

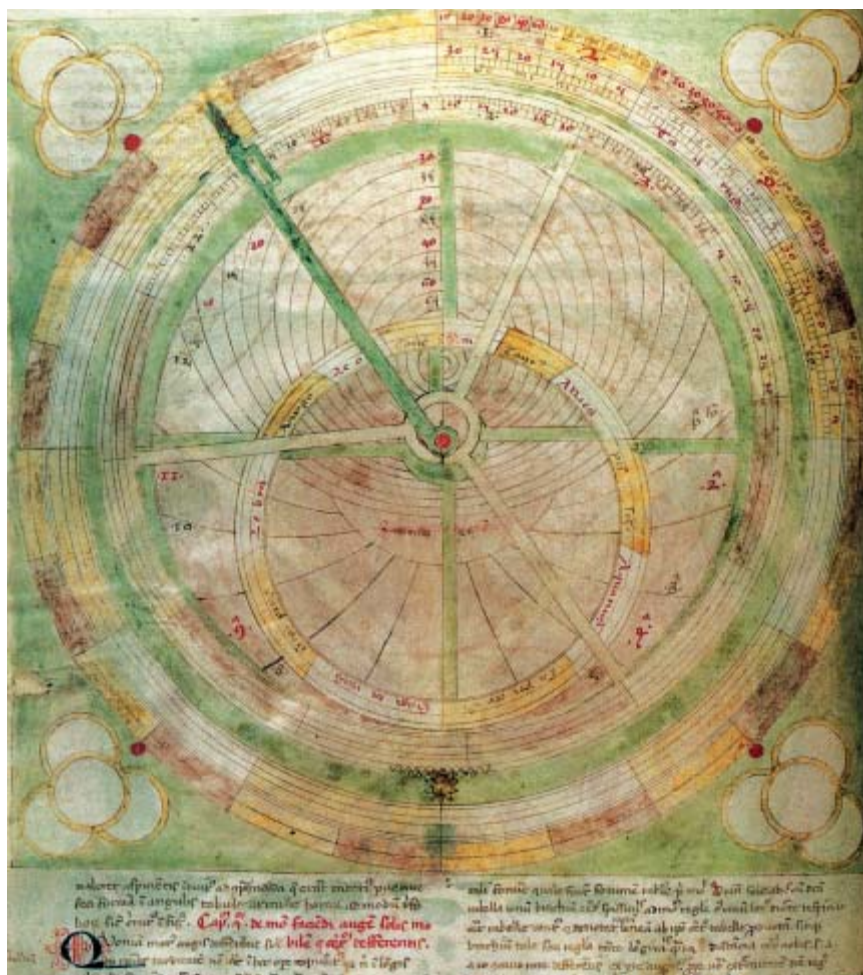
du centre du déferent : une règle, qui pivote autour du centre du déferent, porte l'axe de l'épicycle. D'autre part, ce dernier passe dans une fente ménagée dans l'un des rayons de la roue de l'équant, roue motrice de son mouvement (voir la figure 3). Ainsi, le centre de l'épicycle reste à distance constante du centre du déferent, grâce à la règle du déferent, et tourne régulièrement autour du centre de l'équant, grâce à la roue de l'équant.

Les trains d'engrenages responsables du mouvement épicyclique doivent être organisés autour du centre de l'équant (puisque c'est par rapport à lui que les vitesses angulaires relatives au mouvement de la planète sont uniformes). La première roue, fixe, est centrée sur le déferent et les autres roues sont portées par l'un des rayons de la roue de l'équant. Pour que ces roues continuent d'engrener sur la roue fixe, quelle que soit la distance du centre de l'épicycle au centre de la roue de l'équant, tout le support du train, et par seulement l'axe de l'épicycle, coulisse dans la fente précédente. Ce support est une réglette où sont fixés les axes des roues intermédiaires et l'axe de l'épicycle. Pour tenir compte des caractéristiques propres aux théories ptoléméennes de Mercure et de la Lune, Dondi a imaginé des aménagements particuliers : par exemple, le train épicyclique de Mercure comporte deux roues ovales, et celui de la Lune deux roues de contours irréguliers et complémentaires (voir la figure 4).

