

Mémoire de Maîtrise en médecine No 808

# Étude d'un nouvel outil didactique pour l'apprentissage de la vascularisation du genou en première année de médecine

Raphaël Ayer

## **Tuteur**

Dr Beat Riederer

Department of Cell Biology and Morphology, DBCM

## **Co-tuteur**

Prof associé Pierre-Yves Zambelli

Hôpital orthopédique, CHUV

## **Expert**

Prof. Jean-Pierre Hornung

Department of Cell Biology and Morphology, DBCM

Lausanne, août 2012



## **Résumé**

### **But :**

L'objectif de ce projet est de fournir un outil didactique pour l'apprentissage de la vascularisation du genou en première année de médecine.

### **Méthode :**

Une angiographie est effectuée sur les membres inférieurs d'un cadavre. Des colorants rouges et bleus sont injectés respectivement dans les artères et les veines des genoux. Par la suite, une dissection du genou gauche est accomplie et six coupes transverses du genou droit sont mises en relation avec les images CT correspondantes. Une reconstruction tridimensionnelle de l'angiographie est enfin réalisée.

### **Résultats :**

Les préparations citées ci-dessus sont présentées aux étudiants lors de séances de travaux pratiques sous forme d'un cours de 30 minutes environ.

### **Conclusion :**

Il est possible d'améliorer l'enseignement de l'anatomie en faisant varier les angles d'approche d'une même région anatomique. Cette pratique est très appréciée des étudiants. En effet, ceux-ci montrent une grande motivation lors de ces séances de travaux pratiques, ce qui renforce bien évidemment l'apprentissage.

## **Remerciements**

En préambule de ce travail, je souhaiterais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail :

Au Dr Beat Riederer pour la richesse de l'enseignement et de l'aide apportée durant tout le travail, ainsi que pour sa disponibilité sans égale.

Au Prof. Hugues Cadas pour la qualité de son enseignement et les conseils de dissection.

À la Dresse Silke Grabherr pour sa très précieuse aide dans la sélection puis la reconstruction tridimensionnelle des images scannographiques.

À Monsieur Alexandre Dominguez pour son aide dans l'acquisition des coupes CT.

À Monsieur Eric Bernardi pour l'impression des photos présentées aux étudiants.

Au CURML (Centre Universitaire Romand de Médecine Légale) pour le prêt des locaux et l'accueil de l'équipe.

Au DBCM (Département de Biologie Cellulaire et Morphologie) pour le prêt des locaux ainsi que pour avoir fourni les corps utilisés pour ce travail.

À Anne Chantal Ayer, ma maman, pour la relecture de l'orthographe.

Et enfin aux deux personnes ayant légué anonymement leur corps à la science, permettant ainsi la réalisation de ce travail.

## **Introduction**

L'apprentissage de l'anatomie au début du cursus universitaire de médecine peut être une tâche malaisée. La quantité de matière à intégrer est phénoménale, il est donc requis de structurer ce travail, dans le but de ne pas se perdre dans des détails peu pertinents. Ici réside le grand labeur des étudiants en première année de médecine.

Les sujets abordés jusqu'au module d'anatomie sont présentés de manière très « scolaire ». En effet, ces derniers sont exposés de telle façon que l'étudiant dispose de toutes les notions nécessaires, avec les documents de cours, pour réussir les examens. L'enseignement de l'anatomie se déroule tout autrement. Il est demandé aux étudiants de fournir un travail individuel plus conséquent en raison de la trop grande étendue de la matière pour pouvoir l'enseigner dans de traditionnels cours ex cathedra. Cette toute nouvelle manière de travailler, peut en perturber plus d'un. Les étudiants doivent, de ce fait, structurer leur travail en distinguant les concepts importants des notions plus théoriques et moins pertinentes pour leur pratique future. Le problème est qu'ils ne possèdent souvent pas encore les connaissances nécessaires à un tel choix, en effet, cela requiert des représentations physiopathologiques qui ne sont enseignées que bien plus tard dans le cursus universitaire.

À cela s'ajoute le fait que l'anatomie représente un système complexe, composé de structures tridimensionnelles interagissant entre elles dans un espace restreint, par surcroisements, souscroisements, ou autres perforations. L'étude des livres demande donc un grand effort de réflexion afin de reconstruire mentalement ces structures. (1)(2)

Le sujet de ce travail porte sur le genou car c'est une articulation pour laquelle les médecins se voient particulièrement souvent sollicités. Des causes de consultations médicales spécifiquement vasculaires sont courantes. Par exemple, l'artériopathie des membres inférieurs, pouvant occlure les artères des jambes, dont l'artère poplitée est une pathologie atteignant 2.5% de la population entre 50 et 59 ans, 4.7% entre 60 et 69 ans et plus de 14.5% après 70 ans. (3)

Un traitement conservateur est tout d'abord introduit selon les guidelines de prévention secondaire des maladies cardiovasculaires. C'est-à-dire diminution du LDL cholestérol (4), stabilisation glycémique en cas de diabète et un contrôle de l'hypertension par traitement médicamenteux est aussi indispensable (5). Des modifications de style de vie sont également importantes en particulier l'arrêt d'un éventuel tabagisme (6), une perte de poids (7) ainsi qu'une augmentation de l'activité physique.

En cas de progression de la maladie sous ces mesures ou en cas d'atteinte initiale trop importante, un traitement invasif doit être à son tour envisagé. Dans cette situation, une voie chirurgicale ou percutanée est possible en fonction de la sévérité des lésions endovasculaires, suivant le score TASC II.

Les angioplasties des membres inférieurs sont le plus communément pratiquées au niveau fémoro-poplitée. Elles consistent en l'introduction d'un cathéter dans l'artère fémorale par voie inguinale, qui est ensuite déplacé jusqu'à l'occlusion ou jusqu'au rétrécissement vasculaire, autrement dit : sténose. Un ballon y est gonflé de façon à dilater le resserrement. Il est ensuite possible de disposer un stent, petit ressort métallique, servant à maintenir un diamètre suffisant dans le vaisseau. (8)(9)(10) Bien que la pose d'un tel dispositif soit courante au niveau fémoral, un stent n'est généralement pas placé au niveau poplitée, car en raison des mouvements de flexion et extension de l'artère poplitée, le risque de rupture du stent est élevé. Ceci augmente considérablement le risque de resténose intra-stent. (11)(12)

Une excellente connaissance de l'anatomie du réseau vasculaire du membre inférieur est nécessaire au médecin pratiquant une telle intervention car les complications sont fréquentes. La mortalité est heureusement faible, <0.5 %, mais la morbidité se trouve malgré tout assez élevée, 5 à 8%. La plupart des complications se localisent à distance du site de dilatation vasculaire, les hématomes au point de ponction et les envois distaux d'embolies sont parmi les plus fréquentes avec 1 à 2% des cas. Les thromboses de l'artère fémorale sont plus rarement vues. Les complications situées au site de sténose sont peu familières mais peuvent aller jusqu'à mettre en jeu le pronostic vital du patient, les plus fréquemment rencontrées sont les dissections et les perforations artérielles. (12)

Cet exemple parmi bien d'autre illustre la nécessité d'une bonne connaissance de l'anatomie du membre inférieur dans la pratique médicale, c'est pour cette raison que ce travail vise à créer un outil didactique pour améliorer l'apprentissage de la vascularisation du genou en première année de médecine.

Diverses techniques ont été sélectionnées dans le but de varier les approches de ce complexe sujet. Tout d'abord une angiographie sera réalisée sur un cadavre, suivie d'une injection de colorants rouges et bleus dans les artères et les veines des deux genoux. Une dissection sera pratiquée sur un genou et l'autre sera coupé transversalement en 6 tranches qui seront mises en relation avec les images de scanner.

La partie sur la dissection sera abordée en premier, en détaillant chaque étape utilisée pour mettre en évidence la vascularisation du genou. Le deuxième sujet expliquera la phase du scanner et enfin la dernière partie abordera les coupes.

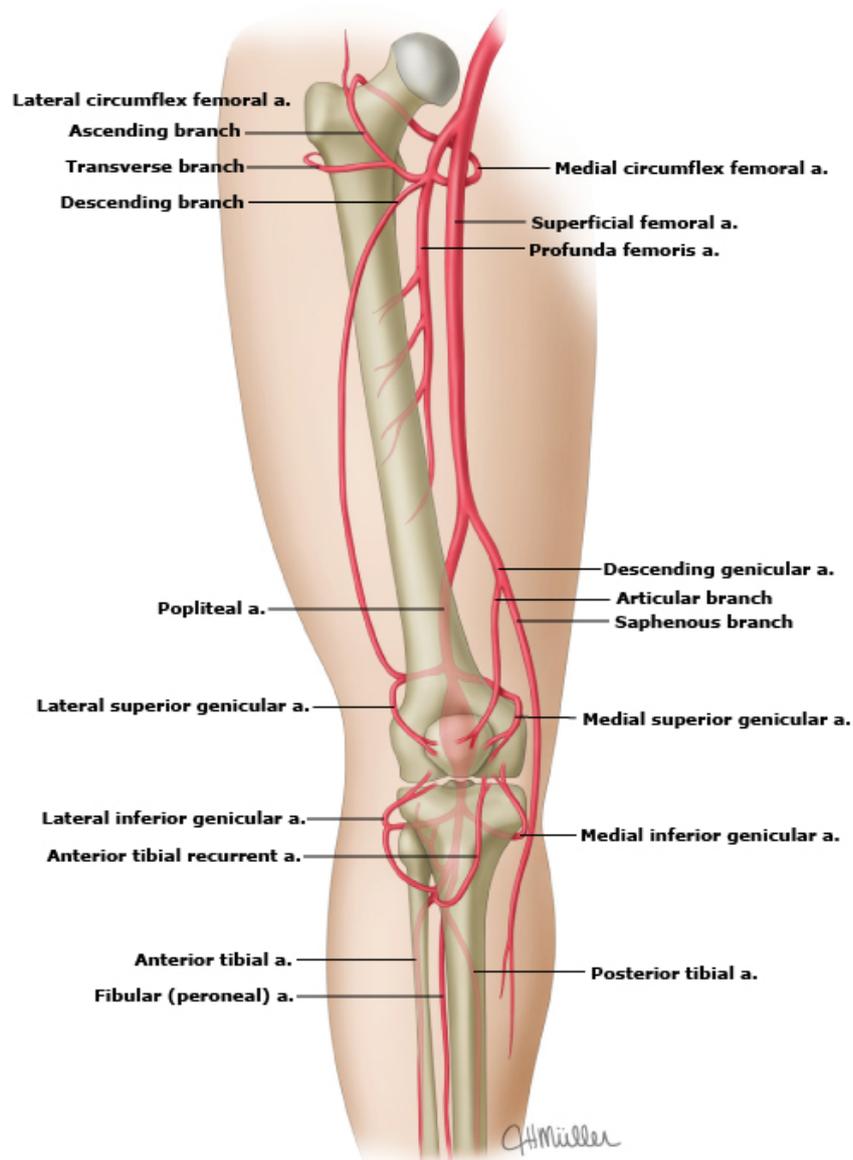


Figure 1 - Schéma de la vascularisation du genou, vue antérieure.  
 Source : UpToDate® [www.uptodate.com](http://www.uptodate.com) ©2012 UpToDate

## **Méthode**

Deux corps ont été mis à disposition de ce projet, par le département de biologie cellulaire et morphologie (DBCM). Tout d'abord un corps masculin, puis en raisons de problèmes rencontrés lors de l'angiographie, ci-dessous discutés, il fut nécessaire d'utiliser un deuxième corps, celui-ci féminin.

### **Scanner**

La première étape de ce projet est de pratiquer un scanner. Pour ce faire le cadavre est monté au Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML). (13) Toute la partie imagerie de ce projet est réalisée en collaboration avec deux étudiantes TRM (technicienne en radiologie médicale) accomplissant un travail de Bachelor ayant pour titre « Développement et optimisation du protocole de visualisation des membres inférieurs lors de l'angio-CT post-mortem ». Les informations techniques, ci-dessous, relatives au CT proviennent du projet de bachelor de ces étudiantes.

Tout débute par une incision de environ 10 centimètres au niveau inguinal bilatéralement, afin de mettre en évidence les vaisseaux fémoraux. Ces derniers sont incisés dans le but d'y insérer des canules rénales en direction des membres inférieurs, qui sont elles-mêmes ligaturées à leur artère ou à leur veine respective pour en empêcher l'échappement lors de l'injection de produit de contraste. Ce dispositif est ensuite relié à une pompe CEC (Circulation ExtraCorporelle) modifiée par l'équipe du CURML, de modèle Virtangio®. (13)

Une acquisition de phase native est tout d'abord effectuée par un scanner General Electric 8 barrettes.

Viennent ensuite les phases perfusées. Celles-ci se passent en deux temps : la phase artérielle et la phase veineuse. Le produit de contraste utilisé alors est de l'Angiofil®, mélange composé d'huile de paraffine (3,5mL) et d'huile de lin iodée (210 mL). La forte action lipophile de ce produit permet sa non-union avec le sang, rendant possible la différenciation de ces deux liquides.

La phase artérielle est acquise après injection de 1500 mL, correspondant à 750 mL par membre inférieur, avec un débit de 800 mL/min.

La phase veineuse est, à son tour, obtenue après injection de 2000 mL, c'est-à-dire 1000 mL par membre inférieur avec un débit de 800 mL/min. (14)

Les images acquises par angiographie sont ensuite reconstruites en trois dimensions, à l'aide d'un ordinateur du CURML.

### **Colorants**

Les membres inférieurs sont par la suite sectionnés environ 7 cm supérieurement et 12 cm inférieurement à la rotule, dans le but de limiter le travail de dissection et coupe aux seuls genoux.

La prochaine étape consiste en l'injection de colorant rouge dans les artères et bleu dans les veines. Des peintures pour coques de bateaux sont utilisées pour ce faire : « Perfection / Rouge Rochelle 299 » et « Perfection / Bleu Flag 990 », choisis pour leur capacité à polymériser et donc adhérer plus efficacement. 50 mL de colorant rouge sont injectés dans les artères poplitées des deux jambes, tout en vérifiant leur réapparition distale.

50 mL de peinture bleue est injectée dans les veines poplitées des deux membres inférieurs.

Les deux genoux sont alors plongés dans de l'alcool, afin de les conserver durant toute la durée du travail, en attendant la plastination. Cette phase est différée de environ 30 minutes, en raison de la nécessité de laisser les colorants polymériser.

## **Dissection**

La jambe gauche est disséquée afin de mettre en évidence la vascularisation du genou. Cette partie est expliquée plus en détail dans le chapitre « Résultats ».

