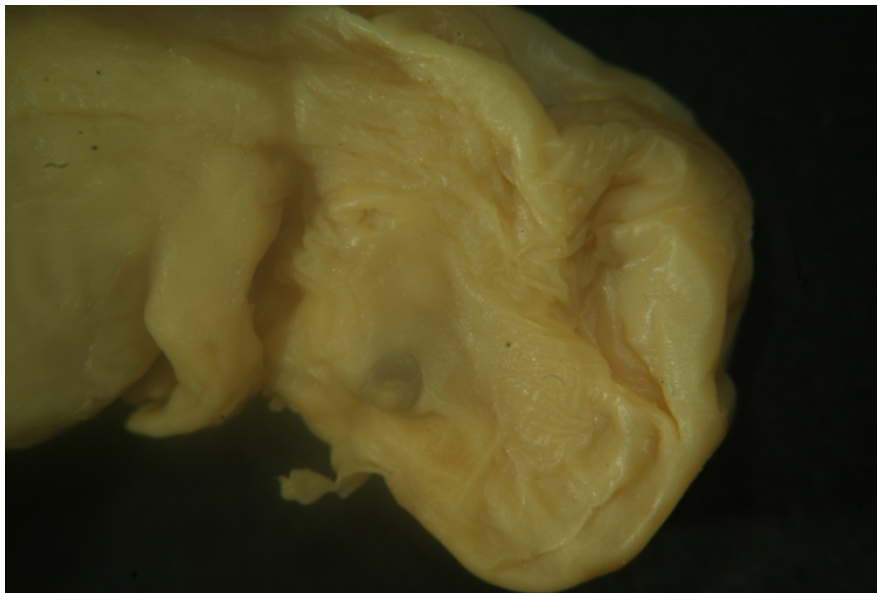


Figure 23 : Photographie à la loupe binoculaire du pôle céphalique de l'embryon Béta, en position latérale. Dr BOU Christophe.

Concernant le développement de la face, au niveau de l'œil, nous pouvons observer le globe oculaire avec une coloration noir et une pastille blanche en son centre, ce globe oculaire est bordé par des ébauches de paupières ; au niveau de l'oreille, nous ne visualisons pas de bourgeons, en effet, les colliculi ont déjà fusionné pour former le pavillon de l'oreille externe. De plus celui-ci a commencé sa migration dorso-cranial, nous pouvons aussi voir l'ébauche du tragus et de l'anti tragus ; pour la bouche et le nez, les bourgeons primitifs ont fusionné, nous pouvons apercevoir les ailes du nez. Cependant nous ne voyons pas clairement les fosses nasales et le stomodeum.

Pour la différenciation des membres, tout comme l'embryon Alpha, nous pouvons visualiser les sillons interdigitaux, cependant l'individualisation des doigts et des orteils semblent plus avancée sur cet embryon ; les membres présentent 2 segments d'orientation différentes ; le membre supérieur a effectué une flexion ventrale, les mains se rejoignent et se touchent au niveau de l'axe central de l'embryon tandis que pour le membre inférieur, les pieds se rejoignent au niveau de l'axe central de l'embryon.

-Embryon n°3, Gamma.



Figure 24 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon Gamma, en position latérale. Dr BOU Christophe.

Nous avons à faire à un individu d'apparence humaine, avec développement d'une tête similaire à l'être humain, un tronc et 4 membres. L'apparence humaine peut nous faire penser que nous sommes face à un fœtus qui aurait fini sa morphogénèse embryonnaire.

L'échantillon a été retrouvé dans un bocal exempt de liquide. Comme chaque échantillon a été retrouvé dans un bocal avec un liquide de conservation, nous pouvons supposer qu'à la base, cet embryon était conservé dans un flacon avec un liquide, cependant le bouchon du flacon n'aurait pas été étanche et aurait entraîné l'évaporation du liquide de conservation. Cette évaporation serait à l'origine de la momification de l'embryon ; cette dernière a permis de maintenir ses structures osseuses que nous pouvons deviner sous la peau.

La morphogénèse de la face semble s'être déroulée de façon non pathologique, puisque nous pouvons distinguer un nez, des yeux et une bouche. Cependant, le crâne semble être allongé dans le sens sagittal, ceci est peut être le signe d'un défaut de développement du crâne ou du cerveau, ou bien ceci peut être une déformation liée aux conditions de conservation.

En ce qui concerne la morphogénèse faciale, nous distinguons deux globes oculaires, ils semblent recouverts d'une paupière ; au niveau de l'oreille, nous ne distinguons qu'un trou pouvant être l'origine du méat acoustique externe, mais il est difficile de différencier un pavillon externe, cependant, le trou est en position latéral par rapport à l'œil, ce qui permet de penser que l'oreille avait commencé sa migration dorso craniale ; enfin nous distinguons un nez avec les deux orifices nasaux, un philtrum et une bouche, signe de la fusion des bourgeons nasaux médiaux. De plus nous visualisons un menton et une lèvre inférieure mis en place à partir des bourgeons mandibulaires (**Figure 25**).



Figure 25 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon gamma, en vue latéro-dorsale. Dr BOU Christophe.

Concernant le stade d'évolution des membres, nous distinguons au niveau de l'épaule, une articulation entre la scapula et l'humérus, puis un repli au niveau du coude où l'humérus s'articule avec le radius et l'ulna. Enfin au niveau de la main, on aperçoit les métacarpes au niveau des doigts. Les membres supérieurs semblent s'être développés de façon normale. Pour le membre inférieur, nous pouvons observer le bassin qui s'articule avec le fémur au niveau de la hanche ; un repli au niveau du genou où s'articulent tibia et fibula, enfin nous pouvons deviner l'ébauche des métatarses des orteils (**Figure 26**).



Figure 26 : Photographie à la loupe binoculaire de l'embryon Gamma, en vue dorso-latérale. Dr BOU Christophe.

-Foetus n°4, Omega.

Le dernier échantillon examiné est un échantillon plus imposant que les trois autres. En effet, Oméga mesure entre 6 et 7 cm, l'aspect humain est encore plus frappant que chez les embryons Béta et Gamma. La tête et la face sont clairement identifiables et comparables à celles d'un être humain avec la présence d'oreilles, des yeux et d'une bouche. Les mains et les pieds sont dotés d'ongles comme les être humains. Et il y a un reliquat de cordon ombilical au niveau de son nombril (**Figure 27**).

La taille et l'aspect humain d'Oméga, nous font penser qu'il s'agit d'un foetus humain.



Figure 27 : Photographie à la loupe binoculaire du fœtus Oméga, en position latérale. Dr BOU Christophe.

La morphogénèse de la face semble s'être déroulée de façon non pathologique, nous pouvons distinguer un nez, des yeux et une bouche. Cependant, nous remarquons la présence d'un enfoncement de la boîte crânienne au niveau de la zone temporale droite. Pour l'œil, le globe oculaire n'est pas visible car il est caché par les paupières qui sont fermées ; au niveau de l'oreille, le pavillon de l'oreille externe est formé, il possède une forme proche de la forme définitive de l'auricule, ce qui laisse supposer un développement avancé de l'oreille externe. De plus, le pavillon est en position latéral par rapport au crâne ; au début de sa croissance, les colliculis, qui préforment l'auricule définitif, sont en position basse sur le côté du cou, pour ensuite migrés en direction latéro-crâniale. Pour la bouche et nez, nous pouvons observer les ailes du nez, ainsi que les lèvres, le philtrum et le menton (**Figure 28**).



Figure 28 : Photographie à la loupe binoculaire de la face et des mains du fœtus Oméga, en position latérale. Dr BOU Christophe

Au niveau du développement des membres, nous visualisons l'épaule qui marque l'articulation du membre supérieur avec le tronc, le segment du bras, puis l'articulation du coude avec un repli ventral de 90° du membre supérieur. Ainsi les avant bras et les mains peuvent se toucher au niveau du thorax de l'embryon. De plus au niveau des mains, il est aisément possible d'observer les longs doigts de l'embryon ; l'apoptose étant terminée, tous les doigts sont individualisés. Au niveau des mains, nous pouvons même visualiser des ongles. Tout comme les membres supérieurs, les membres inférieurs ont terminé leur morphogenèse puisque nous distinguons, une cuisse, une jambe et un pied, semblables à ceux de l'être humain. Les membres inférieurs ont eux aussi subi un repli ventral ce qui permet aux pieds de se toucher sur l'axe médian de l'embryon. Les orteils eux aussi sont individualisables, signe d'une apoptose non pathologique.

b. Bilan de l'analyse macroscopique

- Embryon n°1, Alpha.

De premier abord, cet embryon semble avoir eu un problème de développement au niveau de son pôle céphalique, hypo développé et atrophié. La présence d'une placode optique nous fait dire qu'il a au moins 24 jours. Juste en dessous de cette placode optique, nous devinons les bourgeons primitifs de la face, cependant ces derniers n'ont pas pu fusionner pour former les cavités buccale et nasales. Par leur présence, les bourgeons primitifs nous attestent que l'embryon a **au moins 4 ou 5 semaines de développement.**

Le développement des membres supérieurs et inférieurs, nous montre un développement plus avancé que la partie céphalique. En effet, au niveau des membres supérieurs, on distingue les doigts des mains, bien que le pouce n'ait pas tout à fait fini son apoptose ; les deux parties du membre supérieur, avec un bras et un avant bras, séparés par une plicature le coude. De plus les mains se joignent sur l'axe central de l'embryon, ce qui montre que le membre supérieur a effectué un repli ventral.

Ainsi, le développement du pôle céphalique ne va pas nous permettre de préciser le stade de Carnegie de cet individu, cependant le développement des membres nous permet de déduire qu'il est plus avancé qu'un stade 20 de Carnegie, car les orteils sont identifiables donc ils ont subi une apoptose. De plus il se situe au moins au stade 21 car ses membres ont effectué un repli ventral, et la présence de longs doigts et de long orteils nous font penser qu'il est en stade 22 de Carnegie, cependant il ne ressemble pas au stade 23 de Carnegie car sa cheville n'est pas encore très marquée, le pied semble dans le prolongement de la jambe.

Nous estimons donc que cet embryon se situe au **stade 22 de Carnegie** avec un âge estimé entre **52 et 55 jours**.