Comment les mécanismes planétaires indiquent-ils la position des planètes dans le ciel ? Avec une aiguille pivotant autour du centre du monde et percée d'une fente où passe le corps de la planète. Cette aiguille est ainsi entraînée par le mouvement de la planète et indique sa position sur la graduation fixe du pourtour du cadran, qui représente le zodiaque (voir la figure 3).

Le cadran du Soleil est différent de celui des autres planètes. Il est actionné directement par l'horloge ordinaire (dans la partie inférieure de la tour) qu'il surplombe. Le mouvement du Soleil est extrêmement simple (il n'a ni épicycle ni déferent). Il constitue un astrolabe mécanisé, l'astrolabe étant un instrument qui montre à la fois le mouvement quotidien du Soleil et son mouvement annuel dans le zodiaque (voir la figure 5).

Première horloge planétaire de l'histoire, l'astrarium inspira pendant 200 ans les concepteurs des modèles suivants. Ainsi, certains dispositifs sont quasiment devenus de règle, notamment les roues autour du centre de l'équant et les fentes aménagées pour faire varier la distance entre deux points en liaison mécanique. En revanche, les roues ovales et les roues



5. Le cadran du Soleil est un astrolabe mécanisé, qui montre à la fois le mouvement quotidien du Soleil et son mouvement annuel dans le zodiaque.

à contour irrégulier ne paraissent pas avoir fait école, peut-être parce qu'elles ont été tenues pour responsables des médiocres prestations de l'astrarium.

L'existence du compte-rendu d'atelier décrivant la construction de l'astrarium, conservé à la bibliothèque capitulaire de Padoue, a motivé trois entreprises de reconstruction. Cependant, les deux premières n'ont pas respecté en tous points les instructions de Dondi. Grâce à une bonne compréhension de son texte qui suppose des compétences à la fois en paléographie, en latin et en astronomie médiévale, mes collègues et moi-même avons réalisé une reconstruction fidèle de l'astrarium, conservée à l'Observatoire de Paris.

Elle est en laiton, comme l'original. Au Moyen Âge, on usait mécaniquement les dents des engrenages des horloges pour leur donner la forme adéquate. À cette méthode, nous avons préféré la conception assistée par ordinateur, pour tracer la forme des dents des roues, que Dondi n'a pas précisée. Nous avons vérifié leur bon fonctionnement sur des maquettes en contre-plaqué et avons

notamment constaté que les roues dont le contour n'est pas circulaire ne constituaient pas un obstacle à la bonne marche de l'astrarium, sous réserve que la forme des dents soit adaptée. Pour supprimer les frottements de la roue de l'année, nous l'avons installée sur un roulement à billes. Si l'astrarium était génial sur le plan scientifique, cette reconstruction a montré qu'il n'a sans doute jamais bien fonctionné. L'admiration qu'ont éprouvée ses visiteurs, au XV<sup>e</sup> siècle, ne s'adressait pas tant à ce qu'ils voyaient qu'à ce qu'ils espéraient ou rêvaient voir.

**Emmanuel POULLE** est historien des sciences, directeur honoraire de l'École des chartes et secrétaire perpétuel de l'Académie internationale d'histoire des sciences.

**John NORTH**, *The Astrolabe*, in *Scientific American*, n° 230, pp. 96-106, 1974.

**Emmanuel POULLE**, *Pour une typologie de l'horlogerie astronomique médiévale*, Académie des inscriptions et belles lettres, Comptes-rendus, pp. 635-662, 1997.

# Grossesse et hypertension

FRANÇOISE FERRÉ • BRUNO CARBONNE

*Au XXI<sup>e</sup> siècle, dans les pays industrialisés, et notamment en France, la mortalité des femmes enceintes reste encore trop élevée. Aussi les obstétriciens et les biologistes tentent-ils d'élucider les raisons de cet apparent archaïsme médical. Une forme d'hypertension, la prééclampsie, est au banc des accusés.*

Chez les Égyptiens, le placenta, organe très élaboré, grâce auquel s'établit le premier dialogue entre la mère et son enfant, était conservé. Considéré comme faisant partie du nouveau-né, dont il était séparé lors de la naissance, il était son «âme externe». Il servait à prévoir, alors que la mortalité infantile était élevée, si le nouveau-né vivrait : on broyait dans du lait un petit morceau de son placenta et on lui donnait à boire le mélange. S'il vomissait ce «principe de vie», il mourrait ; s'il l'avalait, il vivrait. Ainsi, les Anciens avaient déjà compris que cet «organe», qui, chez la femme, représente le sixième du poids du nouveau-né, est essentiel au développement du fœtus.