## **Coupes**

Le membre inférieur droit est, quant à lui, congelé à -20°C pour faciliter sa découpe en tranche ultérieure. Celle-ci s'effectue à l'aide d'une scie électrique. Cette partie est également discutée précisément dans le chapitre « Résultats ».

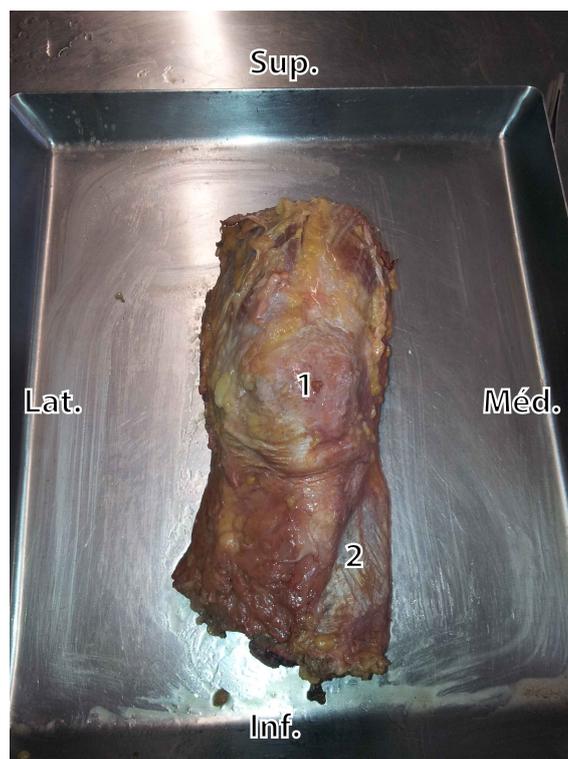
## Résultats

### Dissection :

La dissection est effectuée sur un genou gauche, séparé du reste du corps à l'aide d'une scie, environ 7cm supérieurement et 12cm inférieurement à la patella.

Le premier geste fût une incision de la peau sur toute la longueur de la face postérieure de la pièce, puis réclinée latéralement et médialement. Cette dernière sera totalement séparée, par la suite, du fascia lata et de l'aponévrose jambière superficielle sous-jacents. Afin de pouvoir atteindre les muscles, le fascia lata doit être disséqué, il est très délicatement récliné au niveau de la face antérieure de la rotule pour épargner le fin réseau vasculaire péripatellaire. L'insertion du tractus ilio-tibial, sous le condyle latéral tibial, est sectionnée ce qui donnera ultérieurement un accès aux artères latérales du genou. La participation du fascia lata aux Retinaculum patellaires médial et latéral est aussi séparée. Le fascia jambier est lui aussi enlevé par séparation délicate de la couche musculaire sous-jacente ainsi que section de ses insertions tibiales.

L'importante atrophie musculaire ainsi que la forte quantité de tissu adipeux que présente ce corps, compliquent tous les gestes plus profonds que les fascias superficiels, car cela nécessite de retirer les tissus graisseux sans léser les structures juxtaposées.



**Figure 2 - vue antérieure**

1. Patella
2. Face médiale du tibia

La vascularisation du genou étant essentiellement visible postérieurement, la prochaine étape consiste en une division des muscles ischio-jambiers, entre le biceps fémoral et les muscles semi-tendineux et semi-membraneux, afin de libérer l'accès supérieur au creux poplité. Il en résulte, après avoir retiré la masse graisseuse poplitée, l'apparition du couple artério-veineux composé des artère et veine poplitées, ainsi que du nerf tibial. Pour des raisons de visibilité et de simplification de la pièce, toutes les structures nerveuses seront enlevées.

Médialement se trouvent les tendons des muscles gracile et sartorius qui se rejoignent avec la participation du muscle semi-tendineux dans une insertion commune, sur la face antéro-médiale de la diaphyse du tibia, appelée patte-d'oie superficielle. Le muscle semi-membraneux quant à lui s'insère postérieurement, sous le plateau tibial, formant la patte d'oie profonde.

Afin de faciliter l'accès inférieur à la face postérieure du genou, il est nécessaire de séparer le chef du gastrocnémien latéral du gastrocnémien médial par une incision centrale, puis ceux-ci sont réclinés sur les côtés. Les origines supérieures de ces deux chefs, respectivement sur les faces postérieures de l'épicondyle médial et du latéral sont conservées. Cela découvre le muscle soléaire qui est découpé le long de son insertion sur la face postérieure du tibia ainsi que sur la face postérieure de la tête et du corps de la fibula. Cette dissection est effectuée à environ 5mm de l'insertion, laissant une indication utile à l'orientation dans la pièce. L'arcade tendineuse du muscle soléaire n'a malheureusement pas été conservée à ce moment. Le petit muscle plantaire est également mis en évidence par la division gastrocnémienne. Ayant une longue portion tendineuse inférieure avant son insertion calcanéenne, celle-ci fut sectionnée lors de la séparation du pied du genou, le muscle plantaire est alors récliné latéralement.

La dissection soléaire permet de découvrir la séparation de l'artère poplitée en artère tibiale postérieure et artère tibiale antérieure. Cette dernière est aisément reconnaissable par son trajet de la face postérieure à la face antérieure à travers la membrane interosseuse. L'artère tibiale postérieure, accolée à cette membrane, donne une branche latérale, qui n'est autre que l'artère fibulaire.

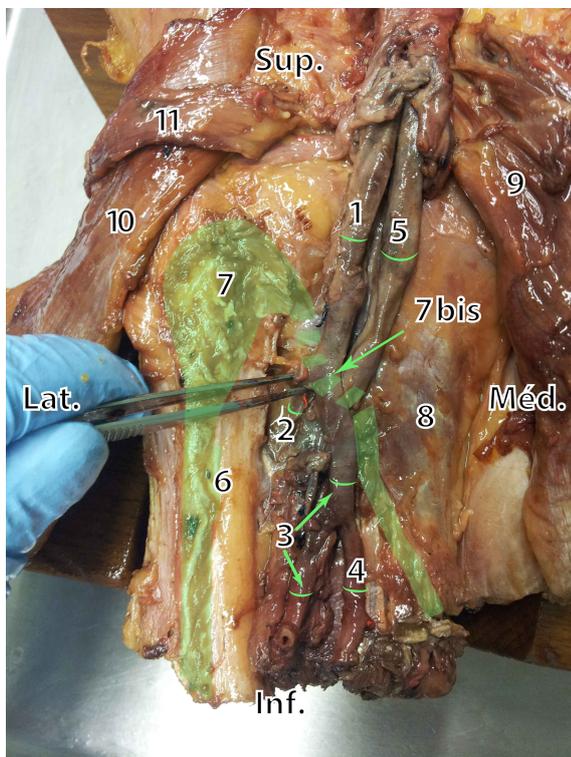


Figure 3 - vue postéro-inférieure

1. A. Poplitée
2. A. tibiale ant. (pincette)
3. A. fibulaire
4. A. tibiale post.
5. V. poplitée
6. Face post. de la fibula
7. Insertion du muscle soléaire (vert)
- 7bis. Arcade tendineuse du muscle soléaire
8. Muscle poplité
9. Gastrocnémien médial
10. Gastrocnémien latéral
11. Muscle plantaire

Les structures musculaires sont conservées autant que possible pour fournir un outil d'orientation dans la pièce et afin de pouvoir observer la relation spatiale des différents éléments anatomiques.

Les muscles profonds de la loge postérieure de la jambe sont aussi visibles, c'est à dire le muscle long fléchisseur des orteils, tibial postérieur et long fléchisseur de l'hallux. Il est intéressant pour les étudiants de noter les interactions anatomiques entre ces structures musculaires et les vaisseaux juxtaposés.

Il est à présent observable que le trajet des artères majeures, dans le creux poplité, se fait très profondément. Seule la capsule articulaire et le muscle poplité se situent plus profondément par rapport aux vaisseaux. Et c'est pourquoi il n'a pas été possible de montrer le ligament poplité oblique, en effet ce dernier a son trajet juste sous les vaisseaux poplités, ce qui rend son accès impossible sans léser ces derniers.

L'artère tibiale antérieure est mise en évidence antérieurement à la membrane interosseuse en réséquant le muscle tibial antérieur. Ses insertions sur la face antéro-latérale du tibia et sur la membrane interosseuse sont conservées, comme précédemment avec le muscle soléaire, à 5mm de l'origine. Il est à présent possible de distinguer l'artère tibiale antérieure récurrente, s'échappant de l'artère tibiale antérieure, sous le muscle tibial antérieur, en direction du réseau artériel péripatellaire. Sa distinction est grandement facilitée par le colorant rouge qu'elle contient, visible grâce à la finesse de sa paroi.

Au niveau de l'artère poplitée basse, à la jonction des deux jumeaux, émerge l'artère surale commune. Celle-ci se divise en deux branches, médiale et latérale plongeant chacune respectivement dans le muscle gastrocnémien médial et le gastrocnémien latéral. Pour des raisons évidentes d'accès au creux poplité, ces rameaux ont dû être sectionnés. Cette voie anatomique est, en effet, la seule possibilité de vasculariser les muscles jumeaux car les artères tibiales se situent sous le muscle soléaire. Si cette voie devait être originaire des artères tibiales, le passage à travers le muscle soléaire empêcherait une bonne vascularisation gastrocnémienne. La coloration rouge injectée dans le réseau artériel est particulièrement bien visible dans les tranches de section des artères surales.

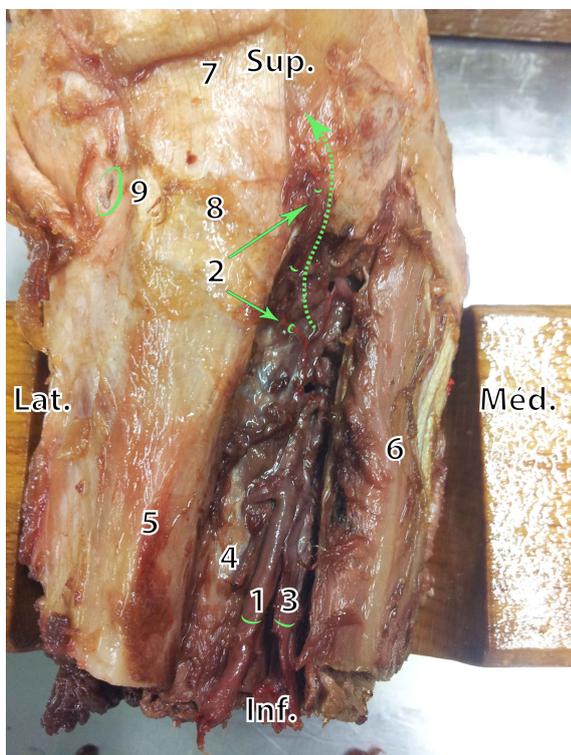


Figure 4 - vue antéro-inférieure

1. A. tibiale antérieure
2. A. tibiale antérieure récurrente
3. V. tibiale antérieure
4. Membrane interosseuse
5. Face ant. du tibia
6. Muscle long fibulaire
7. Ligament patellaire
8. Tubérosité tibiale
9. Foramen nourricier du tibia

La membrane interosseuse étant bien conservée, il est aisé de différencier les loges antérieure et postérieure de la jambe, nécessaire à l'apprentissage de la vascularisation puisque ces loges sont irriguées respectivement par l'artère tibiale antérieure et artère tibiale postérieure. L'artère fibulaire visiblement latérale, démontre sa vascularisation de la loge éponyme.

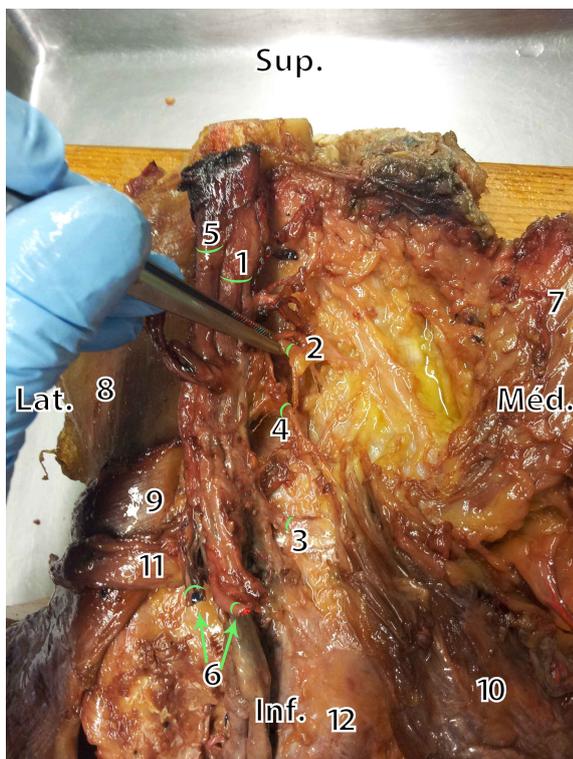
Les artères majeures de la région du genou maintenant exposées, la prochaine étape consiste en la mise en évidence des artères propres du genou. Pour ce faire, l'artère et la veine poplitée sont libérées de leur gaine fibreuse qui les lie, dans le but de distinguer les petits vaisseaux qui s'en échappent. Ces structures étant très fines, il n'est que peu aisé de les visualiser et différencier entre veine, artère ou nerf. Leur extrême fragilité complique encore la tâche.

La vascularisation propre du genou est composée de cinq artères : supéro-médiale, inféro-médiale, supéro-latérale, inféro-latérale et moyenne. Elles ont été toutes les cinq identifiées dans le creux poplité et seront décrites séparément.

Les muscles semi-tendineux, semi-membraneux, gracile, et sartorius sont réclinés inférieurement, afin de laisser libre accès à la face médiale du genou.