Figure 29 : *Comparaison de l'embryon Alpha, à droite, photographie prise par le Dr Bou Christophe avec le stade 22 de Carnegie, à gauche décrit par le Dr M. HILL dans « Kyoto embryo collection ».*

- **Embryon n°2, Beta.**

Le développement de la face de cet embryon va nous permettre de nous guider dans l'estimation de son stade de Carnegie et donc de son âge. L'embryon a au moins 33 jours car il présente un œil pigmenté ainsi qu'une oreille déjà développée, or l'œil se pigmente à 33 jour, en même temps qu'apparaissent les colliculus de His

qui préfigurent le pavillon externe de l'oreille. De plus ces colliculis de His atteignent leur taille maximale au 44^{ème} jour pour entamer leur fusion, ainsi cet embryon a au moins 44 jour car son pavillon externe est déjà formé, cette datation est confirmée par la présence de paupière qui commence se mettre en place au 44^{ème} jour aussi. Enfin l'embryon a au moins 47 jours car son membre supérieur présente une plicature, le coude, ainsi qu'une flexion ventrale.

La précision du stade de Carnegie va se faire par déduction. Tout d'abord, l'embryon a dépassé le stade 20 de Carnegie car son pied a subi une apoptose individualisant des orteils. Il peut être au stade 21 de Carnegie car les doigts et les orteils ont fait leur apoptose et que la cheville est peu marquée. De plus le pavillon de l'oreille est formé et il a commencé sa migration, il se situe latéralement à la bouche. Enfin il est possible qu'il se situe entre le stade 21 et le stade 22 de Carnegie car le pavillon ne semble pas totalement formé comme au stade 22.

Ainsi puisqu'il se situe entre **les stades 21 et 22 de Carnegie**, l'embryon a entre **49 et 55 jours**.



Figure 30 : Comparaison de l'embryon Béta, au centre, photographie réalisée par le Dr Bou Christophe, avec les stade 21 et 22 de CARNEGIE décrit par le Dr M. HILL dans « Kyoto embryo collection ».

- Embryon n°3, Gamma.

Le développement de la face nous fait penser que l'individu a au moins 6 semaines, en effet les bourgeons ont fusionné et le conduit auditif externe est ouvert, ces faits se déroulent durant la 6^{ème} semaine de développement. La présence de paupière nous affirme qu'il a au moins 44 jours, date à laquelle la paupière commence sa formation. Enfin, nous pouvons identifier tous les os des membres supérieurs et inférieurs, ainsi que les doigts et les orteils, ceci semble nous faire penser que l'individu à **au moins 8 semaines**. Toutes ces informations nous font penser que l'individu a atteint le stade 23 de Carnegie et a ainsi fini son embryogenèse.

-Foetus n°4, Oméga.

L'examen macroscopique de la face et des membres, nous a permis de constater que la morphogenèse embryonnaire était terminée, nous avons à faire à un fœtus. En effet l'individu a au moins 8 semaines car ses paupières sont fermées. De plus, au niveau de ses mains, nous pouvons visualiser des ongles qui se mettent en place généralement durant le 3^{ème} mois de développement. Enfin la mise en place des organes génitaux externes, nous fait penser qu'il s'agit d'un fœtus de sexe masculin. Cependant, le scrotum n'a pas l'air d'être totalement abouti, c'est pourquoi nous pensons que le fœtus a au moins **8 semaines et qu'il se situe entre 12 et 14 semaines**. Ceci devra être précisé avec une analyse biométrique.

A	β	δ	Ω
Entre 52 et 55 jours Stade 22 de CARNEGIE	49 et 55 jours Stade 21- 22 de CARNEGIE	> 8 semaines	> 8 semaines

2. Investigation complémentaire et acquisition au CBCT

a. Rappels sur le CBCT

Le Cone beam computed tomography (CBCT) ou tomographie volumique à faisceau conique se trouve être à mi chemin entre la tomographie et la tomodensitométrie (scanner). C'est une technique d'imagerie sectionnelle inventée dans les années 1990, afin d'examiner des structures denses comme les os et les dents, tout en étant moins irradiante que la technique d'imagerie sectionnelle de l'époque, la tomodensitométrie. (27)

- Historique.

Dans les années 1990, deux équipes travaillent sur le projet d'un cone beam utilisable en odontologie, il y a l'équipe japonaise d'Arai et l'équipe italienne de Mozzo.

L'équipe japonaise reprend le principe de rotation du panoramique, en ajoutant un capteur numérique solide en relation avec un amplificateur de brillance. Le patient assis, reçoit un faisceau continu de rayons X qui sera traité et retransmis de manière numérique. Leur appareil sera mis sur le marché sous le nom de Morita 2000, il s'agit d'un cone beam petit champ avec un champ 30mmx 38 mm.

L'équipe italienne emmenée par Mozzo, Procacci et Taconi ont mis au point un appareil grand champ de 16 x 16 cm, avec une émission pulsée des rayons X recueillis par un capteur numérique solide, sous le nom de NewTom 9000.

Au cours du temps, ces premiers modèles ont évolués et se sont améliorés, les capteurs numériques solides associés à l'amplificateur de brillance pouvaient générer des distorsions géométriques, ils ont ainsi été remplacés par des capteurs plans. De plus il existe plusieurs types de

Cone Beam selon leur champ de vue, petit (<10cm), moyen (entre 10 et 15 cm) et grand (>15cm), de nos jours les appareils associent des champs de vue petit ou moyen tout en conservant la résolution de l'image.(28)

- **Principes de fonctionnement**

L'acquisition de l'image du Cone Beam se fait grâce à un faisceau de rayons X ouvert et conique émis par un générateur en une seule rotation. Lors de chaque étape angulaire de cette unique rotation, un capteur plan va recueillir le faisceau de rayons X atténué après la traversée du volume étudié, en enregistrant une image numérique bidimensionnelle. A la fin de la rotation, la multitude d'images numériques enregistrées par le capteur permettront de reconstruire le volume de l'objet. Une fois le volume de l'objet numérisé, celui pourra être traité et reconstruit sous forme d'un projet en deux ou trois dimensions. (27)

- **Différences entre le Cone Beam et le scanner.**

Le cone Beam et le scanner sont deux techniques d'imagerie sectionnelle numérique permettant de numériser le volume d'un objet et de le traduire en voxel, ces voxels seront ensuite traités par des logiciels de reconstruction en deux ou trois dimensions. Cependant quelques paramètres les différencient.

Tout d'abord la méthode d'acquisition est différente pour chacune des deux méthodes :

Pour le scanner, la source de rayons X est collimatée, elle a la même épaisseur que la coupe du scanner, cette source effectue un mouvement de translation associée à une rotation angulaire autour du patient allongé. Ainsi après chaque rotation, la source se déplace longitudinalement pour effectuer une nouvelle mesure. Chaque rotation permet d'obtenir une coupe horizontale numérisée. Chacune des coupes horizontales seront ensuite superposées afin de recréer le volume de l'objet.

Pour le cone beam, la source de rayons X est un faisceau conique qui n'effectue qu'une seule rotation autour d'un patient debout, assis ou allongé. Ainsi le capteur reçoit de nombreuses projections multiangulaires en deux dimensions, qui seront directement traitées par ordinateur pour restituer le volume de l'objet. (27,29)



Figure 31 : Comparaison des sources entre le CBCT à gauche et le scanner à droite. Dossier de l'ADF « Tomographie volumique à faisceau conique ».

La deuxième différence entre le scanner et le cone beam se situe dans la résolution de l'image et plus précisément dans la taille du voxel, unité de mesure de définition d'une image numérique en 3 dimensions.

Pour le scanner, le voxel est un parallélépipède rectangle, sa plus grande arête correspond à l'épaisseur de la coupe. Ainsi l'arête ayant la plus grande dimension, permet d'obtenir une meilleure résolution de l'image. C'est pourquoi les reconstructions en coupe transversale, avec la longueur de voxel la plus grande est la coupe avec la meilleure résolution par rapport aux coupes sagittale ou frontale.

Pour le cone beam le voxel est cubique, ainsi ses 3 dimensions sont identiques. Le fait que le voxel soit cubique permet au cone beam d'avoir une résolution d'image identique dans les 3 plans de l'espace. De plus, le voxel du cone beam est plus petit que celui du scanner, ce qui permet d'augmenter sa résolution par rapport au scanner. (27,29)

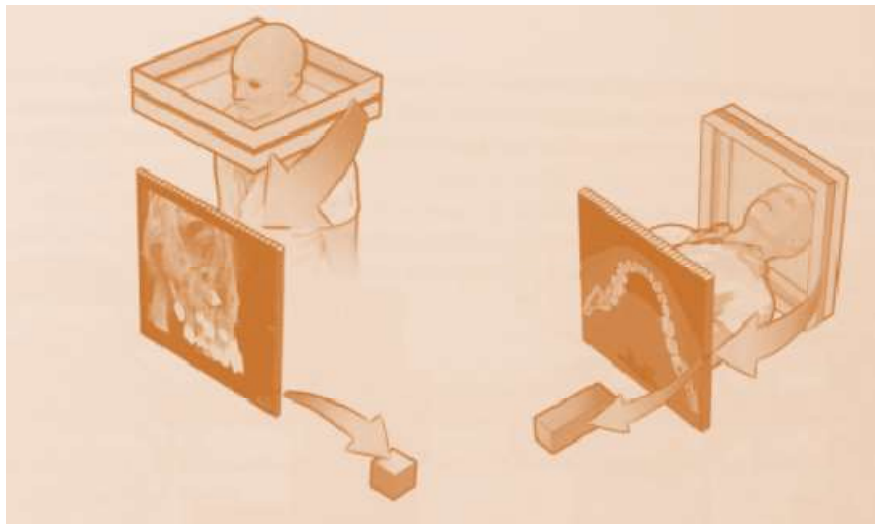


Figure 32 : Comparaison de la taille des voxels entre le CBCT et le scanner. Dossier de l'ADF « Tomographie volumique à faisceau conique ».