On a récemment découvert que des anomalies siégeant dans le placenta sont responsables d'une pathologie spécifique de l'espèce humaine qui survient durant la grossesse : la prééclampsie, une forme d'hypertension grave. La prééclampsie est une cause importante de morbidité et de mortalité maternelles dans la plupart des pays développés. En France, elle concerne environ cinq pour cent des femmes qui n'ont pas encore eu d'enfant, et sa fréquence est supérieure lors des grossesses multiples, lors d'anomalies utérines et chez les femmes qui ont une hypertension et un dysfonctionnement rénal chroniques, avant même leur grossesse.

Elle est également plus fréquente lorsque la femme a plus de 38 ans lors de sa grossesse. La prééclampsie a des conséquences néfastes pour la mère, mais également pour le fœtus ; elle peut

notamment entraîner un retard de croissance intra-utérin, et représente la deuxième cause de morbidité et de mortalité périnatales.

En France, près de cinq pour cent des fœtus présentent un retard de croissance intra-utérin correspondant à un poids de naissance inférieur à 2 500 grammes, à terme. Même lorsqu'un nouveau-né ayant eu un retard de croissance intra-utérin (dû à une prééclampsie maternelle ou à une autre cause) récupère bien après la naissance, il risque d'avoir, quand il sera adulte, plus de troubles métaboliques et cardio-vasculaires que la moyenne de la population.

La prééclampsie est aussi l'une des principales causes de prématurité : pour éviter des complications fœtales graves liées à cette maladie, on doit souvent extraire l'enfant avant terme. Aujourd'hui, les traitements dont on dispose ne font pas régresser la pathologie sous-jacente, mais se contentent de réduire l'hypertension artérielle lorsqu'elle devient menaçante pour la mère. La prééclampsie de la mère et le retard de croissance intra-utérin de l'enfant surviennent parfois simultanément, mais aussi de façon indépendante : on peut observer une prééclampsie sans retard de croissance intra-utérin, et un tel retard, sans que les signes maternels de la prééclampsie soient encore apparus.