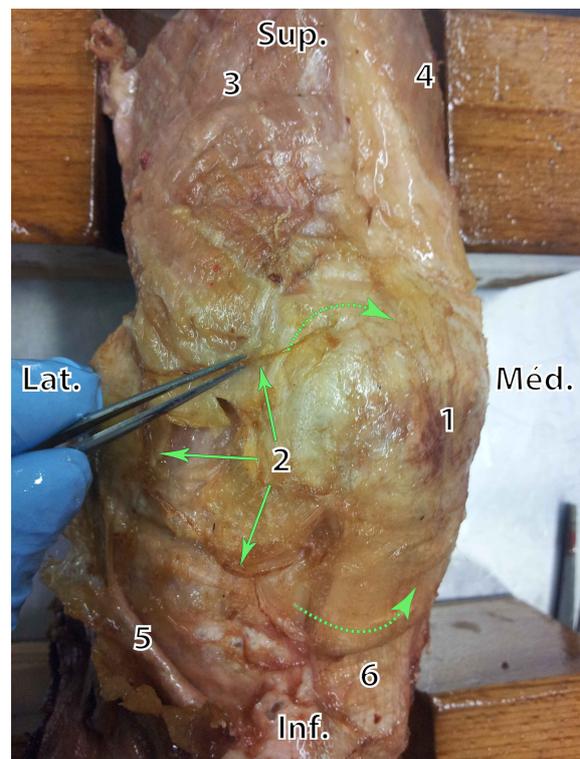
L'émergence de l'artère supéro-médiale, depuis l'artère poplitée, est visualisable environ 2 centimètres supérieurement à l'épicondyle médial du fémur. Son trajet rotatoire autour de la base du fémur est très facilement identifiable. En effet cette dernière surcroise l'insertion fémorale du ligament collatéral tibial avant de rejoindre la face antérieure du genou. Il est possible de suivre ce rameau jusqu'au réseau artériel patellaire, donnant alors des branches supérieures et inférieures s'anastomosant aux vaisseaux péri-rotuliens.

L'artère inféro-médiale du genou est quant à elle plus difficile à visualiser au vu de son trajet profond au ligament collatéral tibial, mais encore extracapsulaire. Seule son émergence de l'artère poplitée a pu être identifiée. Cette branche rejoint théoriquement la partie inférieure du réseau patellaire.



**Figure 5 - vue postéro-supéro-médiale**

1. A poplitée
2. A. supéro-médiale
3. A. inféro-médiale
4. A. moyenne
5. V. poplitée
6. A. et V. surale
7. M. semi-membraneux
8. M. biceps fémoral
9. M. gastrocnémien latéral
10. M. gastrocnémien médial
11. M. plantaire
12. M. poplité



**Figure 6 - vue antéro-médiale**

1. Réseau artériel patellaire
2. A. supéro-médiale s'anastomosant sur le réseau patellaire
3. Vaste médial du quadriceps
4. Vaste latéral du quadriceps
5. Ligament collatéral tibial (inférieurement récliné)
6. Ligament patellaire

Afin d'accéder à l'artère supéro-latérale, il est important de séparer le chef court du biceps fémoral de son insertion sur la lèvre latérale de la ligne âpre du fémur, puis de le récliner inférieurement. Cette artère est identifiable comme précédemment, environ 2 centimètres supérieurement à l'épicondyle latéral du fémur. Son trajet est comparable à celui de l'artère supéro-médiale, en effet elle présente un parcours tournant autour de la base du fémur et s'achevant avec la rencontre du réseau patellaire.

Encore identiquement au côté médial, l'artère inféro-latérale passe sous le ligament collatéral fibulaire mais chemine encore extérieurement à la capsule. Elle doit aussi, théoriquement rejoindre les anastomoses périrotuliennes.

Ces quatre artères vont vasculariser la rotule et l'appareil articulaire externe comprenant les ligaments collatéraux etc.

Enfin l'artère moyenne du genou, est un vaisseau également engendré par l'artère poplitée. Celui-ci sort au centre de l'articulation, face postérieure, et plonge perpendiculairement dans la capsule. Ce vaisseau va irriguer l'appareil articulaire interne, c'est à dire les ménisques, les ligaments croisés, etc.

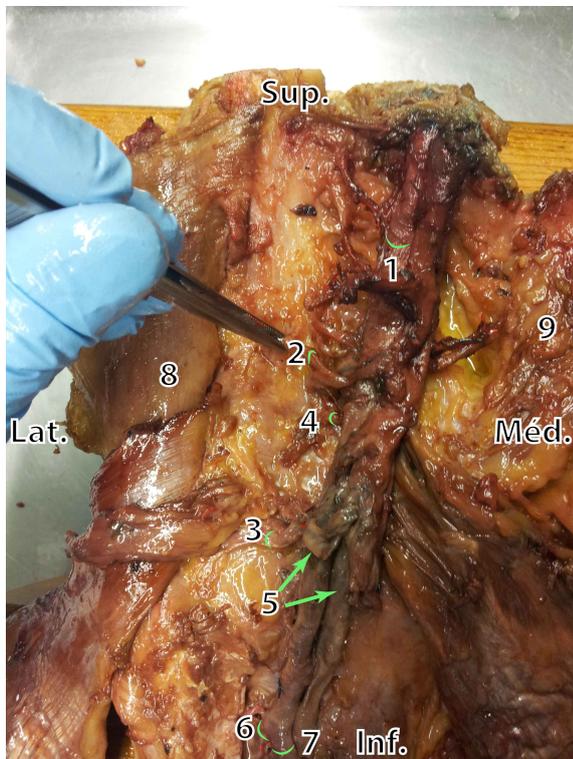


Figure 7 - vue postéro-supérieure

1. A. poplitée
2. A. supéro-latérale
3. A. inféro-latérale
4. A. moyenne
5. A. et V. surales
6. A. tibiale ant.
7. A. tibiale post.
8. M. biceps fémoral
9. M. semi-membraneux

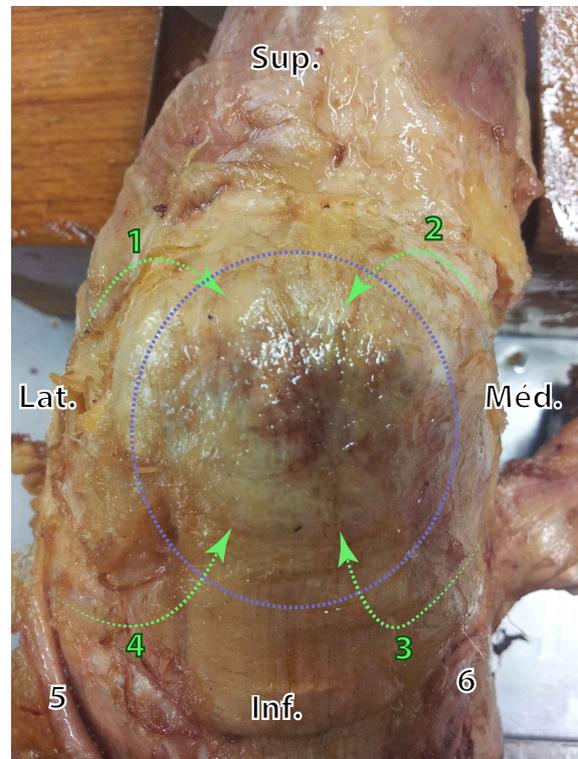


Figure 8

1. Trajet de l'a. supéro-médiale
2. Trajet de l'a. supéro-latérale
3. Trajet de l'a. inféro-latérale
4. Trajet de l'a. inféro-médiale
5. Lig. collatéral tibial (récliné inférieurement)
6. Lig. collatéral fibulaire (coupé)

Le réseau patellaire est également rejoint par 3 artères non-issues de l'artère poplitée : la branche descendante de l'artère circonflexe latérale de la cuisse, issue de l'artère fémorale profonde et cheminant sous le vaste latéral du quadriceps; l'artère descendante du genou, issue de l'artère fémorale, au niveau du hiatus des adducteurs et traversant le vaste médial et enfin l'artère tibiale antérieure récurrente, issue de l'artère tibiale antérieure comme décrit plus haut. Uniquement cette dernière a pu être découverte dans cette pièce car les deux autres ont des trajets intramusculaires et présentant trop de variations interindividuelles pour pouvoir les trouver. L'artère descendante du genou a par contre été extrêmement bien mise en évidence par la reconstruction 3D du CT.

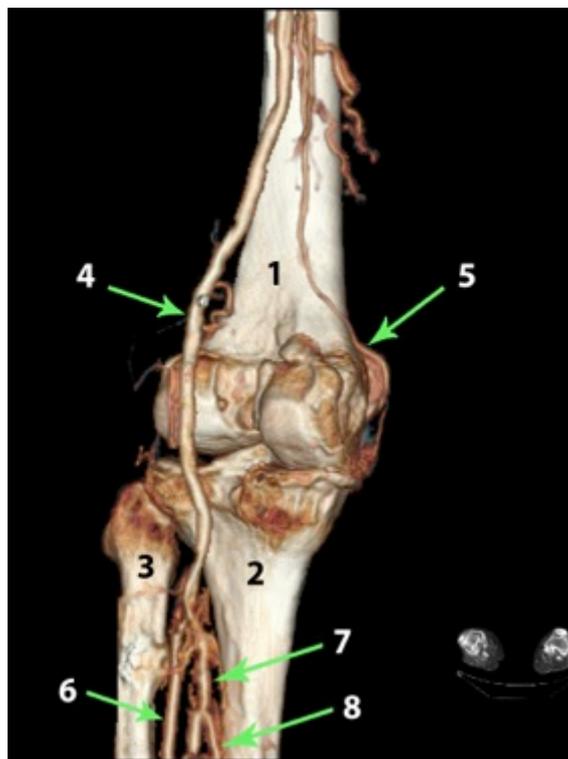


Figure 9 - vue postéro-médiale

1. Surface poplitée fémorale
2. Face post. du tibial
3. Fibula et sa tête
4. A. poplitée
5. A. descendante du genou
6. A. tibiale ant.
7. A. tibiale post.
8. A. fibulaire

Le réseau veineux a été conservé dans sa majorité afin de montrer la tendance de suivre une artère avec deux veines. Il est difficile d'estimer la qualité de la coloration des veines par la peinture bleue. En effet, ces dernières sont très foncées à cause de la coagulation post mortem du sang, ce qui rend la distinction, entre des caillots et la couleur ardue. Le colorant n'étant pas réapparu en aval de l'injection veineuse, il n'est que peu probable que cette couleur foncée visible dans les veines soit due à la coloration.

## Scanner :

Un CT natif a été effectué sur les deux jambes d'un premier corps, préalablement sectionnées une dizaine de centimètres au-dessus du genou. Cet examen a révélé une artériopathie des membres inférieurs de stade très avancé. Un très net rehaussement est, en effet, observable sur tout le trajet artériel. Habituellement, le réseau vasculaire étant de densité plus ou moins égale à celle des tissus mous, n'est distinguable qu'au niveau des gros vaisseaux sanguins. L'athérosclérose présente dans ces artères n'a pas permis la perfusion de produit de contraste, ni de colorant rouge. Il a donc été nécessaire d'obtenir un nouveau cadavre pour réaliser ce projet.

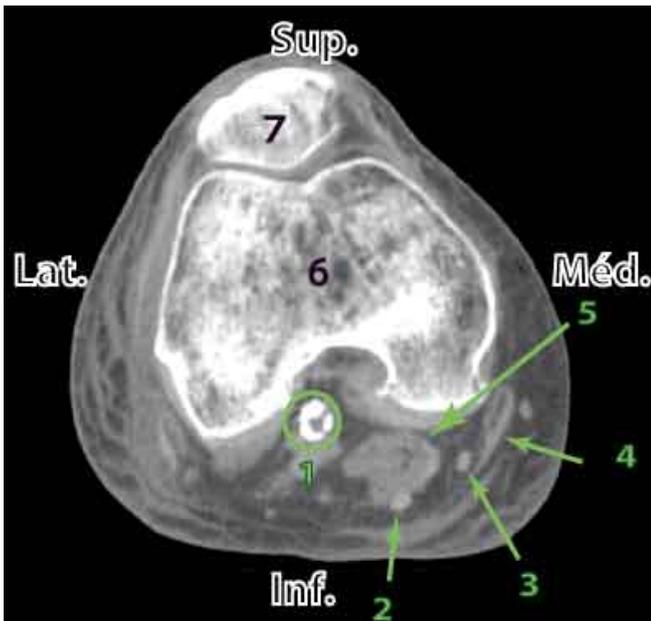


Figure 10 - Coupe horizontale de la cuisse

1. A. poplitée (calcifiée)
2. M. semi-tendineux
3. M. gracile
4. M. sartorius
5. M. semi-membraneux
6. Base du fémur
7. Patella

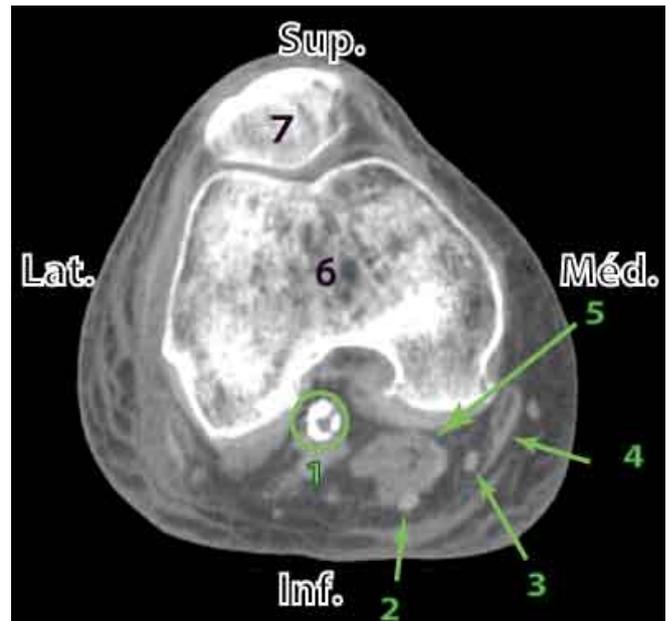


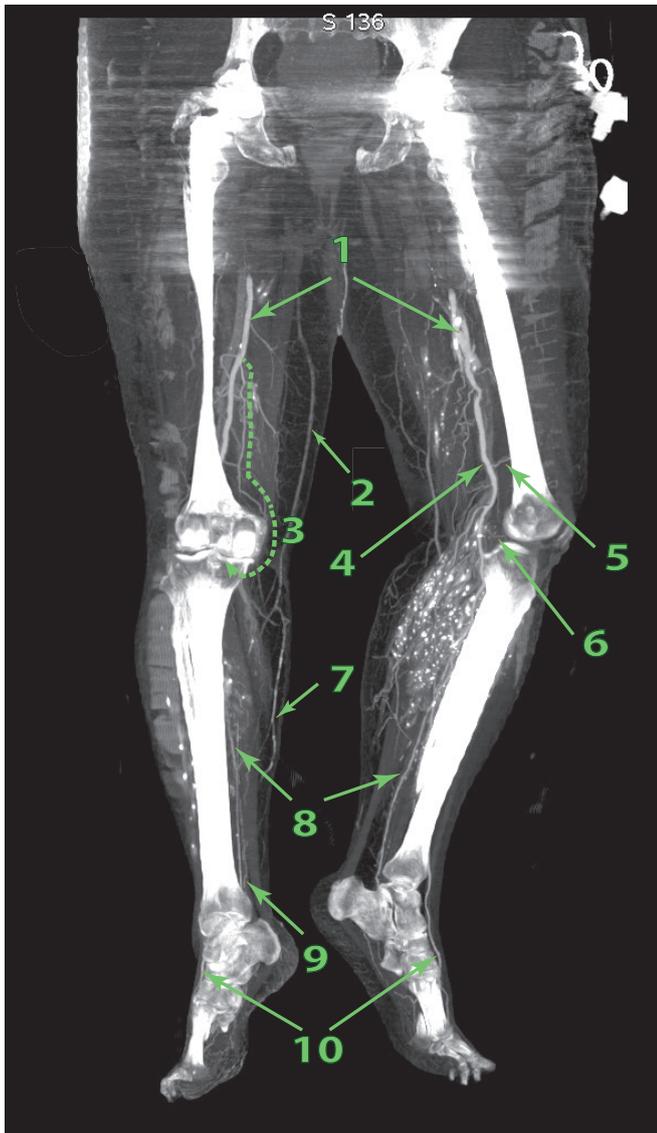
Figure 11 - Coupe horizontale de la cuisse

1. A. et V. poplitée
2. M. semi-tendineux
3. M. gracile
4. M. sartorius
5. M. semi-membraneux
6. Base du fémur
7. Patella

Le scanner des membres inférieurs du deuxième corps a, quant à lui, fourni les résultats escomptés. C'est à dire que la phase native n'a pas révélé d'hyper-rehaussement vasculaire et la phase post injection de produit de contraste a montré une perméabilité vasculaire satisfaisante au niveau des artères géniculées. Ce cadavre a donc été retenu pour ce travail. Ce dernier était de sexe féminin et porteur de prothèses totales de hanches bilatérales, ce qui n'a heureusement pas gêné la visualisation, en raison de la localisation très proximale des artefacts causés par ce matériel métallique.