La dernière différence se trouve dans la dose délivrée au patient. Grâce à son large faisceau conique, le cone beam réalise son acquisition en une seule rotation là où le scanner effectue plusieurs rotations, ainsi la dose et le temps d'exposition se trouvent diminuer avec le cone beam par rapport au scanner. (30) Les doses délivrées par le cone beam sont plus élevées que celle d'une radiographie conventionnelle (orthopantomogramme ou rétro-alvéolaire), cependant il est moins irradiant que le scanner et la différence de dose délivrée peut aller de 1,5 à 12 fois moins que le scanner selon les appareils. (31)

b. Résultats des acquisitions des divers fœtus

Dans un second, chaque échantillon a été analysé au Cone Beam computed tomography, de marque Carestream, ensuite chaque image a été traitée par le logiciel de reconstruction 3D afin de pouvoir effectuer les mesures biométriques.

- Mesures biométriques :

- Examen général : mesure de la **longueur crânio caudale (LCC)**.

Longueur crânio caudale α = 16.8mm

Longueur crânio caudale β = 20.4 mm

Longueur crânio caudale δ = 27.5 mm

Longueur crânio caudale Ω = 66.5 mm

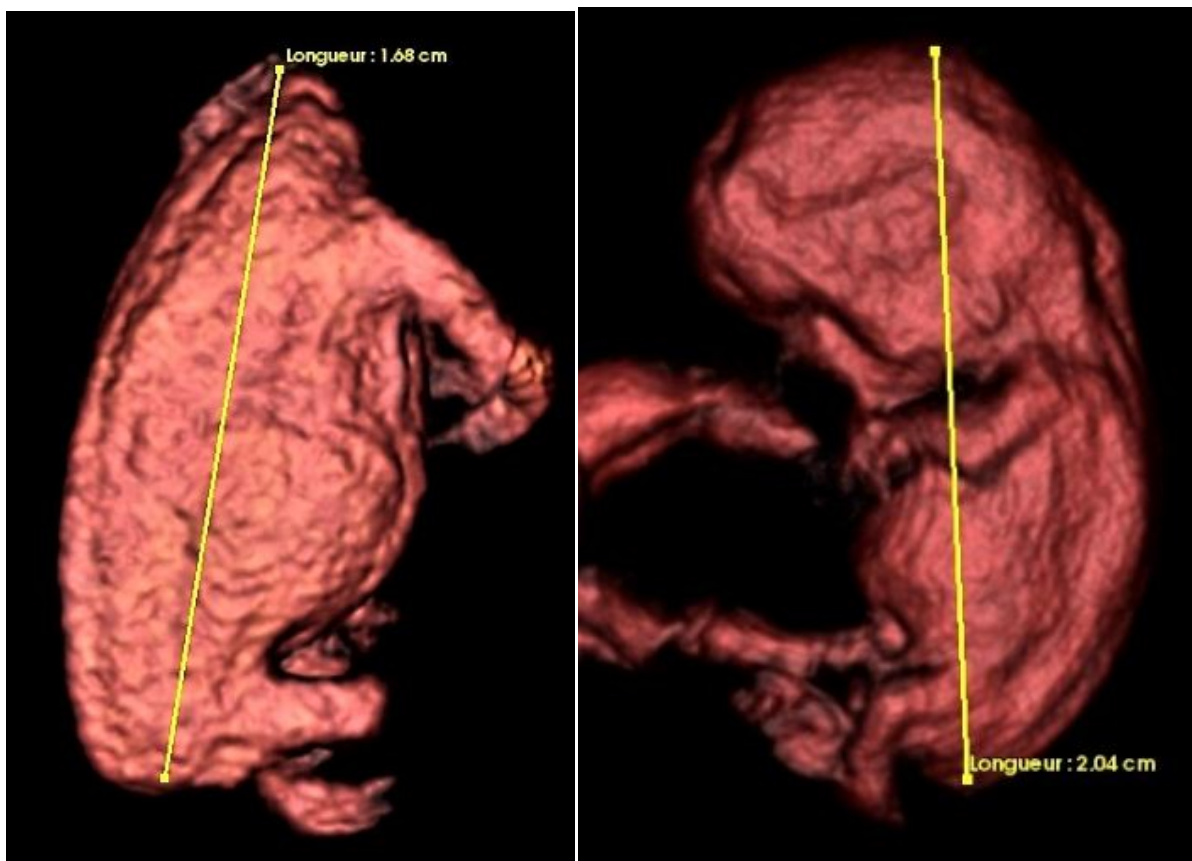


Figure 33 : Mesure de la longueur crânio caudale des individus α et β . Images réalisées par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».

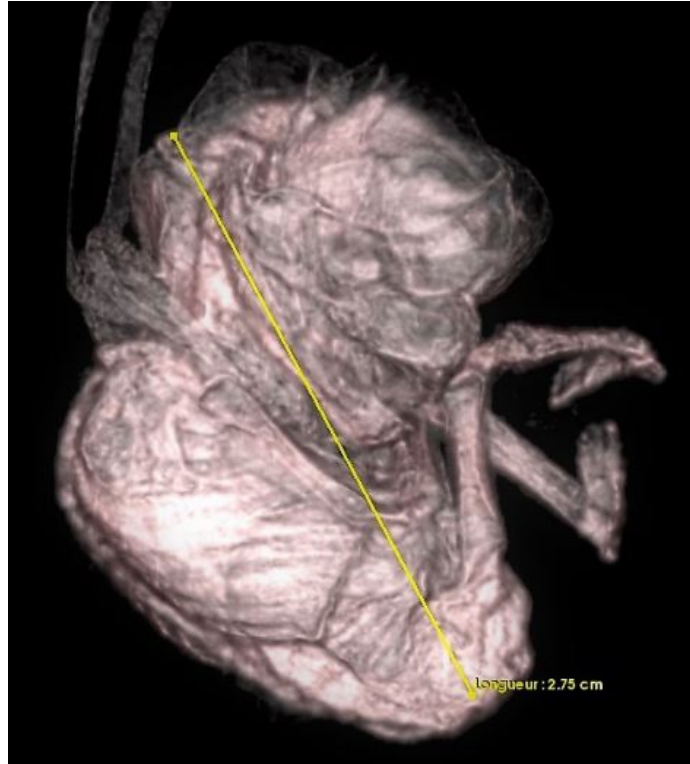


Figure 34 : Mesure de la longueur crânio caudale de l'individu δ et Ω . Images réalisées par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».

- Examen crânien : mesure du **diamètre bipariétale (DBP)** et du **périmètre crânien (HC)**.

Diamètre bi pariétal $\Omega = 21.5$ mm et périmètre crânien $\Omega = 84.8$ mm.

Remarque : le diamètre bipariétal n'a pu être mesuré chez les autres individus car il n'est mesurable qu'à partir de 10 semaines d'aménorrhées.

- Examen de la face : mesure du **diamètre oculaire (DO)** et du **diamètre inter-orbitaire (DIO)**.

Diamètre orbitaire $\Omega = 3.8$ mm et diamètre inter orbitaire $\Omega = 8.5$ mm.

Remarque : tout comme le diamètre bipariétal, le diamètre oculaire n'a pu être mesuré que chez l'individu oméga car il n'est mesurable qu'à partir de 11 semaines d'aménorrhées.

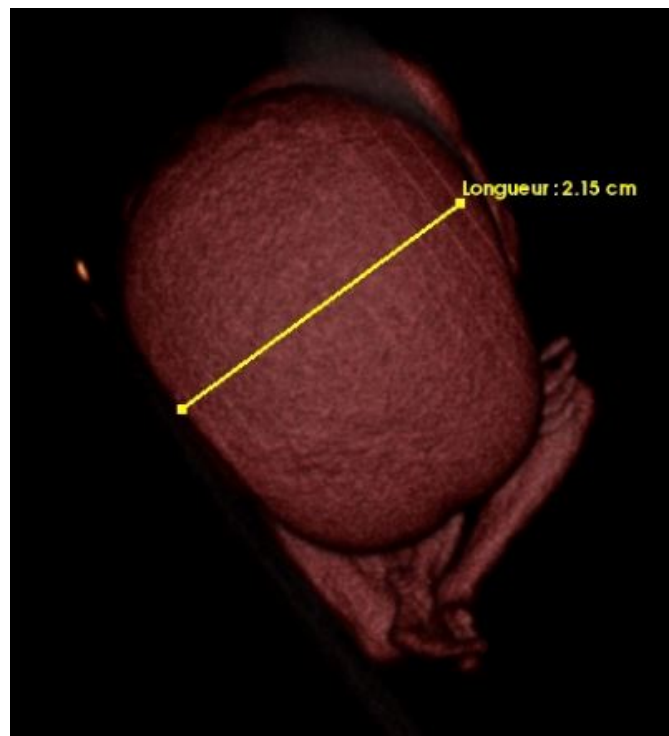


Figure 35 : Mesure du diamètre bi pariétal sur une coupe transversale du crâne de l'individu Ω .
Image réalisée par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».

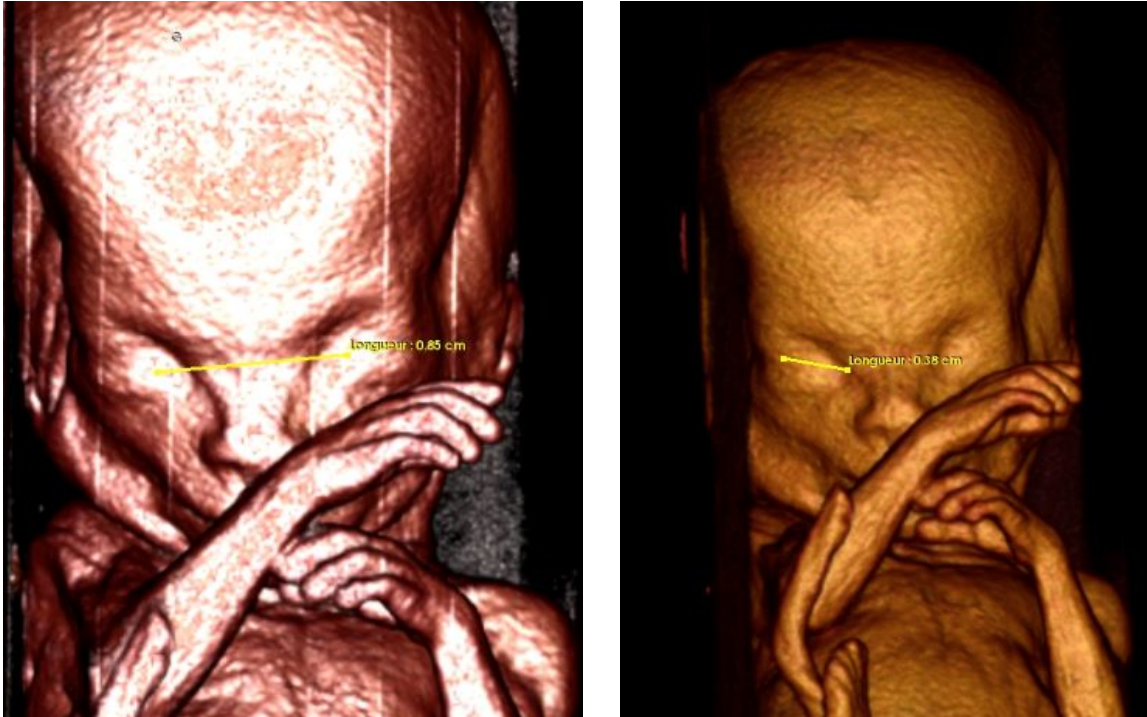


Figure 36 : Mesures de la distance inter-orbitaire et du diamètre oculaire de l'individu Ω . Images réalisées par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».