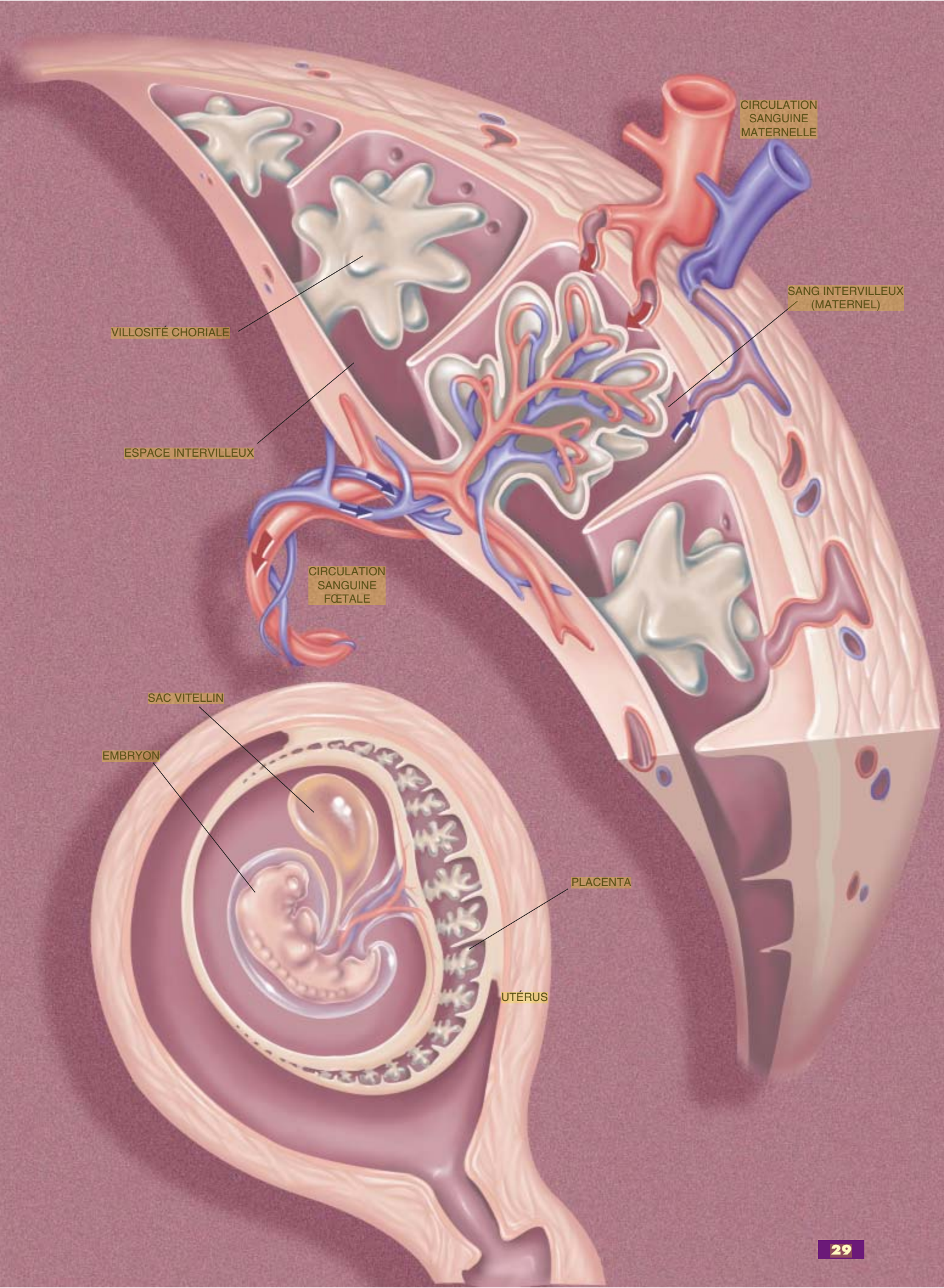
Après avoir décrit un peu plus en détail cette maladie, nous rappellerons le rôle essentiel du placenta dans l'établissement du dialogue materno-fœtal normal et, enfin, nous aborderons les mécanismes physiopathologiques de

l'origine de la maladie. Aujourd'hui, obstétriciens et biologistes sont persuadés que les pathologies vasculaires maternelles, les anomalies de la croissance fœtale et la prématurité spontanée sont intimement liées, et que les mêmes lésions placentaires sont à l'origine de la maladie de la mère et des troubles du développement du fœtus. Lorsque l'on saura dépister et traiter les femmes qui risquent de souffrir de prééclampsie, on aura fait un pas vers la sécurité de la grossesse et la diminution des risques courus par les femmes enceintes et par les nouveau-nés.

Normalement, la pression artérielle des femmes enceintes a tendance à diminuer au cours de la grossesse, en raison de l'augmentation du volume sanguin maternel. Certaines femmes peuvent être hypertendues à cause d'une hypertension artérielle préexistante, connue et généralement contrôlée par des médicaments, ou d'une hypertension artérielle gravidique pure (qui apparaît

**1. LE PLACENTA se met en place dès le début de la grossesse et servira au fœtus de poumon, de rein et de tube digestif. Durant le premier mois (ci-contre, en bas), l'embryon se développe sur ses réserves, et les échanges avec la mère sont quasi inexistantes (sur cette représentation schématisée, l'embryon occupe, dans l'utérus, une place notablement plus importante que dans la réalité). En revanche, dès la fin du premier trimestre (détail en haut, à droite), le réseau sanguin maternel irrigue abondamment le placenta. Le réseau sanguin du fœtus s'est développé et le placenta est le lieu des échanges entre le sang fœtal et le sang maternel qui apporte l'oxygène et les éléments nutritifs au fœtus, et le débarrasse de ses déchets métaboliques.**