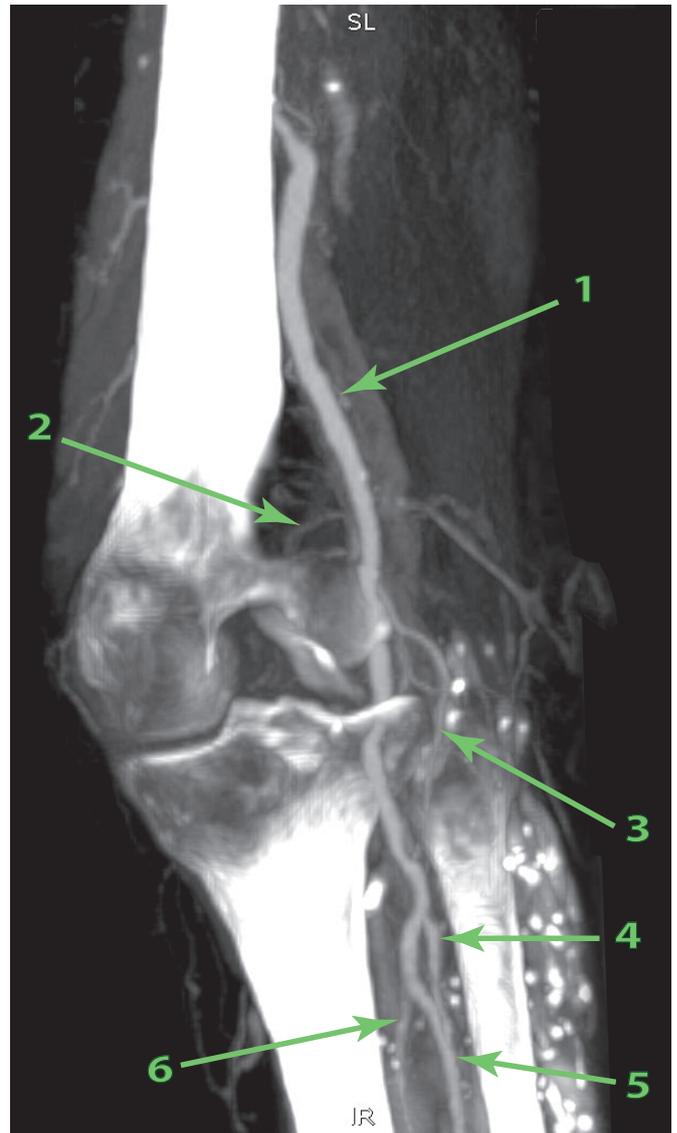
Une importante extravasation de produit de contraste est observée lors de la phase artérielle, au niveau du creux poplité du genou gauche, avec une prédominance dans la loge musculaire postéro-latérale. Cette fuite d'Angiofil® s'étend inférieurement depuis le muscle biceps fémoral ainsi que dans les muscles gastrocnémiens jusqu'au tiers moyen du tibia. Il en résulte une diminution de la visibilité des structures radiologiques dans cette région, ce qui a donc motivé le choix de disséquer le genou gauche et de comparer entre anatomie et radiologie avec le genou droit.

Ante mortem, une angiographie se déroule en une seule et unique phase. Le produit de contraste est injecté dans le réseau veineux du patient, puis circule par le cœur et ensuite dans le réseau artériel : temps artériel. Ensuite, le liquide hyperdense quitte les artères pour rejoindre, par les capillaires, le réseau veineux : temps veineux. Ceci permet la visualisation des deux périodes séparément l'une de l'autre. Intervenant, ici, sur un patient décédé, il n'est plus possible d'effectuer une perfusion à proprement parler. En effet le réseau capillaire n'étant plus perméable post mortem, en raison d'une coagulation intravasculaire, l'injection de produit de contraste doit s'effectuer en deux phases : injection artérielle, puis veineuse. Les deux images se retrouvent donc superposées, rendant le temps veineux confus. C'est pour cette raison que, malgré l'obtention de coupes après injection veineuse, une seule a été utilisée dans le travail final.



**Figure 12 - Coupe frontale des deux membres inférieurs, phase veineuse.**

1. A. fémorales
2. Grande v. saphène (probablement)
3. A. descendante du genou (issue de a. fémorale)
4. A. poplitée
5. A. supéro-latérale du genou
6. A. moyenne du genou
7. Petite v. saphène (probablement)
8. A. tibiale post
9. A. fibulaire
10. A. tibiale ant. ou A. pédieuse

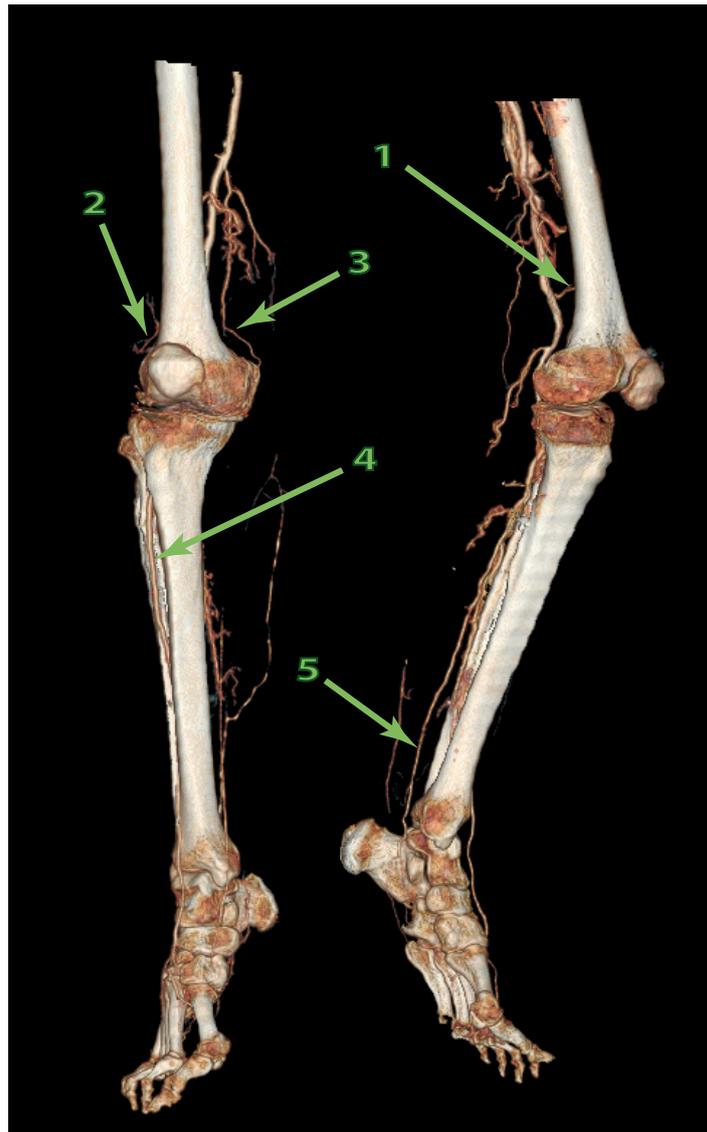


**Figure 13 - Coupe oblique-latérale du genou gauche**

1. A. poplitée
2. A. supéro-médiale du genou
3. A. inféro-latérale du genou
4. A. tibiale ant.
5. A. fibulaire
6. A. tibiale post

Un ordinateur, ayant en mémoire les densités de chaque voxel (pixel en 3D) des coupes, est capable de les intégrer en une structure tridimensionnelle du sujet scanné. Il est alors possible de sélectionner le type de densité souhaitée dans l'image, par exemple osseuse, vasculaire, tissus mous, etc, et de supprimer les autres. Cet outil était donc la technique de choix pour démontrer la vascularisation du genou, car elle respecte parfaitement les relations anatomiques interstructurelles.

Des animations ont alors été réalisées à partir de ces images 3D, permettant aux étudiants de s'orienter le mieux possible dans l'image et favorisant la compréhension tridimensionnelle de la vascularisation du genou.



**Figure 14 - Reconstruction 3D des deux membres inférieurs**

1. A. Supéro-latérale du genou G
2. A. Supéro-latérale du genou D
3. A. descendante du genou
4. A. tibiale ant.
5. A. tibiale post.

## Comparaison Anatomie/Radiologie

La jambe droite du corps mis à disposition par le DBCM a été congelée à -20°C. Ceci était nécessaire pour pouvoir la sectionner en coupes transverses, car cela lui évitait de se déformer sous le poids de la scie électrique. Le membre inférieur droit a donc été scié en six tranches de 2 à 3 cm d'épaisseur.

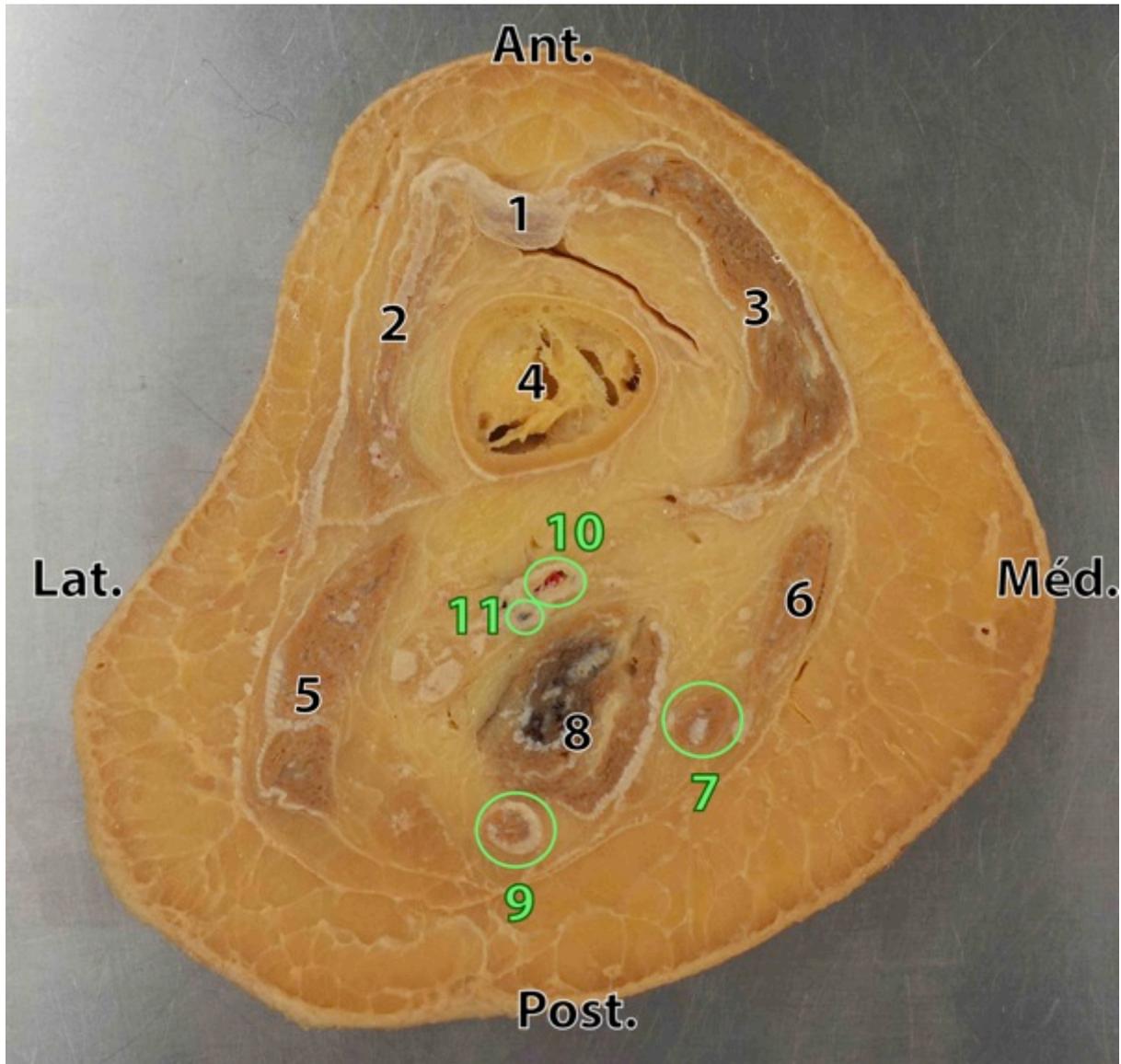
Il était alors nécessaire de choisir les six coupes de CT correspondantes. Pour ce faire, il était important de modifier l'angle des coupes radiologiques, car les jambes n'ont pas pu être parfaitement orientées dans l'axe vertical. Les clichés ont, par la suite, été imprimés puis plastifiés afin d'être conservés malgré les manipulations des étudiants en salle de dissection.