- Examen des membres : mesures des **longueurs fémorales (LF)** et du **pied (LP)**.

Longueur fémoral $\delta = 9.3$ mm et longueur du pied $\delta = 5.4$ mm

Longueur fémoral $\Omega = 14$ mm et longueur du pied $\Omega = 7.7$ mm

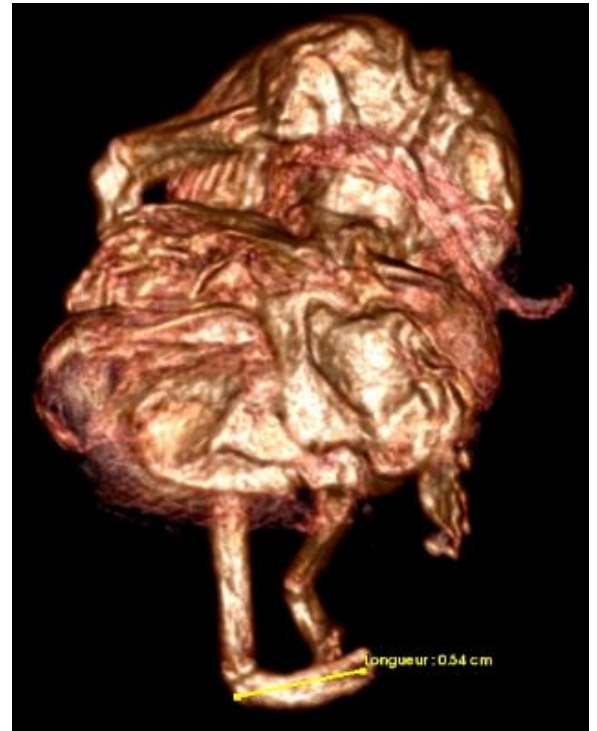
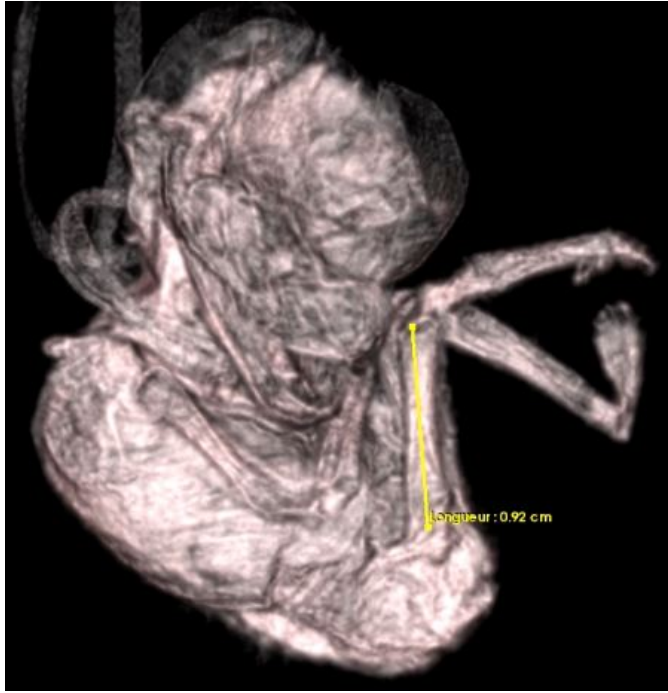


Figure 37 : Mesure de la longueur fémorale et de la longueur du pied de l'individu δ . Images réalisées par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».



Figure 38 : Mesure des longueurs fémorale et du pied sur l'individu Ω . Images réalisées par le Dr BOU Christophe avec le logiciel « Reconstruction 3D ».

α	β	δ	Ω
LCC = 16.8mm	LCC = 20.4mm	LCC = 27.5mm LF = 9.2 mm LP = 5.4 mm	LCC = 66.5 mm LF = 14 mm LP = 7.7 mm DBP = 21.9 mm HC = 84.8 mm AC = 76.4 mm DIO = 8.5mm DO = 4.5mm

Figure 39 : Résumé des différents relevés biométriques par analyse radiologique au CBCT.
Avec LCC : longueur crânio caudale ; LF : longueur fémorale ; LP : longueur du poed ; DBP : diamètre bipariétal ; HC : périmètre crânien ; AC : périmètre abdominal ; DIO : Diamètre inter-orbitaire ; DO : diamètre oculaire

- **Estimation de l'âge gestationnel à partir de la longueur crânio-caudale**

Chaque donnée biométrique relevée va être comparée aux formules et tables citées dans la partie 1, chapitre 3, afin de préciser l'âge gestationnel des individus et de le comparer à l'estimation macroscopique.

Tout d'abord, nous allons nous attarder sur l'estimation de l'âge selon la longueur crânio caudale car c'est cette mesure qui est la plus précise dans l'estimation de l'âge gestationnel, de plus elle s'applique à chacun de nos individus. Nous allons comparer 3 formules d'estimations, celle de Robinson et Fleming, celle de Wisser et son équipe et celle proposée récemment par le projet Intergrowth 21th.

Pour rappel voici les formules utilisés par ces différents auteurs :

Robinson et Fleming, 1975.

$$t = 8.052\sqrt{CRL} + 23.73$$

avec t l'âge gestationnel en jours et CRL, la longueur crânio caudale en mm.

Wisser et Al., 1994.

$$t = 35.72 + 1.082 L^{0.5} + 1.472 L - 0.09749 L^{1.5}$$

avec t l'âge gestationnel en jours et L la longueur crânio caudale en mm.

Intergrowth-21th, 2018.

$$GA = 40.9041 + 3.21585 \times CRL^{0.5} + 0.348954 \times CRL$$

avec GA l'âge gestationnel en jours et CRL la longueur crânio caudale en mm.

	α	β	δ	Ω
CRL	16.8 mm	20.4 mm	27.5 mm	66.5 mm
Robinson et Fleming	Age = 56.7 j = 8 SA	Age = 60.09 j = 8 SA + 4	Age = 65.9 j = 9 SA + 2	Age = 89.39 j = 12 SA + 5
Wisser et Al.	Age = 58.16 j = 8 SA + 2	Age = 61.65 j = 8 SA + 5	Age = 65.9 j = 9 SA + 4	Age = 89.56 j = 12 SA + 5
Intergrowth-21th	Age = 59.94 j = 8 SA + 4	Age = 62.54 j = 9 SA	Age = 67.36 j = 9 SA + 4	Age = 90.33 j = 12 SA + 6

Nous pouvons constater que l'écart entre ces différentes formules diminue lorsque l'embryon est plus âgé. En effet pour α l'écart entre les formules est d'environ 4 jours, pour β d'environ 3 jours, pour δ d'environ 2 jours et pour Ω il est d'un jour. Ainsi plus l'embryon est âgé, plus les formules semblent être précises et en accord entre elles. De plus les valeurs d'estimation de l'âge en fonction de la longueur crânio caudale sont en accord avec les fourchettes d'âges estimés avec l'examen macroscopique. De plus nous avons soumis ces longueurs crânio caudale au calculateur de « date de début de grossesse » proposé par le collège français d'échographie fœtale sur leur site internet, ce calculateur est considéré comme étant la référence en France, pour cela il suffit d'entrer la valeur de la longueur crânio caudale et le calculateur nous propose une estimation en fonction de Robinson et Fleming et en fonction de Intergrowth-21th. Nous pouvons ainsi constater que les dates estimées par le calculateur sont en accord avec celles que nous avons trouvées.

DATE DE L'ECHOGRAPHIE	LCC en 10ème de mm
23 ▼ 10 ▼ 2020 ▼	16.8

Calcul possible uniquement pour une LCC comprise entre 15 et 95 mm

CALCULER

	AGE GESTATIONNEL	DATE DE DEBUT DE GROSSESSE
Selon la courbe INTERGROWTH-21st (Ref)	8SA + 4J	07-09-2020
Selon la courbe de ROBINSON (Ref)	8SA + 0J	11-09-2020

Figure 40 : Détermination de la date du début de grossesse par le calculateur du Collège Français d'Echographie Fœtale à partir de la longueur crânio caudale : exemple du cas α .

Site : cfef.org/calculateur.

- **Estimation de l'âge gestationnel en fonction de la longueur fémorale.**

Dans un second temps, pour les individus δ et Ω nous allons estimer leur âge gestationnel en fonction d'un autre paramètre la longueur fémorale.

La corrélation entre l'âge gestationnel et la longueur fémorale a été décrite par Adalian la formule est résumée ci-dessous, ce qui nous permet de découvrir les âges suivants :

Adalian, 2002.

Age gestationnel = $0.434 \times LF + 6.93$

avec l'âge gestationnel en semaines d'aménorrhées et LF la longueur fémorale en mm.