VILLOSITÉ CHORIALE

ESPACE INTERVILLEUX

CIRCULATION  
SANGUINE  
FŒTALE

CIRCULATION  
SANGUINE  
MATERNELLE

SANG INTERVILLEUX  
(MATERNEL)

SAC VITELLIN

EMBRYON

PLACENTA

UTÉRUS



durant la grossesse). Dans ce cas, les mécanismes physiopathologiques sont différents de ceux de la prééclampsie et leurs conséquences, tant maternelles que fœtales moins graves : la femme a une hypertension, mais le fœtus n'en souffre pas. Les obstétriciens distinguent ces différentes formes d'hypertension par des examens complémentaires, notamment par une analyse d'urine.

## Hypertension et perte de protéines

En effet, chez les femmes ayant une prééclampsie, on constate, outre l'hypertension, une protéinurie, c'est-à-dire la présence de protéines dans les urines (normalement, on ne détecte pas de protéines dans les urines). Cette fuite de protéines est souvent associée à des œdèmes : la perméabilité des capillaires augmente de façon anormale, de sorte que du liquide quitte les vaisseaux, s'accumulant dans l'espace extracellulaire. Dans le glomérule rénal qui assure la filtration du sang et l'élimination des

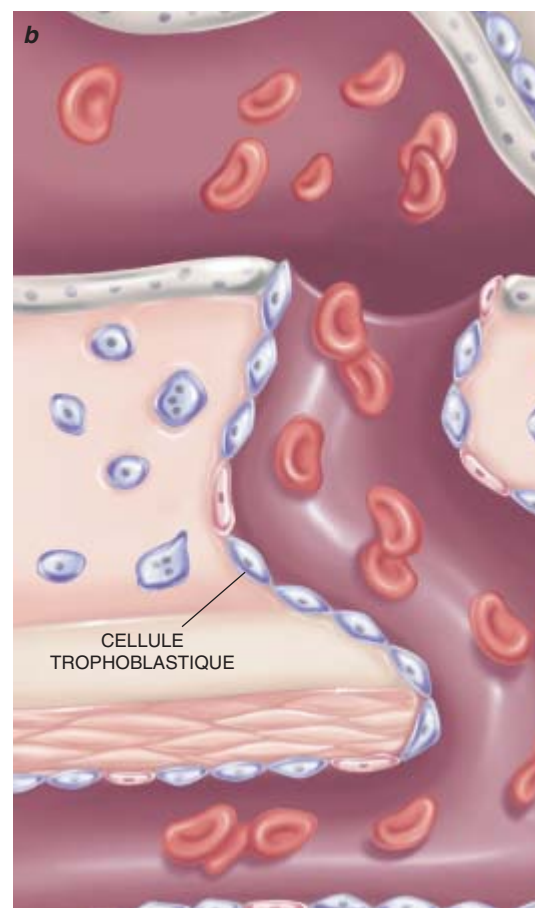
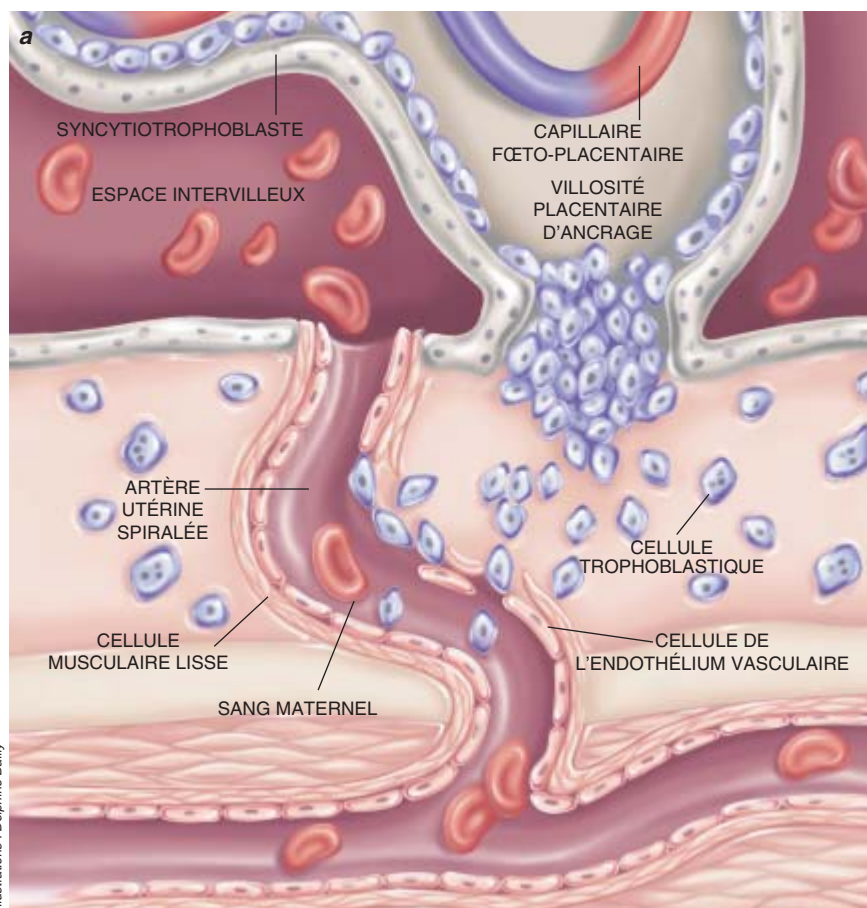
déchets vers les urines, la perméabilité excessive des capillaires autorise la fuite (normalement interdite) de protéines.