Conventionnellement une coupe anatomique est déchiffrée depuis une vue supérieure, alors qu'une coupe radiologique de scanner ou d'IRM est lue depuis une incidence inférieure. C'est pourquoi, dans un souci de simplification de la pièce, les photographies des coupes anatomiques ont été capturées par voie inférieure, rendant possible la superposition des deux types d'images.

La coloration rouge injectée dans les artères est d'une grande aide pour la lecture des coupes transverses. En effet le décryptage de telles pièces s'avère plus ardu car il peut être difficile de reconnaître les différentes structures anatomiques en raison de leur indissociabilité, contrairement au travail avec une pièce disséquée qui permet la séparation de ces structures. Les artères sont donc facilement identifiables.

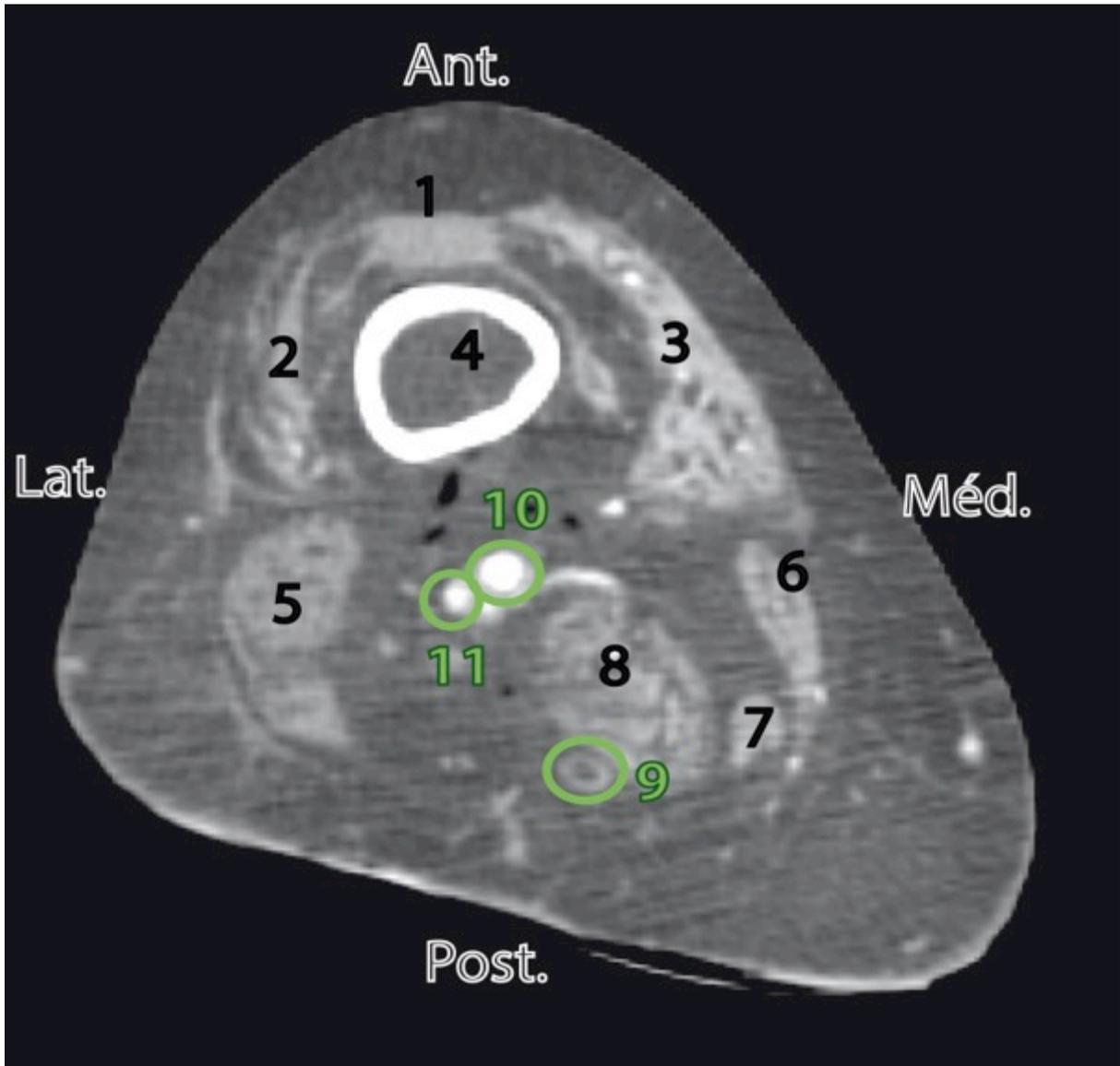
La coloration bleue a, quant à elle, fourni de plus médiocres résultats car elle se serait apparemment répartie dans l'espace périvasculaire, probablement en raison de ruptures veineuses postmortem.

Les images suivantes sont présentées selon un ordre de supérieur à inférieur. Elle sont, de plus, appariées entre documents anatomiques et scannographiques correspondantes. Afin d'en simplifier la lecture les légendes sont, dans la grande majorité, concordantes dans la même paire d'image.



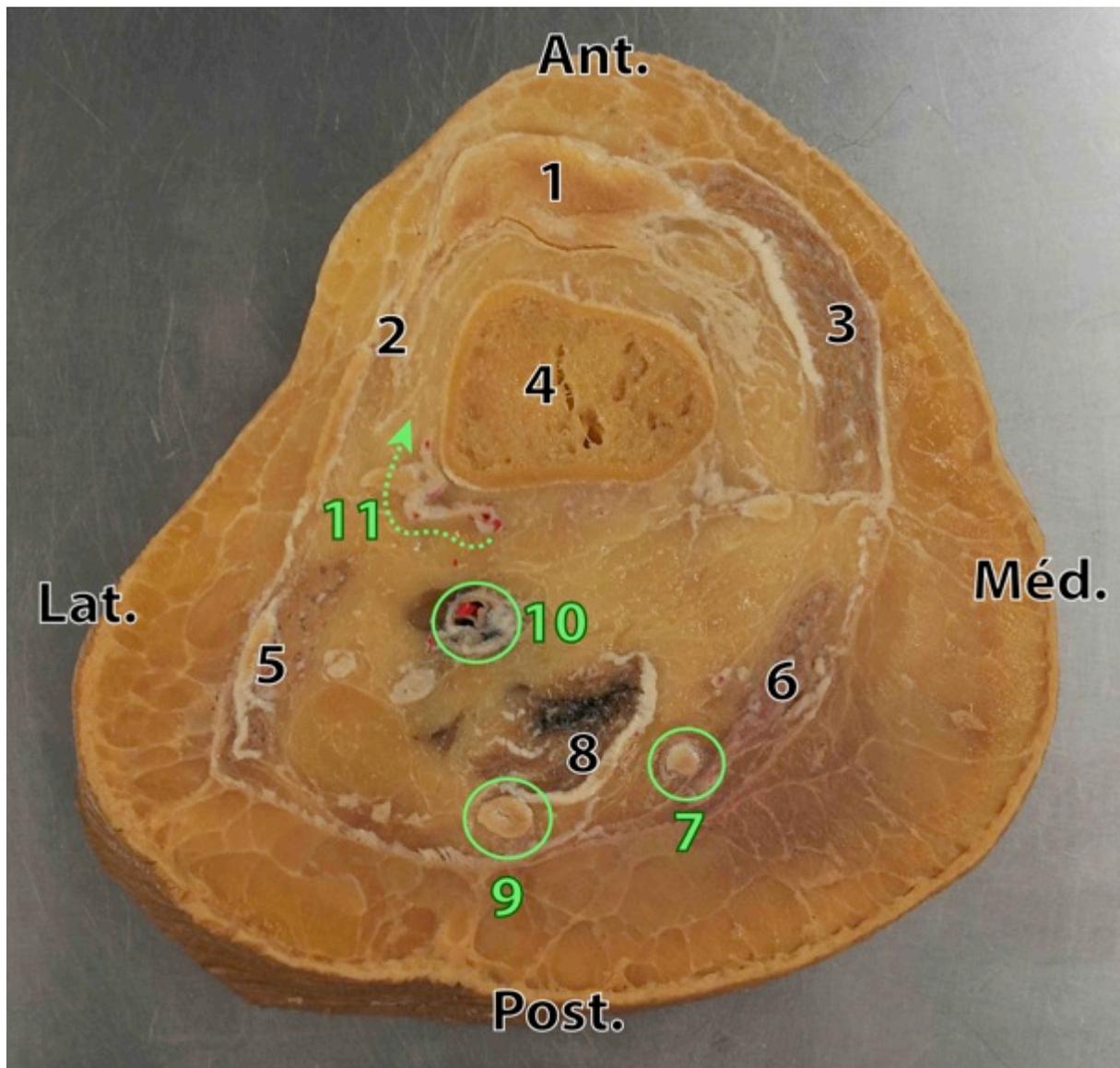
**Figure 25**

1. Tendon du muscle droit femoral
2. M. vaste lateral
3. M. vaste medial
4. Femur
5. M. biceps femoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. A. poplitée
11. V. poplitée



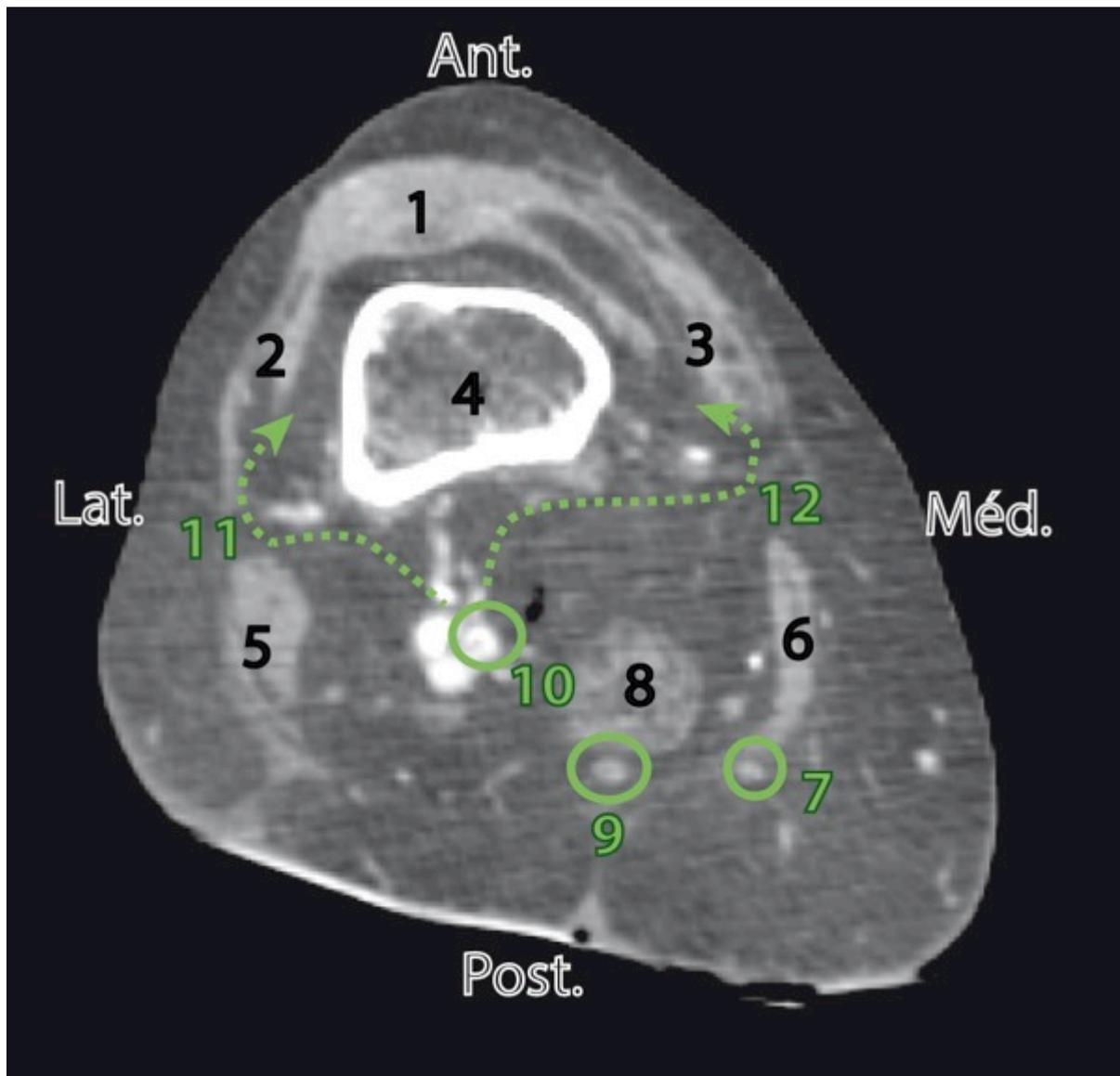
**Figure 15bis**

1. Tendon du muscle droit femoral
2. M. vaste lateral
3. M. vaste medial
4. Femur
5. M. biceps femoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. A. poplitée
11. V. poplitée