Age $\delta = 0.434 \times 9.2 + 6.93 = 10.9$ SA

Age $\Omega = 0.434 \times 14 + 6.93 = 13$ SA

- **Estimation de l'âge gestationnel en fonction du diamètre bi-pariétal, des périmètres crânien et abdominal, de la longueur fémorale.**

Il existe d'autres paramètres permettant d'estimer l'âge comme le diamètre bipariétal utilisé en association avec la longueur fémorale et les périmètres crânien et abdominal décrits dans la formule d'Hadlock.

Selon les tables de Hadlock, voici les âges estimés :

- une longueur fémorale $\Omega = 14$ mm, donne un âge gestationnel de 14 SA
- un diamètre bi-pariétal $\Omega = 21.9$ mm, donne un âge gestationnel de 13 SA.
- un périmètre crânien $\Omega = 84.8$ mm, donne un âge gestationnel entre 13 et 13.5 SA.
- un périmètre abdominal $\Omega = 76.4$ mm, donne un âge gestationnel entre 14 et 14.5 SA.

L'âge gestationnel estimé avec les tables de HADLOCK est donc situé entre 13 et 14.5 SA.

Ces mêmes paramètres ont été repris en 2017 dans la formule du NICHD :

National Institute of Child Health and Human Development, 2017.

Age gestationnel = $10.6 - 0.168 \times BPD + 0.045 \times HC + 0.03 \times AC + 0.058 \times FL + 0.002 \times BPD^2 + 0.002 \times FL^2 + 0.0005 \times (BPD \times AC) - 0.005 \times (BPD \times FL) - 0.0002 \times (HC \times AC) + 0.0008 \times (HC \times FL) + 0.0005 \times (AC \times FL)$

avec l'âge gestationnel en semaines d'aménorrhées ; LF la longueur fémorale en mm ; BPD le diamètre bi pariétal, HC le périmètre crânien en mm, et AC le périmètre abdominal en mm.

Age gestationnel $\Omega = 10.6 - 0.168 \times 21.9 + 0.045 \times 84.8 + 0.03 \times 76.4 + 0.058 \times FL + 0.002 \times 21.9^2 + 0.002 \times 14^2 + 0.0005 \times (21.9 \times 76.4) - 0.005 \times (21.9 \times 14) - 0.0002 \times (84.8 \times 76.4) + 0.0008 \times (84.8 \times 14) + 0.0005 \times (76.4 \times 14) = 14.68 \text{ SA}$.

- **Estimation de l'âge gestationnel en fonction de l'œil ou du pied.**

Enfin, voici d'autres paramètres plus rarement utilisés pour dater l'âge d'un embryon ou d'un fœtus, utilisant le pied ou l'œil. Pour le pied nous utilisons la formule de Soo Wong car elle s'applique aux individus entre 10 et 16 SA :

Soo WONG.

Age gestationnel = 0.335 × FT + 8.845

avec l'âge gestationnel en semaines d'aménorrhées et FT la longueur du pied en mm.

Age gestationnel $\Omega = 0.335 \times 7.7 + 8.845 = 11,42 \text{ SA}$

Age gestationnel $\delta = 0.335 \times 5.4 + 8.845 = 10.65 \text{ SA}$

En ce qui concerne l'œil, nous nous référons à la table proposée par ROTH et ses collaborateurs, pour évaluer l'âge estimé de l'individu Ω et nous trouvons que l'âge estimé est de 13 SA pour un diamètre oculaire de 3.8 mm. Il est impossible de mesurer le diamètre orbitaire de l'individu δ car son pôle céphalique est déformé.

3. Résultats d'estimation de l'âge.

Premièrement, les estimations d'âge macroscopique sont données en semaines de développement, tandis que les estimations d'âge calculées à partir de mesures biométriques obtenues par l'analyse au CBCT sont exprimées en âge gestationnel qui sur évalue de 14 jours l'âge de développement. Ainsi chaque résultat obtenu en âge gestationnel sera converti en âge de développement en lui retirant 14 jours.

Rappelons les valeurs obtenues pour les estimations d'âge de nos quatre individus :

	α	β	δ	Ω
Estimation macroscopique	Entre 52 et 55 jours	49 et 55 jours	> 8 semaines	> 8 semaines
Estimation à partir de la CRL (Intergrowth)	8 SA + 4 = 60jA = 46 jours de dev.	9 SA = 63jA = 49 j de dev.	9 SA + 4 = 67 jA = 53 j de dev.	12 SA + 6 = 90 jA = 76 j de dev.
Estimation à partir de la LF			= 11 SA = 77 jA = 62 j de dev.	13 SA = 91 jA = 77 j de dev.

Estimation HADLOCK		Entre 13 SA et 14.5 SA
Estimation NICHD		14.68 SA = 103 jA = 88 j de dev
Estimation Soo WONG	10.65 SA = 75jA = 61 j de dev.	11.42 SA = 80jA = 66 j de dev.
Estimation Roth		13 SA = 91 jA = 76 j de dev

Pour l'individu α , l'estimation au CBCT est sous estimée par rapport à l'estimation macroscopique. Ceci peut s'expliquer par le fait du sous développement du pôle céphalique, en effet celui-ci a pu minorer la CRL, ce qui fausse notre estimation. En effet si nous avons tenu compte de sa taille pour l'évaluation du stade de Carnegie l'individu se trouverait au stade 18 ou 19 de Carnegie, or le développement des membres nous confirme qu'il se situe à un stade plus avancé. Ainsi l'estimation macroscopique est pour cet individu surement plus proche de la réalité que l'examen au CBCT. L'individu α est donc un embryon de stade 22 de Carnegie et d'environ **52 à 55 jours de développement.**

Pour l'individu β , le développement semble s'être fait de façon non pathologique, ainsi nous trouvons une corrélation entre les âges estimés macroscopiquement et par CBCT. L'individu β est un embryon de stade 21-22 de Carnegie et a environ **49 jours de développement.**

Pour l'individu δ , l'analyse macroscopique ne nous a pas permis de donner une estimation précise de son âge car nous manquons d'éléments. Ensuite, les estimations par CBCT à partir de la longueur crânio caudal sont en dessous de l'estimation faite par longueur fémorale. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'individu était replié sur lui-même, ce qui aurait faussé la mesure de la CRL. Ainsi l'analyse au CBCT a permis de compléter l'analyse macroscopique et sur cet individu, le paramètre le plus fiable semble être la longueur fémorale, il semble être confirmé par la longueur du pied.. Ainsi la diversité des paramètres mesurés nous permet de préciser ou d'infirmer une estimation. L'individu δ semble être âgé de **62 jours de développement.**

Pour l'individu Ω , les estimations au CBCT sont cohérentes entre elles, en effet l'analyse par la longueur crânio caudal, de la longueur fémorale et de l'oeil permettent d'obtenir la même estimation. Cependant nous remarquons que l'âge estimé par HADLOCK est proche des autres estimations. Cependant, la longueur du pied ou la formule d'estimation de NICHD semble éloignés des autres estimations. Ainsi les valeurs biométriques permettent d'affiner et de préciser l'estimation macroscopique. C'est cet individu qui permet de voir que nos résultats sont cohérents entre eux et donc que l'analyse au CBCT est complémentaire d'une analyse macroscopique. L'individu Ω est un fœtus qui a **environ 76/77 jours de développement.**

CONCLUSION :

Le premier objectif de notre travail anthropométrique était d'estimer l'âge gestationnel des 4 embryons et fœtus, nous avons vu précédemment que le premier embryon nommé Alpha avait entre 52 et 55 jours de développement, le deuxième embryon Béta environ 49 jours de développement, le troisième fœtus gamma environ 63 jours de développement et enfin le fœtus Oméga entre 76 et 77 jours de développement.

Le second objectif de cette étude était d'évaluer l'intérêt de l'utilisation d'acquisitions au cone beam computed tomography en complément d'une analyse macroscopique.

Hypothèse validée, le Cone Beam computed Tomography est un examen radiologique précis, qui en complément du relevé de mesures anthropométriques, permet d'apporter des éléments supplémentaires à l'analyse anthropologique pré-natal.

Dans cette étude anthropométrique d'identification des 4 embryons et fœtus, l'analyse macroscopique nous a permis de confirmer le caractère humain. De plus, l'analyse scopique des stades de développement de la face ou des membres ont permis une estimation approximative des stades de développement que nous avons comparés et rapprochés aux stades de CARNEGIE.

Dans un second temps, les acquisitions menées avec le cone beam computed tomography ont présenté plusieurs intérêts. Avec l'aide du logiciel de reconstruction 3D, la manipulation des échantillons est facilitée, il est possible d'effectuer des coupes et des rotations dans les 3 plans de l'espace qui permettent d'effectuer aisément les mesures anthropométriques de longueur ou de périmètre. Les mesures obtenues sont précises de l'ordre du dixième de millimètres. Ce logiciel permet aussi d'éviter les nombreuses manipulations manuelles qui pourraient altérer l'intégrité des scellés. De plus, les acquisitions au cone beam computed tomography offre la possibilité de créer un modèle avec une imprimante 3D, à l'échelle de l'échantillon étudié.

Cependant, dans notre étude anthropométrique nous avons du faire face à quelques difficultés. En effet les embryons Alpha, Béta et le fœtus Oméga ayant été conservés dans un liquide fixateur, le liquide de Boin, ce dernier a entraîné la déminéralisation des structures osseuses. A cet égard les mesures anthropométriques squelettiques sur 3 embryons n'ont pas été possibles pour étudier la maturation et croissance osseuse, seules les différenciations morphologiques cutanées ont pu être utilisées.

L'utilisation d'acquisition avec le cone beam computed tomography apparait comme un examen complémentaire de l'analyse macroscopique, à la fois par la précision de ses images, ainsi que par les différentes perspectives complémentaires qu'il offre (modèle 3D, impression 3D), de plus il présente l'avantage de réduire les manipulations invasives des fœtus.

Annexes :

Annexe 1 : Tables de Robinson et Flemming.

Robinson HP, Fleming JE. A critical evaluation of sonar « crown-rump length » measurements. Br J Obstet Gynaecol. 1975 Sept;82(9):702-710.

TABLE I

The basic mean and 2 SD values for each day of menstrual age from 6 weeks and 2 days to 14 weeks, together with the mean and "2 SD" values derived from the "regression analysis" and these latter mean values after correction for the systematic errors (1 mm + 3.7 per cent) of the technique.

