

à partir du 22^e jour après la conception, lorsqu'apparaît le premier arc pharyngé, qui deviendra une partie de la mâchoire, jusqu'à la fin de la neuvième semaine. Les résultats de ce travail seront bientôt à la disposition des embryologistes et des médecins – ainsi que du grand public – sur le site Internet *Multidimensional Human Embryo* (c'est-à-dire l'embryon humain en trois dimensions). Les premières données y sont déjà présentées, le reste le sera vers le mois de juin 2000.

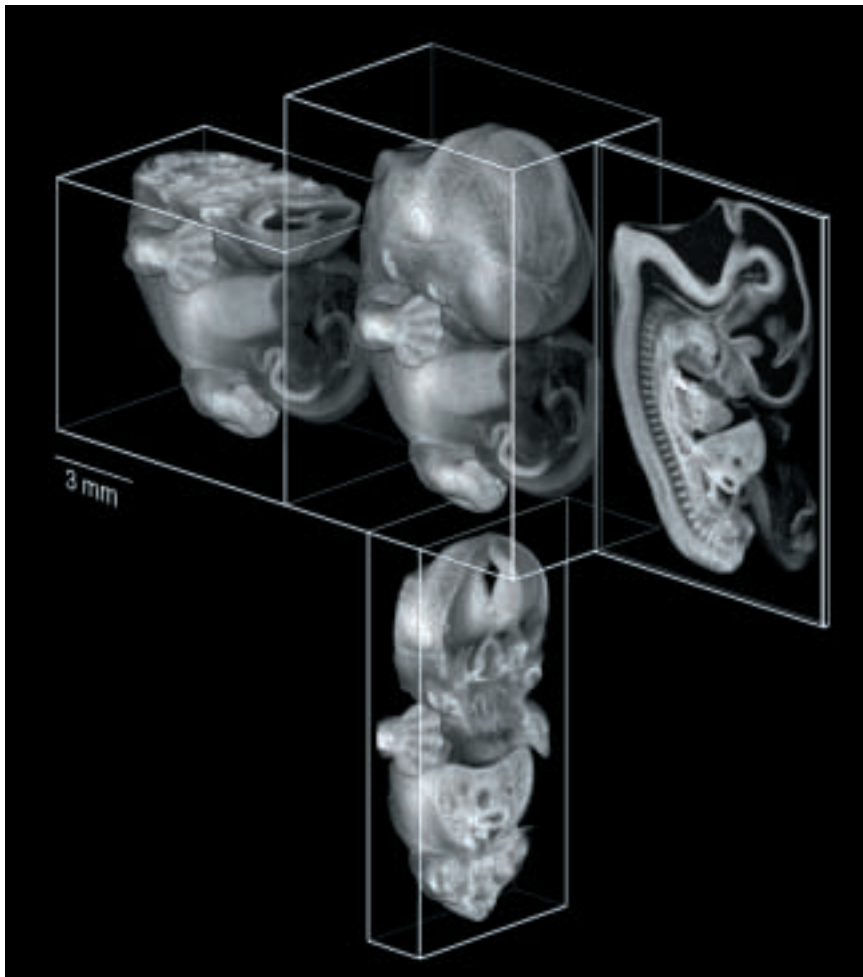
Pour réaliser ces images, j'ai placé les flacons contenant les embryons dans un aimant supraconducteur. L'appareil est analogue à ceux que l'on utilise pour l'imagerie par résonance magnétique (IRM) pratiquée dans de nombreux hôpitaux. Comme l'IRM, la technique de microscopie par résonance magnétique utilise des ondes radio pour exciter les noyaux des atomes d'hydrogène (ou protons) présents dans les molécules d'eau contenues dans les tissus ; les ondes radio réémises par ces protons révèlent leur présence (les aimantations des protons

s'alignent sur le champ magnétique appliqué ; puis on perturbe cet arrangement et l'on enregistre le courant électrique induit dans des bobines par les champs magnétiques des protons qui reviennent à leur état d'équilibre). La microscopie par résonance magnétique montre des détails avec une précision qui serait inutile pour un diagnostic médical : alors que l'imagerie par résonance magnétique donne des images dont la résolution spatiale est égale à un millimètre cube, la microscopie par résonance magnétique détecte des détails un million de fois plus petits. On atteint cette résolution grâce à des aimants plus puissants, qui exercent des gradients de champ magnétique supérieurs, et à des dispositifs d'imagerie adaptés aux échantillons minuscules.

Les techniques de microscopie par résonance magnétique qui ont été mises au point à l'Université Duke n'endommagent absolument pas les embryons (au contraire, avec des microscopes classiques, il aurait fallu découper les échantillons en centaines

de coupes minces). On obtient des images d'embryons en trois dimensions en moins de deux heures, ce qui est sans aucune comparaison avec les centaines d'heures requises pour la reconstruction tridimensionnelle à partir de la microscopie optique.

Les informaticiens utilisent des logiciels de reconstruction pour obtenir des images de qualité : nous avons utilisé un logiciel de reconstruction de volume et combiné les images de microscopie par résonance magnétique (128 images contenant 256×256 pixels) ; nous avons formé un réseau cubique de 8,4 millions de voxels (le voxel est l'élément de volume). Chaque voxel représente une minuscule portion de l'embryon. Le logiciel nous permet de faire tourner la matrice des voxels, d'éliminer certaines couches de voxels ou, même, d'ajouter des couleurs ou d'ajuster les intensités. Nous utilisons des algorithmes informatiques pour «éclairer» virtuellement l'embryon de l'arrière vers l'avant : les «rayons lumineux» sont plus ou moins absorbés par les voxels



2. DES COUPES TRIDIMENSIONNELLES révèlent des détails extrêmement fins de l'intérieur d'un embryon humain – ici âgé de 44 jours (*ci-dessus en microscopie optique*). L'embryon, d'une dizaine de millimètres, a encore des doigts et des orteils palmés, mais son cerveau est déjà divisé en deux hémisphères ; les structures qui formeront les vertèbres (*la structure qui ressemble à des pointillés sur la vue de droite*) et divers organes sont présents. La microscopie par résonance magnétique montre des embryons sous différents angles sans les endommager.