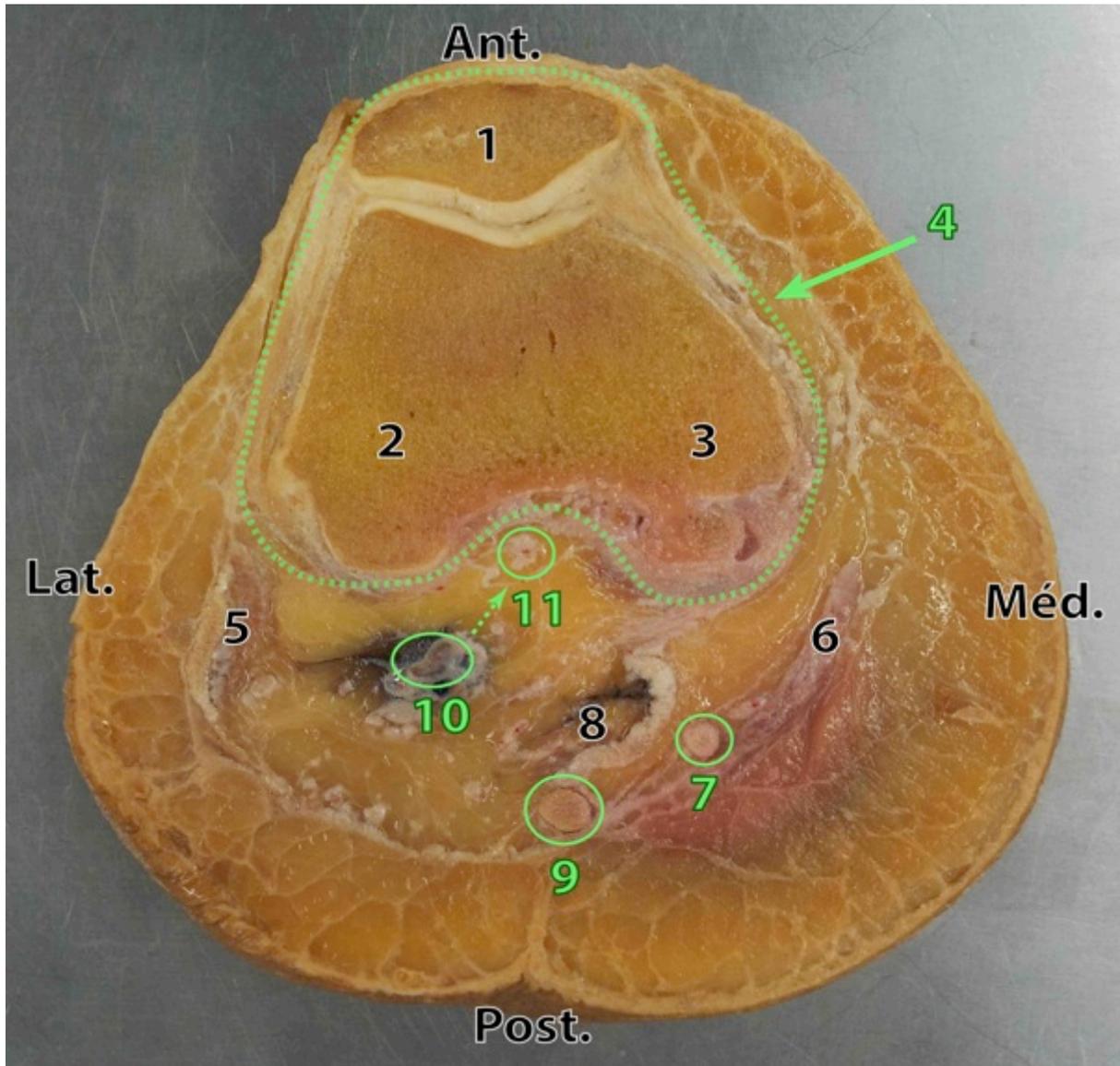
**Figure 16**

1. Patella
2. M. vaste lateral
3. M. vaste medial
4. Fémur
5. M. biceps femoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. A. et V. poplitée
11. A. descendante du genou



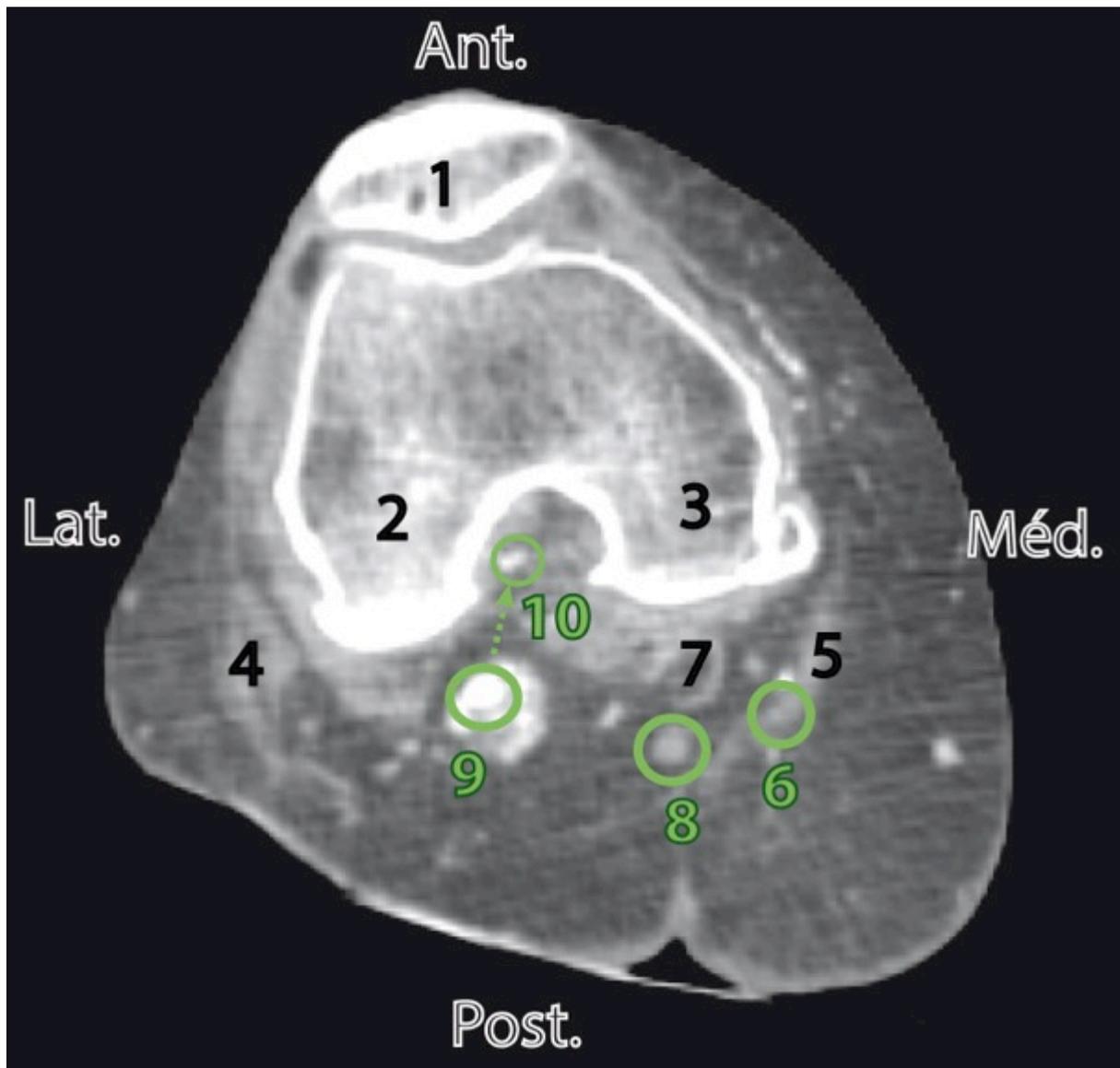
**Figure 16bis**

1. Patella
2. M. vaste lateral
3. M. vaste médial
4. Fémur
5. M. biceps fémoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. A. poplitée
11. A. supéro-latérale
12. A. supéro-médiale



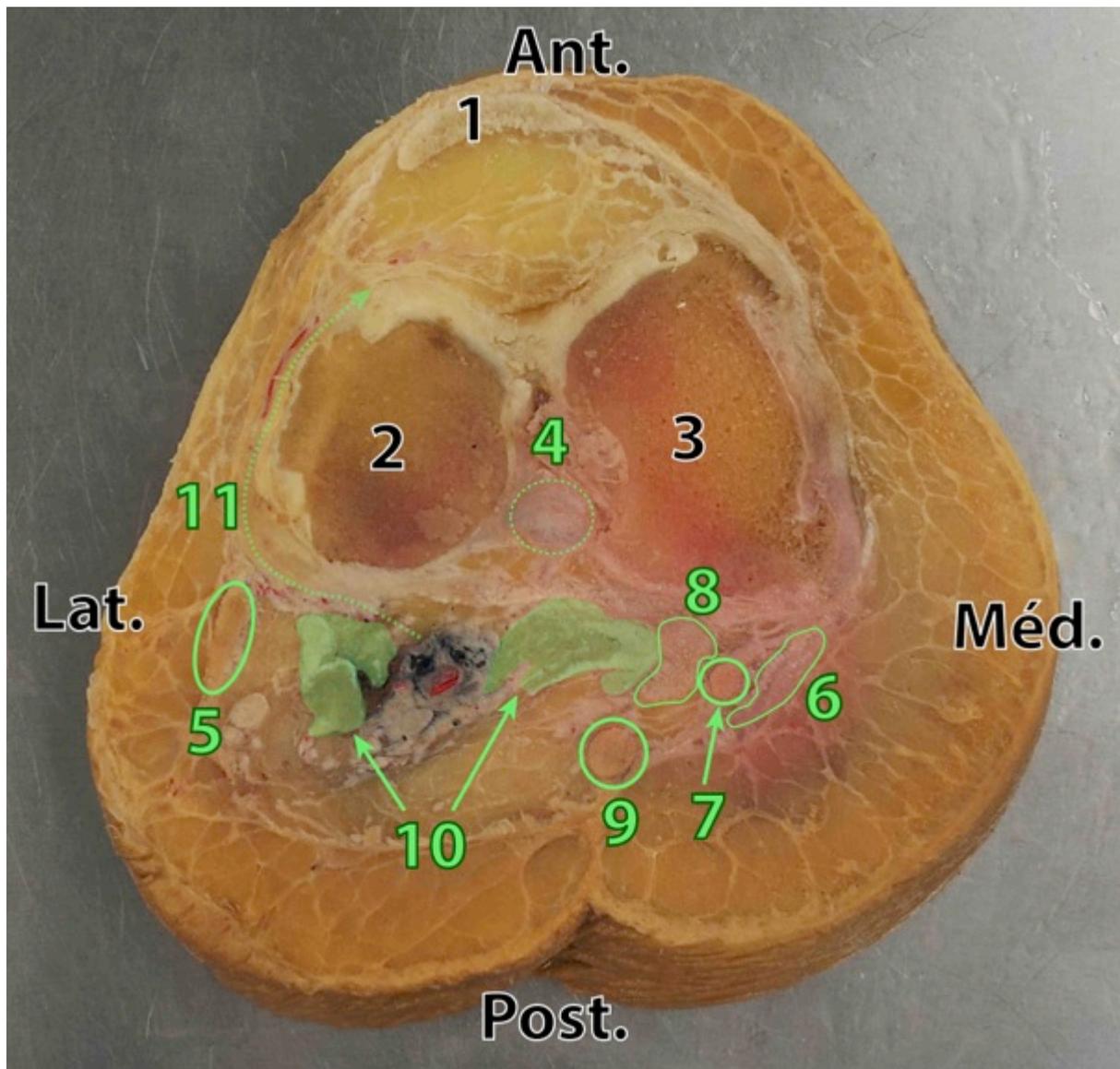
**Figure 17**

1. Patella
2. Condyle lateral
3. Condyle medial
4. Capsule articulaire (pointillé)
5. M. biceps femoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. A. poplitée
11. A. moyenne du genou



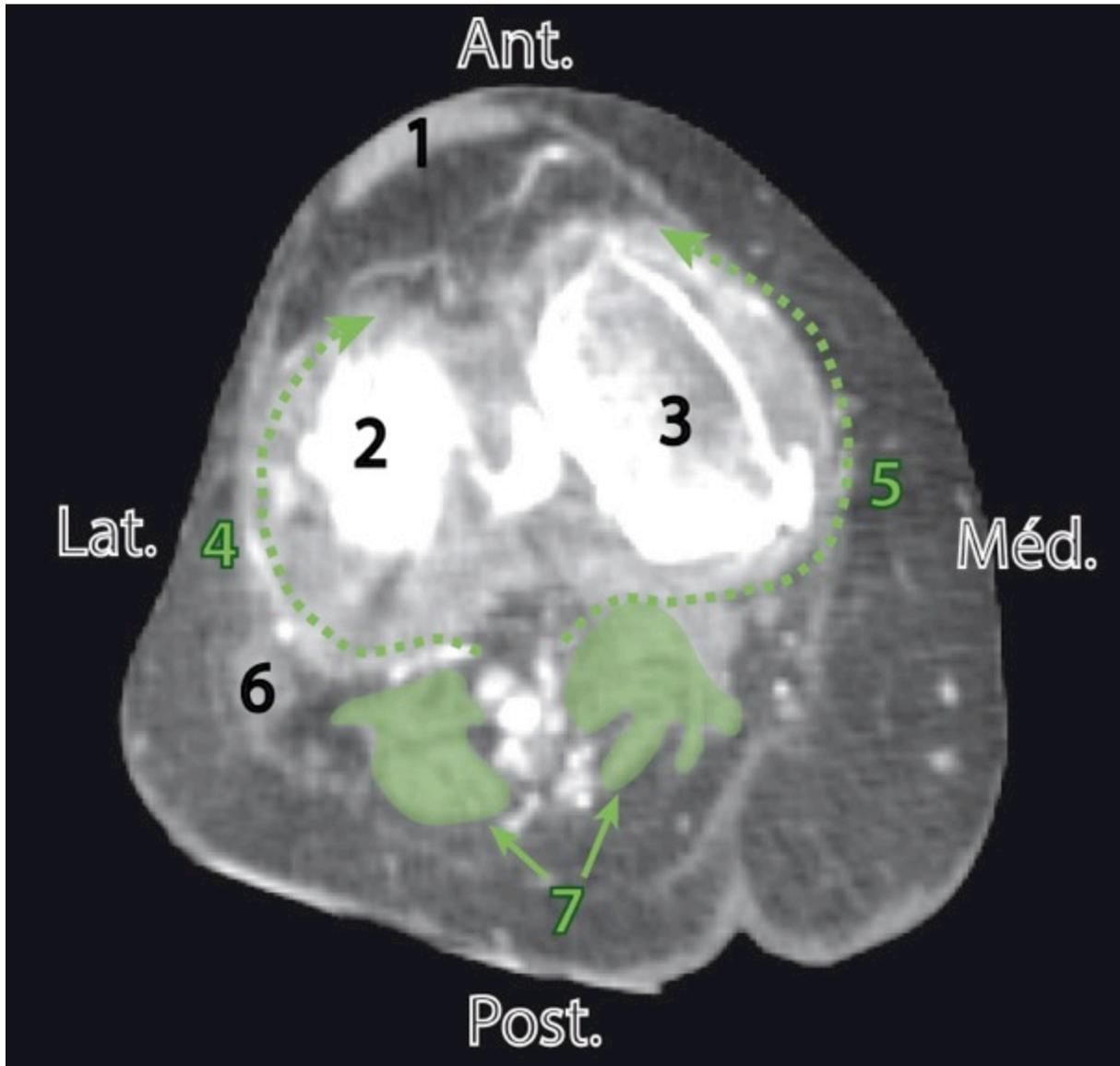
**Figure 17bis**

1. Patella
2. Condyle lateral
3. Condyle medial
4. M. biceps femoral
5. M. sartorius
6. M. gracile
7. M. semi-membraneux
8. M. semi-tendineux
9. A. poplitée
10. A. moyenne du genou