Menstrual Maturity (weeks + days)	CRL (mm)		Values devised from "regression analysis" (mm)		Corrected "regression analysis" (mm)
	Mean	2 SD	Mean	2 SD	Mean values
6 + 2	7.0	3.3	6.7	2.9	5.5
6 + 3	6.5	1.4	7.4	3.1	6.1
6 + 4	7.0	4.6	8.0	3.2	6.8
6 + 5	6.5	4.2	8.7	3.4	7.5
6 + 6	10.0	2.6	9.5	3.5	8.1
7 + 0	9.3	2.3	10.2	3.7	8.9
7 + 1	10.3	8.0	11.0	3.8	9.6
7 + 2	11.8	5.7	11.8	3.9	10.4
7 + 3	12.8	4.8	12.6	4.1	11.2
7 + 4	13.4	6.7	13.5	4.2	12.0
7 + 5	15.4	3.6	14.4	4.4	12.9
7 + 6	15.4	4.4	15.3	4.5	13.8
8 + 0	17.0	4.9	16.3	4.6	14.7
8 + 1	19.5	5.7	17.3	4.8	15.7
8 + 2	19.4	6.2	18.3	4.9	16.6
8 + 3	20.4	5.0	19.3	5.1	17.6
8 + 4	21.3	3.8	20.4	5.2	18.7
8 + 5	20.9	2.4	21.5	5.3	19.7
8 + 6	23.2	3.6	22.6	5.5	20.8
9 + 0	25.8	6.0	23.8	5.6	21.9
9 + 1	25.4	4.6	25.0	5.8	23.1
9 + 2	26.7	4.4	26.2	5.9	24.2
9 + 3	27.0	2.8	27.4	6.0	25.4
9 + 4	32.5	4.2	28.7	6.2	26.7
9 + 5	30.0	10.0	30.0	6.3	27.9
9 + 6	31.3	5.5	31.3	6.5	29.2
10 + 0	33.0	7.2	32.7	6.6	30.5
10 + 1	33.8	7.6	34.0	6.7	31.8
10 + 2	35.2	7.3	35.5	6.9	33.2
10 + 3	36.0	7.9	36.9	7.0	34.6
10 + 4	37.3	9.7	38.4	7.2	36.0
10 + 5	43.4	7.7	39.9	7.3	37.4
10 + 6	40.1	7.1	41.4	7.4	38.9
11 + 0	46.7	6.1	43.0	7.6	40.4
11 + 1	43.6	7.2	44.6	7.7	41.9
11 + 2	47.5	6.2	46.2	7.9	43.5
11 + 3	48.8	5.9	47.8	8.0	45.1
11 + 4	49.0	9.5	49.5	8.1	46.7
11 + 5	54.0	9.8	51.2	8.3	48.3
11 + 6	56.2	9.5	52.9	8.4	50.0
12 + 0	58.3	9.4	54.7	8.6	51.7
12 + 1	56.8	7.2	56.5	8.7	53.4
12 + 2	59.4	6.6	58.3	8.8	55.2
12 + 3	62.6	8.6	60.1	9.0	57.0
12 + 4	63.5	9.5	62.0	9.1	58.8
12 + 5	67.7	6.4	63.9	9.3	60.6
12 + 6	66.5	8.2	65.9	9.4	62.5
13 + 0	72.5	4.2	67.8	9.5	64.3
13 + 1	69.7	8.5	69.8	9.7	66.3
13 + 2	73.0	15.1	71.8	9.8	68.2
13 + 3	77.0	8.5	73.9	10.0	70.2
13 + 4	-	-	76.0	10.1	72.2
13 + 5	-	-	78.1	10.2	74.2
13 + 6	76.0	5.7	80.2	10.4	76.3
14 + 0	79.6	7.8	82.4	10.5	78.3

Annexe 2 : Tables de HADLOCK et Al.

Hadlock FP, Deter RL, Harrist RB, Park SK. Estimating fetal age: computer-assisted analysis of multiple fetal growth parameters. Radiology. 1984;152(2):497-501.

TABLE III: Predicted Fetal Measurements at Specific Menstrual Age

Menstrual Age (wks)	Biparietal Diameter (cm)*	Head Circumference (cm)†	Abdominal Circumference (cm)‡	Femur Length (cm)§
12.0	1.7	6.8	4.6	0.7
12.5	1.9	7.5	5.3	0.9
13.0	2.1	8.2	6.0	1.1
13.5	2.3	8.9	6.7	1.2
14.0	2.5	9.7	7.3	1.4
14.5	2.7	10.4	8.0	1.6
15.0	2.9	11.0	8.6	1.7
15.5	3.1	11.7	9.3	1.9
16.0	3.2	12.4	9.9	2.0
16.5	3.4	13.1	10.6	2.2
17.0	3.6	13.8	11.2	2.4
17.5	3.8	14.4	11.9	2.5
18.0	3.9	15.1	12.5	2.7
18.5	4.1	15.8	13.1	2.8
19.0	4.3	16.4	13.7	3.0
19.5	4.5	17.0	14.4	3.1
20.0	4.6	17.7	15.0	3.3
20.5	4.8	18.3	15.6	3.4
21.0	5.0	18.9	16.2	3.5
21.5	5.1	19.5	16.8	3.7
22.0	5.3	20.1	17.4	3.8
22.5	5.5	20.7	17.9	4.0
23.0	5.6	21.3	18.5	4.1
23.5	5.8	21.9	19.1	4.2
24.0	5.9	22.4	19.7	4.4
24.5	6.1	23.0	20.2	4.5
25.0	6.2	23.5	20.8	4.6
25.5	6.4	24.1	21.3	4.7
26.0	6.5	24.6	21.9	4.9
26.5	6.7	25.1	22.4	5.0
27.0	6.8	25.6	23.0	5.1
27.5	6.9	26.1	23.5	5.2
28.0	7.1	26.6	24.0	5.4
28.5	7.2	27.1	24.6	5.5
29.0	7.3	27.5	25.1	5.6
29.5	7.5	28.0	25.6	5.7
30.0	7.6	28.4	26.1	5.8
30.5	7.7	28.8	26.6	5.9
31.0	7.8	29.3	27.1	6.0
31.5	7.9	29.7	27.6	6.1
32.0	8.1	30.1	28.1	6.2
32.5	8.2	30.4	28.6	6.3
33.0	8.3	30.8	29.1	6.4
33.5	8.4	31.2	29.5	6.5
34.0	8.5	31.5	30.0	6.6
34.5	8.6	31.8	30.5	6.7
35.0	8.7	32.2	30.9	6.8
35.5	8.8	32.5	31.4	6.9
36.0	8.9	32.8	31.8	7.0
36.5	8.9	33.0	32.3	7.1
37.0	9.0	33.3	32.7	7.2
37.5	9.1	33.5	33.2	7.3
38.0	9.2	33.8	33.6	7.4
38.5	9.2	34.0	34.0	7.4
39.0	9.3	34.2	34.4	7.5
39.5	9.4	34.4	34.8	7.6
40.0	9.4	34.6	35.3	7.7

* BPD = $-3.08 + 0.41 (MA) - 0.000061 MA^3$; $r^2 = 97.6\%$; 1 SD = 3 mm.

† HC = $-11.48 + 1.56 (MA) - 0.0002548 MA^3$; $r^2 = 98.1\%$; 1 SD = 1 cm.

‡ AC = $-13.3 + 1.61 (MA) - 0.00998 MA^2$; $r^2 = 97.2\%$; 1 SD = 1.34 cm.

§ FL = $-3.91 + 0.427 (MA) - 0.0034 MA^2$; $r^2 = 97.5\%$; 1 SD = 3 mm.

Annexe 3 : Tables de Wisser et Al.

Wisser J, Dirschedl P, Krone S. Estimation of gestational age by transvaginal sonographic measurement of greatest embryonic length in dated human embryos. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1994 Nov 1;4(6):457-462.

<i>Greatest length (mm)</i>	<i>Estimated days</i>	<i>95% confidence interval</i>	<i>Greatest length (mm)</i>	<i>Estimated days</i>	<i>95% confidence interval</i>
1	38.2	35.0-41.4	41	77.4	75.8-79.1
2	39.9	37.8-42.1	42	78.0	76.4-79.7
3	41.5	39.9-43.1	43	78.6	77.0-80.3
4	43.0	41.6-44.4	44	79.2	77.5-80.9
5	44.4	43.1-45.7	45	79.8	78.1-81.5
6	45.8	44.5-47.0	46	80.4	78.7-82.1
7	47.1	45.8-48.4	47	80.9	79.2-82.7
8	48.4	47.1-49.6	48	81.5	79.7-83.2
9	49.6	48.3-50.9	49	82.0	80.2-83.8
10	50.8	49.5-52.1	50	82.5	80.7-84.3
11	52.0	50.7-53.2	51	83.0	81.2-84.8
12	53.1	51.8-54.4	52	83.5	81.7-85.4
13	54.2	53.0-55.4	53	84.0	82.2-85.9
14	55.3	54.1-56.5	54	84.5	82.6-86.4
15	56.3	55.1-57.5	55	85.0	83.1-86.9
16	57.4	56.2-58.6	56	85.4	83.5-87.3
17	58.4	57.2-59.5	57	85.9	83.9-87.8
18	59.4	58.2-60.5	58	86.3	84.3-88.3
19	60.3	59.2-61.5	59	86.7	84.7-88.8
20	61.3	60.2-62.4	60	87.1	85.0-89.2
21	62.2	61.1-63.4	61	87.6	85.4-89.7
22	63.1	62.0-64.3	62	87.9	85.7-90.2
23	64.0	62.9-65.2	63	88.3	86.0-90.6
24	64.9	63.7-66.1	64	88.7	86.3-91.1
25	65.8	64.6-67.0	65	89.1	86.6-91.6
26	66.6	65.4-67.8	66	89.4	86.8-92.0
27	67.4	66.2-68.7	67	89.8	87.1-92.5
28	68.2	67.0-69.5	68	90.1	87.3-92.9
29	69.0	67.7-70.3	69	90.4	87.5-93.4
30	69.8	68.5-71.2	70	90.8	87.7-93.9
31	70.6	69.2-71.9	71	91.1	87.8-94.3
32	71.3	69.9-72.7	72	91.4	88.0-94.8
33	72.1	70.6-73.5	73	91.7	88.1-95.2
34	72.8	71.3-74.2	74	91.9	88.2-95.7
35	73.5	72.0-75.0	75	92.2	88.3-96.1
36	74.2	72.6-75.7	76	92.5	88.4-96.6
37	74.8	73.3-76.4	77	92.7	88.4-97.0
38	75.5	73.9-77.1	78	93.0	88.5-97.5
39	76.2	74.6-77.8	79	93.2	88.5-97.9
40	76.8	75.2-78.4	80	93.4	88.5-98.4

Annexe 4 : Tables de Intergrowth 21th.