Une prééclampsie est généralement découverte tardivement, après la vingtième semaine de grossesse, souvent au cours du troisième trimestre. Les anomalies vasculaires responsables de l'hypertension et de la protéinurie engendrent des troubles vasculaires multiples : l'endothélium, la couche monocellulaire qui sépare le sang des autres constituants de la paroi des vaisseaux, est endommagé. De plus, l'aggrégation des plaquettes, les cellules sanguines qui participent à la coagulation, augmente et, avec elle, les risques de formation de caillots sanguins. Enfin, divers facteurs de coagulation ou qui favorisent la constriction des vaisseaux sont activés. Presque tous les organes maternels sont susceptibles d'être perturbés, et des troubles rénaux, neurologiques, hépatiques ou métaboliques risquent d'apparaître. Ils culminent avec l'éclampsie, marquée par l'apparition de convulsions à la fin de la gros-

sesse ou après l'accouchement. L'éclampsie est responsable de 10 à 15 décès, chaque année, en France.

La définition de la prééclampsie, auparavant nommée toxémie gravidique, a évolué. Aujourd'hui, elle est définie par l'association d'une hypertension artérielle supérieure ou égale à 140/90 millimètres de mercure et d'une protéinurie supérieure ou égale à 0,30 gramme par 24 heures. Les œdèmes, pourtant fréquents, ne sont plus indispensables au diagnostic de la maladie, car, en fin de grossesse, plus du quart des femmes enceintes ont des œdèmes. L'utilisation d'une définition internationale commune est nécessaire pour que les études menées dans les divers hôpitaux sur cette maladie puissent être utilisées par tous.

Aujourd'hui, tout un ensemble de résultats indique que l'hypertension n'est pas la cause de la maladie : elle n'est que la conséquence d'une anomalie du dialogue qui s'établit très tôt entre la mère et son enfant par l'intermédiaire du placenta.



**2. LE SYSTÈME VASCULAIRE UTÉRIN MATERNEL est remanié au cours de la grossesse. Peu après l'implantation complète de l'embryon dans la muqueuse de l'utérus (entre la deuxième et la troisième semaine), certaines cellules trophoblastiques, nommées extravillositaires ou invasives (en bleu), se multiplient et commen-**

**cent à migrer. Elles atteignent les vaisseaux sanguins maternels (a), s'agglutinent dans les artères, prennent la place des cellules de l'endothélium vasculaire, et détruisent les cellules de la couche musculaire lisse qui assurent la contraction des vaisseaux et autorisent leur dilatation. Dans le cas normal (b), cette stratégie se traduit par**