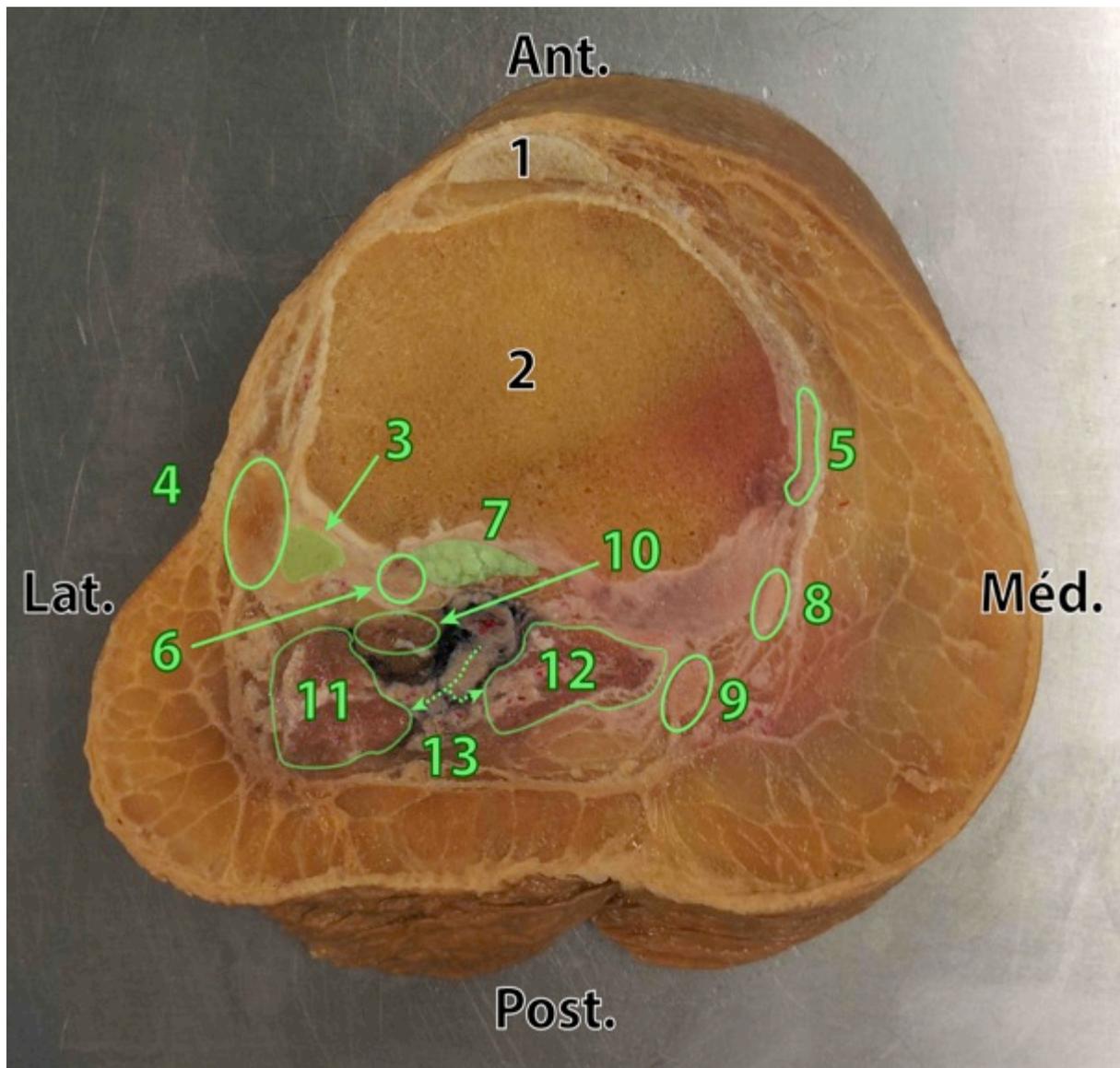
**Figure 18**

1. Ligament patellaire
2. Condyle lateral
3. Condyle medial
4. Ligaments croisés
5. Tendon du m. biceps femoral
6. M. sartorius
7. M. gracile
8. M. semi-membraneux
9. M. semi-tendineux
10. M.uscles gastrocnémiens lat. et méd.
11. A. supéro-latérale



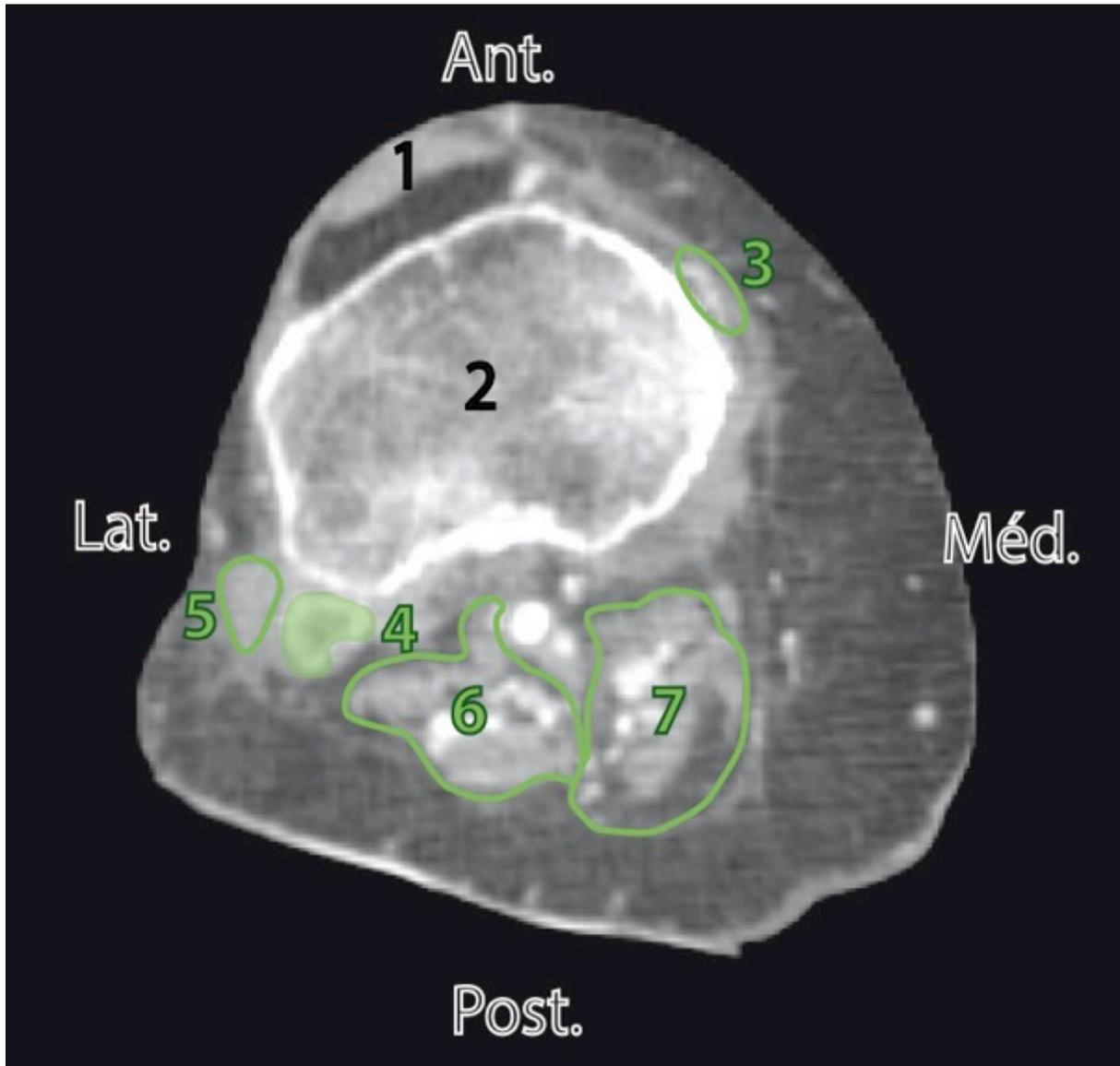
**Figure 18bis**

1. Ligament patellaire
2. Condyle lateral
3. Condyle medial
4. A. supéro-latérale
5. A. supéro-médiale
6. Tendon du m. biceps femoral
7. Mm. gastrocnémiens



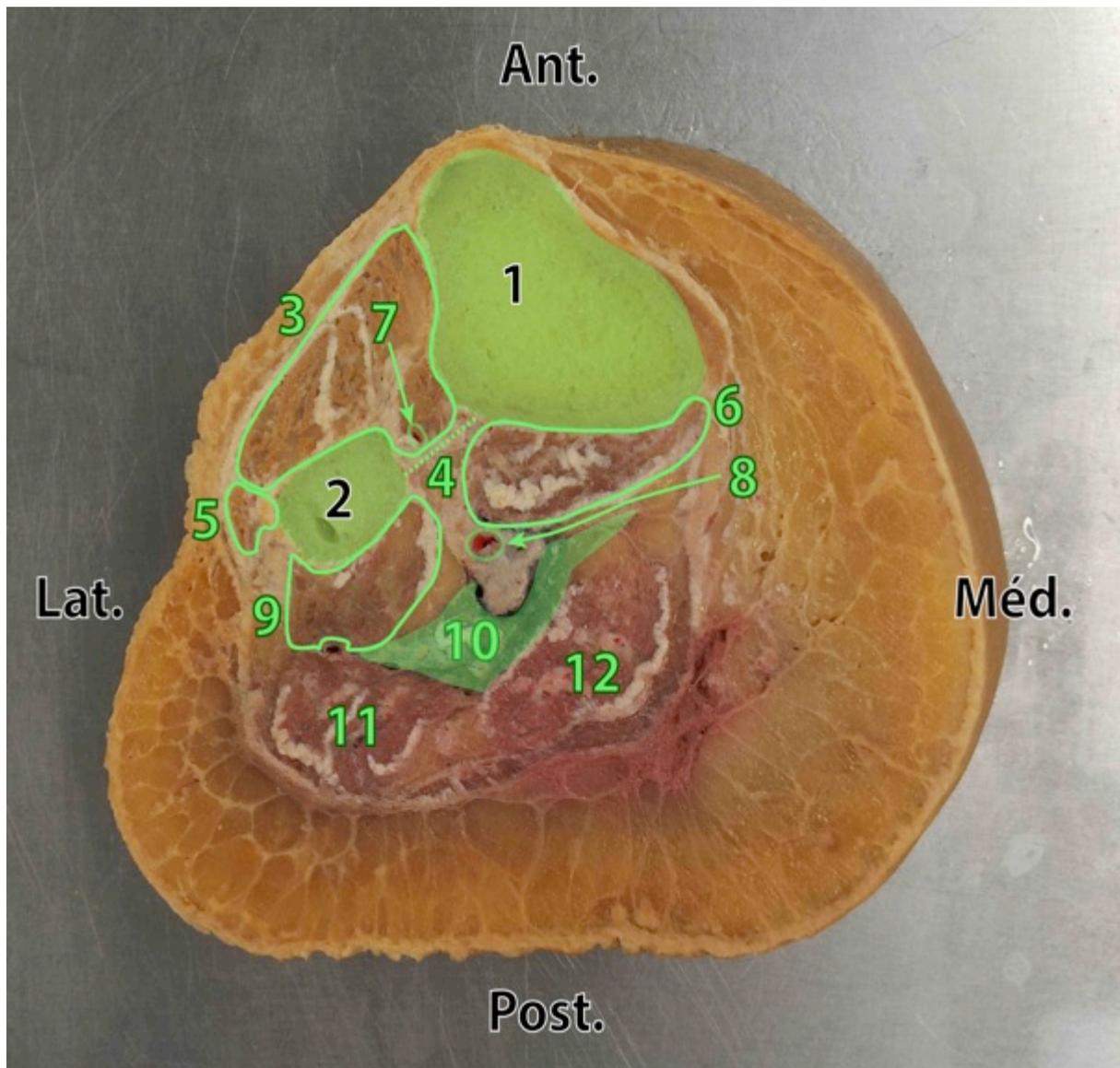
**Figure 19**

1. Lig. Patellaire
2. Plateau tibial
3. Tête de la fibula
4. Lig. collateral fibulaire
5. Lig. collateral tibial
6. Tendon du m. poplité
7. Insertion tibiale du lig. croisé postérieur
8. Tendon du m. sartorius
9. Tendon du m. semi-tendineux
10. M. plantaire
11. M. gastrocnémien lat.
12. M. gastrocnémien méd.
13. A. surales



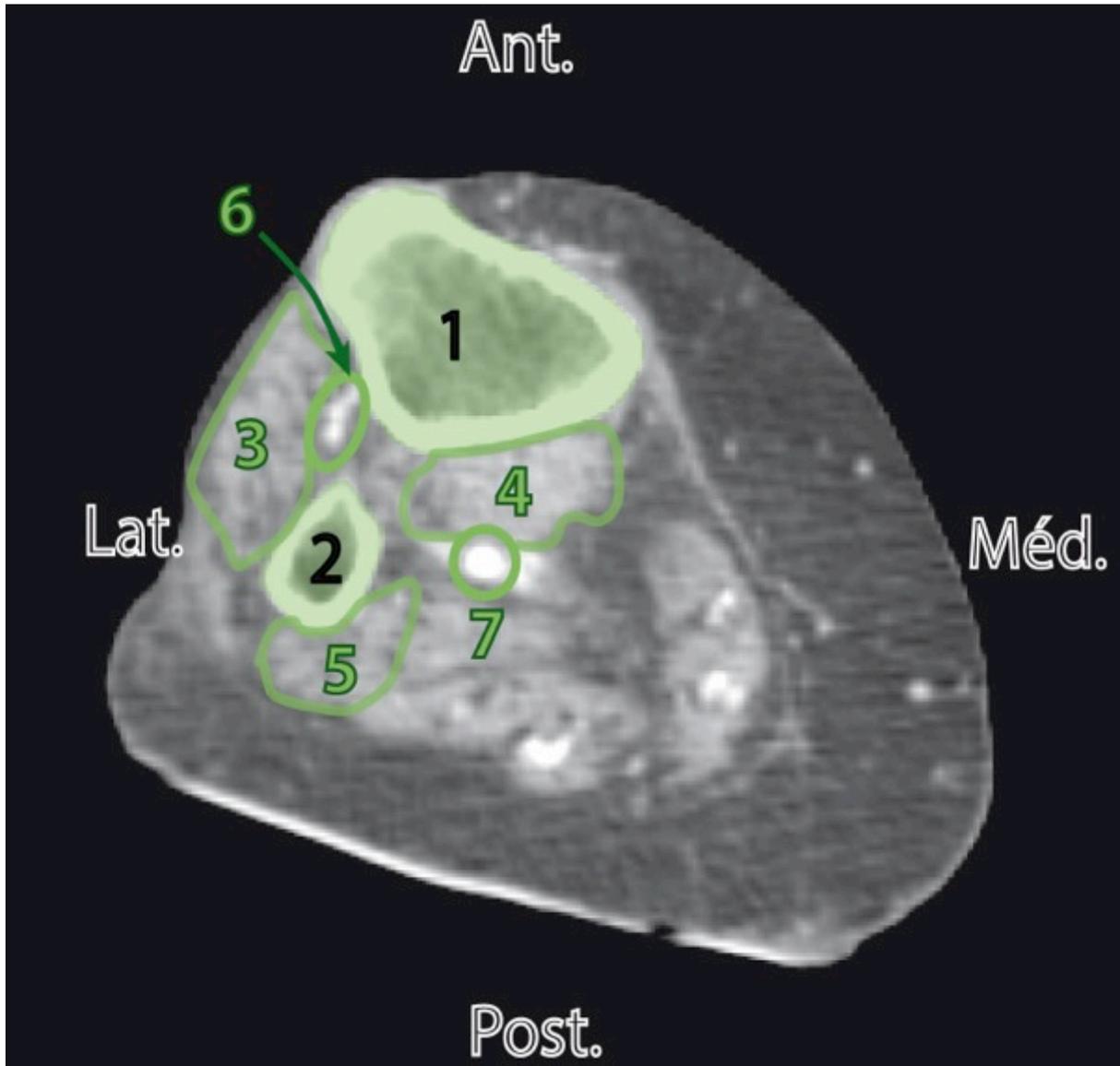
**Figure 19bis**

1. Patella
2. Plateau tibial
3. Lig. collateral tibial
4. Tête de la fibula
5. Lig. collateral fibulaire
6. M. gastrocnémien latéral
7. M. gastrocnémien médial