Papageorghiou AT, Kennedy SH, Salomon LJ, Ohuma EO, Cheikh Ismail L et al. International standards for early fetal size and pregnancy dating based on ultrasound measurement of crown-rump length in the first trimester of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2014 Dec;44(6):641-648.

CRL (mm)	Gestational age (weeks)					CRL (mm)	Gestational age (weeks)				
	3 rd C.	10 th C.	50 th C.	90 th C.	97 th C.		3 rd C.	10 th C.	50 th C.	90 th C.	97 th C.
15	7+5	7+6	8+3	8+6	9+1	56	11+1	11+3	12+1	12+5	13+0
16	7+5	8+0	8+3	9+0	9+1	57	11+2	11+4	12+1	12+6	13+1
17	7+6	8+1	8+4	9+1	9+2	58	11+2	11+4	12+2	12+6	13+1
18	8+0	8+1	8+5	9+1	9+3	59	11+3	11+5	12+2	13+0	13+2
19	8+0	8+2	8+6	9+2	9+4	60	11+3	11+5	12+3	13+0	13+2
20	8+1	8+3	8+6	9+3	9+4	61	11+4	11+6	12+3	13+1	13+3
21	8+2	8+3	9+0	9+4	9+5	62	11+4	11+6	12+4	13+1	13+4
22	8+2	8+4	9+1	9+4	9+6	63	11+5	12+0	12+4	13+2	13+4
23	8+3	8+5	9+1	9+5	10+0	64	11+5	12+0	12+5	13+3	13+5
24	8+4	8+5	9+2	9+6	10+0	65	11+6	12+1	12+6	13+3	13+5
25	8+4	8+6	9+3	9+6	10+1	66	11+6	12+1	12+6	13+4	13+6
26	8+5	9+0	9+3	10+0	10+2	67	12+0	12+2	13+0	13+4	14+0
27	8+6	9+0	9+4	10+1	10+3	68	12+0	12+2	13+0	13+5	14+0
28	8+6	9+1	9+5	10+1	10+3	69	12+1	12+3	13+1	13+5	14+1
29	9+0	9+2	9+5	10+2	10+4	70	12+1	12+3	13+1	13+6	14+1
30	9+0	9+2	9+6	10+3	10+5	71	12+2	12+4	13+2	14+0	14+2
31	9+1	9+3	10+0	10+3	10+5	72	12+2	12+4	13+2	14+0	14+2
32	9+2	9+3	10+0	10+4	10+6	73	12+3	12+5	13+3	14+1	14+3
33	9+2	9+4	10+1	10+5	11+0	74	12+3	12+5	13+3	14+1	14+4
34	9+3	9+5	10+2	10+5	11+0	75	12+4	12+6	13+4	14+2	14+4
35	9+3	9+5	10+2	10+6	11+1	76	12+4	13+0	13+4	14+2	14+5
36	9+4	9+6	10+3	11+0	11+2	77	12+5	13+0	13+5	14+3	14+5
37	9+5	9+6	10+3	11+0	11+2	78	12+5	13+1	13+6	14+4	14+6
38	9+5	10+0	10+4	11+1	11+3	79	12+6	13+1	13+6	14+4	14+6
39	9+6	10+1	10+5	11+2	11+4	80	12+6	13+2	14+0	14+5	15+0
40	9+6	10+1	10+5	11+2	11+4	81	13+0	13+2	14+0	14+5	15+1
41	10+0	10+2	10+6	11+3	11+5	82	13+0	13+3	14+1	14+6	15+1
42	10+0	10+2	10+6	11+4	11+5	83	13+1	13+3	14+1	14+6	15+2
43	10+1	10+3	11+0	11+4	11+6	84	13+1	13+4	14+2	15+0	15+2
44	10+1	10+3	11+1	11+5	12+0	85	13+2	13+4	14+2	15+0	15+3
45	10+2	10+4	11+1	11+5	12+0	86	13+2	13+5	14+3	15+1	15+3
46	10+3	10+5	11+2	11+6	12+1	87	13+3	13+5	14+3	15+1	15+4
47	10+3	10+5	11+2	12+0	12+2	88	13+3	13+6	14+4	15+2	15+4
48	10+4	10+6	11+3	12+0	12+2	89	13+4	13+6	14+4	15+3	15+5
49	10+4	10+6	11+4	12+1	12+3	90	13+4	14+0	14+5	15+3	15+6
50	10+5	11+0	11+4	12+1	12+3	91	13+5	14+0	14+5	15+4	15+6
51	10+5	11+0	11+5	12+2	12+4	92	13+5	14+1	14+6	15+4	16+0
52	10+6	11+1	11+5	12+3	12+5	93	13+5	14+1	14+6	15+5	16+0
53	10+6	11+1	11+6	12+3	12+5	94	13+6	14+1	15+0	15+5	16+1
54	11+0	11+2	11+6	12+4	12+6	95	13+6	14+2	15+0	15+6	16+1
55	11+0	11+3	12+0	12+4	12+6						

Bibliographie :

1. Beauthier J-P. Approche médico-légale de l'infanticide et du décès en période néonatale. Rev Med Brux. 2007;431-8.
2. Gasser B, Lindner V. Examen du fœtus au cours des avortements du deuxième trimestre de la grossesse : de la salle de travail à l'unité foetopathologie. EMC-obstétrique. 2007 ;5(30) :1-13.
3. Larousse É. (page consultée le 15/08/2020). Vertébré, [en ligne]. <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/vertebre/101357>
4. Larsen WJ. Embryologie humaine. Bruxelles: De Boeck; 2011.
5. Encha-Razavi F, Escudier E. Embryologie. EMC - Obstétrique. 2010;5(3):1-30.
6. Thomassin JM, Barry P. Anatomie et physiologie de l'oreille externe. EMC - Oto-rhino-laryngologie. 2016;11(2):1-13.
7. Charrier JB, Catala M, Garabédian EN. Développement de l'oreille externe. EMC - Oto-rhino-laryngologie. 2006 Jan;1(1):1-3.
8. Embryology.ch. (page consultée le 11/08/2020). Les stades de Carnegie, [en ligne]. <http://www.embryology.ch/francais/iperiodembry/carnegie01.html>
9. Larousse É.(page consultée le 15/08/2020). Tératologie, [en ligne]. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/t%C3%A9ratologie/77371>
10. Binet A, Gorduza D, Kallas Chemaly A, Gay CL, Margain L, Scalabre A, et al. Développement génital normal et pathologique. EMC -Urologie. 2017;10(1):1-10.
11. Salomon LJ. Comment déterminer la date de début de grossesse ? J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod. 2011;40(8):726-733.
12. Guihard-Costa AM, Thiebaugeorges O, Droullé P. Biométrie foetale : standards de croissance et croissance individuelle. EMC- Gynécologie-obstétrique. 1999; 5(10):1-16.
13. Collège français d'échographie foetale (CFEF). Compte rendu du séminaire de travail du Collège français d'échographie foetal (CFEF) sur les référentiels et standards de biométrie foetale. Juin 2017. Gynécologie Obstétrique Fertilité Sénologie. 2017 Oct;45(10):545-51.
14. Galjaard S, Ameye L, Lees CC, Pexsters A, Bourne T, Timmerman D, et al. Sex differences in fetal growth and immediate birth outcomes in a low-risk Caucasian population. Biology of Sex Differences. 2019 Sept;10(1):48.
15. Wong HS. A revisit of the fetal foot length and fetal measurements in early pregnancy sonography. Int J Womens Health. 2017 Avr 13;9:199-204.
16. Roth P, Roth A, Clerc-Bertin F, Sommerhalder J, Maillet R. Mesures échographiques anténatales de l'œil et de la distance interorbitaire. J Gynecol Obstet Biol Reprod. 1999 Jul;28(4):343-351.
17. Robinson HP, Fleming JE. A critical evaluation of sonar « crown-rump length » measurements. Br J Obstet Gynaecol. 1975 Sept;82(9):702-710.18.

18. Hadlock FP, Deter RL, Harrist RB, Park SK. Estimating fetal age: computer-assisted analysis of multiple fetal growth parameters. *Radiology*. 1984 aou;152(2):497-501.
19. Wisser J, Dirschedl P, Krone S. Estimation of gestational age by transvaginal sonographic measurement of greatest embryonic length in dated human embryos. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 1994 Nov 1;4(6):457-462.
20. Adalian P, Piercecchi-Marti MD, Bourlière-Najean B, Panuel M, Leonetti G, Dutour O. Nouvelle formule de détermination de l'âge d'un fœtus. *CR biologies*. 2002;325(3):261-269.
21. Papageorghiou AT, Kennedy SH, Salomon LJ, Ohuma EO, Cheikh Ismail L et al. International standards for early fetal size and pregnancy dating based on ultrasound measurement of crown-rump length in the first trimester of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol*. 2014 Dec;44(6):641-648.
22. Stevens K, Elia J, Kaneshiro B, Salcedo J, Soon R, Tschann M. Updating fetal foot length to gestational age references: a chart review of abortion cases from 2012 to 2014. *Contraception*. 2020;101(1):10-13.
23. Haj Salem N, Dedouit F, Maret D, Adalian P, Rougé D, Piercecchi MD, et al. Estimation de l'âge fœtal par étude scanographique des longueurs fémorales et tibiales : comparaison entre les reconstructions en deux et en trois dimensions. *Rev Médecine Légale*. 2010 Aou;1(2):71-77.
24. Kadji C, Cannie MM, Resta S, Guez D, Abi-Khalil F, De Angelis R, et al. Magnetic resonance imaging for prenatal estimation of birthweight in pregnancy: review of available data, techniques, and future perspectives. *Am J Obstet Gynecol*. 2019 mai;220(5):428-439.
25. Minier M, Dedouit F, Maret D, Vergnault M, Mokrane FZ et al. Fetal Age Estimation Using MSCT Scans of the Mandible. *Int J Legal Med*. 2014;128:493-499.
26. Saati S, Kaveh F, Yarmohammadi S. Comparison of Cone Beam Computed Tomography and Multi Slice Computed Tomography Image Quality of Human Dried Mandible using 10 Anatomical Landmarks. *J Clin Diagn Res*. 2017 Fev;11(2):13-16.
27. Cavézian R, Pasquet G. 1 - Du cliché rétroalvéolaire 2D à l'imagerie sectionnelle: tomographie, scanner, cone beam 3D. In: Cavézian R, Pasquet G, éditeurs. *Cone Beam : Imagerie Diagnostique en Odontostomatologie*. Paris: Elsevier Masson; 2011 p.1-32.
28. Cavézian R, Pasquet G. 2 - L'appareil cone beam, ses déclinaisons, ses protocoles d'utilisation. In: Cavézian R, Pasquet G, éditeurs. *Cone Beam : Imagerie Diagnostique en Odontostomatologie*. Paris: Elsevier Masson; 2011. p. 33-46.
29. Commission des dispositifs médicaux de l'association dentaire française. *Tomographie volumique à faisceau conique ou cone beam computed tomography : justification, optimisation et lecture*. Paris : Association dentaire française; 2015.
30. Nasseh I, Al-Rawi W. Cone Beam Computed Tomography. *Dent Clin North Am*. 2018;62(3):361-91.
31. Haute Autorité de Santé - Service évaluation des actes professionnels. *Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography)*. Paris : Haute Autorité de Santé ; 2009.

Autorisation de reproduction des figures et tableaux :

Figures 6, 7, 8, 9, 11 : « *the anatomy of the human embryo* » de G. STEDING.

This Agreement between Miss, Mathilde BOUNYAVONG ("You") and Karger Publishers ("Karger Publishers") consists of your license details and the terms and conditions provided by Karger Publishers and Copyright Clearance Center.

License Number	5011361185554
License date	Feb 17, 2021
Licensed Content Publisher	Karger Publishers
Licensed Content Publication	Karger Book
Licensed Content Title	1.1 The External Form of the Embryo
Licensed copyright line	Copyright © 2009, Karger Publishers
Licensed Content Author	Steding Gerd
Licensed Content Date	Jul 1, 2009
I would like to...	Thesis/Dissertation
Requestor type	student
Format	Print, Electronic
Portion	figures/tables/illustrations
Number of figures/tables/illustrations	2
Include Image file	no
Rights for	Main product
Duration of use	Life of current edition/presentation
Creation of copies for the disabled	no
With minor editing privileges	yes
In the following language(s)	Original language of publication
With incidental promotional use	no
The lifetime unit quantity of new product	100
Title	Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation gestationnel de 4 foetus. Evaluation de l'utilité du cone beam computed tomography.
Institution name	Université de Bordeaux
Expected presentation date	Mar 2021
Portions	Images pages 9 et 11
The requesting	BOUNYAVONG Mathilde

Figure 16 : Larsen WJ. Embryologie humaine. Bruxelles: De Boeck; 2011.

DB DEBIE Bruno <Bruno.Debie@deboecksuperieur.com >
Jeu 25/02/2021 17:59
À : Vous

Re-bonjour Mademoiselle Bounyavong,

Nous avons le plaisir de vous accorder cette demande d'autorisation à titre gracieux.
Nous vous demanderons juste de bien indiquer la référence de l'ouvrage dont cette illustration est issue.

Bien cordialement,

Bruno Debie
Assistant administratif
☎ +32 (0)10 77 38 91

Annexe 2 : Hadlock FP, Deter RL, Harrist RB, Park SK. Estimating fetal age: computer-assisted analysis of multiple fetal growth parameters. Radiology. 1984 aou;152(2):497-501.

RADIOLOGICAL SOCIETY OF NORTH AMERICA
420 JORGE MUYO, 2444 WOODLARK BOULEVARD
FALGOUT, CALIFORNIA 94025-1100
WWW.RSNA.ORG

RSNA
Radiological Society
of North America

February 22, 2021

Mathilde Bounyavong

France

Dear Mathilde Bounyavong:


The Radiological Society of North America (RSNA[®]) is pleased to grant you permission to reproduce the following table in print and electronic formats for use in a thesis, provided you give full credit to the authors of the original publication.

Table III
Hadlock F P, Deter R L, Harrist R B, et al. Estimating Fetal Age: Computer-Assisted Analysis of Multiple Fetal Growth Parameters', Radiology 1984;152:497-501.

This permission is a one-time, non-exclusive grant for English-language use and is exclusively limited to the usage stated and underlined above. The requestor guarantees to reproduce the material as originally published. Permission is granted under the condition that a full credit line is prominently placed (i.e. author name(s), journal name, copyright year, volume #, inclusive pages and copyright holder).

This permission becomes effective upon receipt of this signed contract. Please sign a copy of this agreement, return a signed copy to me and retain a copy for your files. Thank you for your interest in our publication.

[Print Name]: BOUNYAVONG Mathilde

SIGNATURE:  Date: 25/02/2021

Annexe 3 : Wisser J, Dirschedl P, Krone S. Estimation of gestational age by transvaginal sonographic measurement of greatest embryonic length in dated human embryos. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1994 Nov 1;4(6):457-462.

This Agreement between Miss, Mathilde BOUNYAVONG ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center.

License Number	5011260007769
License date	Feb 17, 2021
Licensed Content Publisher	John Wiley and Sons
Licensed Content Publication	ULTRASOUND IN OBSTETRICS and GYNECOLOGY
Licensed Content Title	Estimation of gestational age by transvaginal sonographic measurement of greatest embryonic length in dated human embryos
Licensed Content Author	S. Krone, P. Dirschedl, J. Wisser
Licensed Content Date	Feb 18, 2003
Licensed Content Volume	4
Licensed Content Issue	6
Licensed Content Pages	6
Type of Use	Dissertation/Thesis
Requestor type	University/Academic
Format	Print and electronic
Portion	Figure/table
Number of figures/tables	1
Will you be translating?	No
Title	Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation gestationnel de 4 foetus. Evaluation de l'utilité du cone beam computed tomography.
Institution name	Université de Bordeaux
Expected presentation date	Mar 2021
Portions	table II
Requestor Location	Miss, Mathilde BOUNYAVONG

Annexe 4 : Papageorghiou AT, Kennedy SH, Salomon LJ, Ohuma EO, Cheikh Ismail L et al. International standards for early fetal size and pregnancy dating based on ultrasound measurement of crown-rump length in the first trimester of pregnancy. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2014 Dec;44(6):641-648.

This Agreement between Miss, Mathilde BOUNYAVONG ("You") and John Wiley and Sons ("John Wiley and Sons") consists of your license details and the terms and conditions provided by John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center,

License Number	5011260615703
License date	Feb 17, 2021
Licensed Content Publisher	John Wiley and Sons
Licensed Content Publication	ULTRASOUND IN OBSTETRICS and GYNECOLOGY
Licensed Content Title	International standards for early fetal size and pregnancy dating based on ultrasound measurement of crown-rump length in the first trimester of pregnancy
Licensed Content Author	J. Villar, Z. A. Bhutta, C. G. Victora, et al
Licensed Content Date	Nov 2, 2014
Licensed Content Volume	44
Licensed Content Issue	6
Licensed Content Pages	8
Type of Use	Dissertation/Thesis
Requestor type	University/Academic
Format	Print and electronic
Portion	Figure/table
Number of figures/tables	1
Will you be translating?	No
Title	Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation gestationnel de 4 fœtus. Evaluation de l'utilité du cone-beam computed tomography.
Institution name	Université de Bordeaux
Expected presentation date	Mar 2021
Portions	table III
Requestor Location	Miss, Mathilde BOUNYAVONG

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Morphogenèse et organogenèse dans l'estimation de l'âge gestationnel de 4 fœtus. Evaluation de l'utilité du Cone Beam Computed Tomography.

Résumé :

Suite à des travaux de rénovation, la découverte fortuite de 4 fœtus dans des flacons a pour conséquence l'ouverture d'une enquête judiciaire.

Il va en découler une mission d'identification anthropologique ayant pour objectif d'estimer l'âge gestationnel et l'origine humaine ou non de chacun.

En médecine et odontologie légale, les indicateurs de l'âge du fœtus sont rares lorsqu'ils concernent les premiers mois, les seuls paramètres existants sont les données biométriques issues des examens échographiques de suivi de grossesse (longueur crânio-caudale, périmètres céphaliques et abdominaux). Ce travail a permis de mettre en évidence l'utilité du cone beam computed tomography en complément d'une analyse anthropométrique pour évaluer l'âge des 4 fœtus.

En effet, les acquisitions au Cone Beam computed Tomography ont permis des analyses biométriques des fœtus, ainsi que la reproduction 3D de chaque scellé.

Ces acquisitions ont pour avantage d'être précise sans altérer l'intégrité des fœtus.

Mots clés :

Longueur crânio-caudale ; longueur fémorale ; Stade de Carnegie ; CBCT ; Age gestationnel

Morphogenesis and organogenesis in the estimation of the gestational age of 4 fetuses. Evaluation of the usefulness of the Cone Beam Computed Tomography.

Abstract :

During renovation of a house, the fortuit discovery of 4 fetuses in jar, has resulted in the opening of an investigation.

Then, an anthropological identification mission has been opened, whose the aim was the estimation of the gestational age and the human origin or not of each fetuses.

In forensic medicine or dentistry, only some indicators can be used to estimate gestational age during the first months. There are biometrics indicators measured with ultrasound during the pregnancy (crown-rump length, abdominal and head circumferences). This work evaluates the advantage of CBCT to complete the anthropometric analysis, in age estimation of 4 fœtus.

In fact, acquisitions with the CBCT allowed biometric measurement on the fetuses, as well as the 3D reproduction of some fetuses. These acquisitions are enough specific without altering the integrity of fetuses.

Keywords :

Crown-rump length ; femoral length ; Carnegie Stage ; CBCT ; Gestational age.