**Figure 20**

1. Tibia
2. Fibula
3. M. tibial antérieur
4. Membrane interosseuse
5. M. long extenseur des orteils
6. M. tibial postérieur
7. A. tibiale ant.
8. A. tibiale post.
9. M. long fibulaire
10. M. soléaire
11. M. gastrocnémien latéral
12. M. gastrocnémien médial



**Figure 20bis**

1. Tibia
2. Fibula
3. M. tibial antérieur
4. M. tibial postérieur
5. M. long fibulaire
6. A. tibiale ant.
7. A. tibiale post.

## **Discussion :**

Les différentes techniques utilisées pour démontrer la vascularisation du genou se sont révélées très précieuses lors des phases de travaux pratiques des étudiants de première année. En effet, les livres d'anatomie communément possédés par les étudiants, tels que le Netter ou le Moore, sont peu généreux en schémas et autres textes expliquant ce réseau vasculaire, rendant l'auto apprentissage difficile.

Les démonstrations se sont déroulées donc lors de quatre séances de quatre heures, lors des travaux pratiques habituels des étudiants de première année. Ceux-ci circulaient, par groupes de 9 ou 10, entre les différents postes proposés, afin de rechercher par eux-mêmes les structures anatomiques auparavant étudiées.

Le poste sur la vascularisation du genou se présentait sous la forme d'une présentation et non d'un auto apprentissage, car la pièce n'étant pas encore plastinée, elle était trop fragile pour la laisser entre les mains de centaines d'étudiants. De plus, ayant moi-même préparé les objets présentés, je les connaissais bien, ce qui facilitait grandement l'enseignement.

La démonstration durait environ 30 minutes et comportait trois phases. La première se passait sur la pièce disséquée, la deuxième sur les coupes anatomiques et du CT, et enfin la dernière sur la reconstruction tridimensionnelle des images tomodensitométriques.

Lors de la première étape, afin de faciliter la compréhension ultérieure, il était demandé aux étudiants d'orienter la pièce dans l'espace. Ces derniers utilisaient, pour la plupart, judicieusement les structures osseuses pour ce faire. Il leur était demandé ensuite s'il s'agissait d'un membre inférieur gauche ou droit, là encore la majorité, plaçant le tibia médialement, pouvait affirmer à juste titre qu'il s'agissait d'un genou gauche. La vascularisation était abordée en distinguant chaque artère et en présentant son trajet dans l'espace et ses relations anatomiques avec les structures adjacentes. Le tout était formulé sous forme de questions.

Les territoires vasculaires ont été examinés en détail, en séparant logiquement les artères supéro-médiale, supéro-latérale, inféro-médiale et inféro-latérale de l'artère moyenne du genou car cette dernière plonge perpendiculairement dans la capsule afin de vasculariser la périphérie méniscale et les ligaments croisés alors que les quatre autres se contentent d'irriguer la patella, la capsule articulaire et les ligaments collatéraux. Le réseau veineux était abordé en parallèle du réseau artériel, c'est-à-dire que les veines émergeant de la veine poplitée étaient exposées comme cela était effectué pour les artères.

Les cinq artères du genou étaient bien connues par une bonne proportion d'étudiants, mais par contre les 3 artères accessoires (a. tibiale antérieure récurrente, a. descendante du genou, branche descendante de l'a. circonflexe latérale de la cuisse) leur étaient nettement moins évidentes à lister. Malheureusement, seule l'artère tibiale antérieure récurrente n'a pu être démontrée lors de cette phase.

J'ai jugé important de ne pas s'arrêter à une simple démonstration de la pièce, mais d'y ajouter des notions permettant d'expliquer les positions anatomiques. En effet, replacer l'anatomie dans un contexte évolutif, par exemple, peut favoriser l'apprentissage à long terme car au lieu d'intégrer une connaissance stérile, l'étudiant intègre des concepts capables de lier les sujets entre eux. Pour poursuivre sur l'exemple de l'évolution, cette notion a été utilisée afin d'explicitier la profondeur des structures artérielles dans le genou, et accessoirement dans le reste du corps, offrant un avantage indéniable dans la protection contre les hémorragies mettant en jeu le pronostic vital de l'individu, et donc plus largement de l'espèce. Plus simplement, des explications fonctionnelles de la vascularisation ont été dispensées telles que l'intérêt d'anastomoser les artères ou comme décrit précédemment, l'obligation d'irriguer les muscles gastrocnémiens par une voie supérieure à l'arcade soléaire. Ces précisions ont été plutôt appréciées par les étudiants car, d'après les commentaires recueillis, il peut leur manquer parfois le réflexe de prendre un recul nécessaire pour comprendre les concepts anatomiques et non uniquement les assimiler.

J'ai été frappé de voir que les étudiants apprenaient les structures anatomiques comme une liste et non comme des parties d'un tout. En effet ils étaient nombreux à pouvoir me réciter très justement les différentes artères présentes dans le genou, mais rares étaient ceux qui pouvaient me décrire leur trajet ou leur fonction. Cela les gênaient aussi pour identifier ces structures sur la pièce réelle et en trois dimensions. Lors de l'inspection des artères poplitée, tibiale antérieure et tibiale postérieure, la palpation des pouls a été introduite. Il a été expliqué, dans les grandes lignes, le phénomène de thrombose et d'athérosclérose conduisant à une diminution de la pression artérielle en aval du rétrécissement vasculaire. Cela provoquant une diminution des pouls poplités, pédieux et tibial postérieur ainsi qu'une importante douleur, appelée claudication intermittente. Ce sujet a été abordé dans le but de replacer les connaissances théoriques acquises, dans un contexte pratique. En effet, les étudiants de première année, n'ayant pas encore eu de cours de pathologie, sont très intéressés par les liens faits avec la clinique. La première année étant très théorique, il arrive que les étudiants soient un peu frustrés de ne pas aborder des sujets de « médecine » à proprement parlé, tels que des pathologies et des traitements. Ils m'ont confié alors être motivés à étudier, par ces relations entre théorie et pratique car cela les renforçait dans leur but d'exercer la médecine.

La coloration rouge et bleue des artères et veines respectivement, a été utile aux étudiants, bien que peu d'artères ont bénéficié de ce traitement car le colorant n'est pas visible au travers des parois des gros vaisseaux et il n'a pas pu passer par toutes les fines artères du genou. Une amélioration possible dans les futures préparations de la sorte serait de choisir le corps selon les facteurs de risque d'athérosclérose dans le dossier médical, c'est à dire l'obésité, le tabac, le cholestérol, le diabète ainsi que le sexe (M>F). De plus, le temps passé entre le décès et l'injection de colorant augmente probablement les occlusions vasculaires et donc limite la pénétration distale de la peinture.

Une fois la description de la vascularisation achevée, les différents muscles ont été examinés. Tout d'abord, en demandant aux étudiants d'identifier les muscles réséqués, c'est-à-dire le m. soléaire et le m. tibial antérieur. Ils n'avaient en général pas de peine à les reconnaître car ils étaient à présent bien orientés dans la pièce. S'en suivait alors une analyse précise de chaque groupe musculaire, selon les loges et les fonctions.

Il n'y a eu aucun problème d'identification des muscles de la loge antérieure de la cuisse qui sont le vaste médial, le vaste latéral et le vaste intermédiaire. La loge postéro-médiale a, quant à elle, posé plus de difficultés aux étudiants. En effet il semblait particulièrement ardu de distinguer les différents muscles de cette loge. Une certaine confusion régnait au niveau des pattes d'oie superficielle et profonde, termes qu'ils connaissaient tous, mais qu'il semblait difficile à localiser et en lister les composantes. La pièce présentée est intéressante pour cet enseignement car la séparation des tendons du semi-membraneux du sartorius, gracile et semi-tendineux est assez distinctement visible ce qui a permis aux étudiants une compréhension plus claire de ces insertions.

Il aurait été intéressant de scier le fémur plus proximale afin de conserver le canal des adducteurs, entre le long puis le grand adducteur et le vaste médial et recouvert par le m. sartorius, ce qui aurait facilité la présentation ainsi que l'identification des muscles de la loge supéro-médiale du genou.

Une fois cette dernière identifiée, il était plutôt aisé pour les étudiants de reconnaître, à l'opposé, le muscle de la loge latérale, qui n'est autre que le biceps fémoral.

La jambe a quant à elle été sciée relativement proximale sous le genou, ce qui a limité le nombre de muscles présents et donc fortement facilité la distinction entre ces entités. Cette partie n'a donc, en général, pas posé de problème.

Là encore, je fus surpris de découvrir que les connaissances des étudiants se limitait souvent aux noms des muscles ainsi qu'à leurs insertions, mais très peu étaient capables d'en décrire le trajet ou la forme précise.

Une fois la première phase de la présentation terminée, nous passons à la seconde, qui consistait en l'observation des photos des coupes horizontales de la jambe controlatérale. Les étudiants étaient, tout d'abord, priés de trier les images, précédemment mélangées, du plus distal au plus proximal. Pour ce faire, ces derniers devaient s'aider des structures osseuses ou plus difficilement musculaires et vasculaires. Il était intéressant de voir que les étudiants n'avaient pas l'habitude de décrypter une image en coupe, ce qui les perturbait un peu.

Il leur a été demandé de reconnaître les différentes structures surtout musculaires car mieux visibles, cette tâche fut plus laborieuse que je ne m'étais imaginé. En effet, les étudiants semblaient fournir un effort de réflexion intense dans le but d'orienter la coupe, sachant que les photos correspondaient à une vue inférieure.

Une fois les premiers muscles identifiés, ils montraient nettement moins de difficultés à reconnaître les structures suivantes. La loge postéro-médiale du genou affirmait là encore sa position leader en matière de complexité pour les étudiants.

L'exercice subséquent était de comparer les coupes anatomiques aux coupes radiologiques correspondantes. Les étudiants, ayant eu un cours de radiophysique au module 1.3, étaient reconnaissants de pouvoir obtenir à nouveau des explications sur le fonctionnement du scanner ainsi que sur la lecture d'une coupe. Il m'a paru être important d'expliquer le principe d'injection de produit de contraste dans l'imagerie, avec un souci clinique, en utilisant l'exemple de la coronarographie. La notion de densité a été vue dans les grandes lignes, afin d'expliquer l'avantage d'un produit de contraste sur une prise de vue native.

C'est lors de cette phase sur le CT que le plus de questions sont apparues, signant l'intérêt que les étudiants portaient pour l'imagerie, ainsi que leur peine à déchiffrer de telles images.

La troisième et dernière phase de ces travaux pratiques consistait en l'observation des reconstructions en trois dimensions des coupes CT ainsi que le visionnage des films associés. Les étudiants pouvaient y découvrir l'artère descendante du genou, bien visible sur le genou ultérieurement disséqué.

La faculté de médecine de Lausanne a fourni deux questions de l'examen du module d'anatomie 1.4 de 2012 relatives au genou, ainsi que leur réponse. Celles-ci étaient accompagnées de statistiques représentant la difficulté et la sélectivité de chaque question lors de l'examen de 2005 et de 2012. La sélectivité représente la qualité de la question à être répondue correctement par les étudiants ayant réussi l'examen.

La première question présentait un taux stable de sélectivité, alors que la deuxième question affichait une très nette augmentation de cette sélectivité entre les deux années. Il n'est malheureusement pas possible de faire une quelconque analyse de ces résultats, au vu du peu de données disponibles.

Dans l'ensemble les étudiants ont semblé beaucoup apprécier pouvoir participer à ce poste sur la vascularisation du genou.

## **Conclusion**

La présente étude anatomique avait pour but de fournir un outil didactique pour l'apprentissage de la vascularisation du genou en première année. Les différentes techniques utilisées, qui sont l'angiographie, la dissection, les coupes transverses et la reconstruction tridimensionnelle du membre inférieur, ont pu être présentées aux étudiants.

Une excellente connaissance de l'anatomie du genou et de sa vascularisation est requise à tout praticien effectuant des gestes sur cette articulation, tels qu'une angioplastie ou encore une pose de prothèse du genou. C'est ainsi que ce travail trouve toute son importance dans la création de nouvelles méthodes d'enseignement, plus imagées et stimulant l'intérêt de l'apprenant.

Le fait de varier les angles d'approche de l'enseignement de l'anatomie d'une région précise du corps rend le sujet plus abordable pour les apprenants. En effet, ils acquièrent une vision plus globale du propos et leur fait faire des liens utiles à l'apprentissage à long terme. L'utilisation d'une structure imagée du sujet renforce encore l'accessibilité de la matière.

Mettre en lien les sujets de cours avec des notions relatives à la médecine clinique captive excessivement rapidement les étudiants de première année, ce qui rend donc cet outil très puissant, pour qui souhaite stimuler l'apprentissage de ces nouveaux universitaires.

Ce travail est malheureusement limité par un certain nombre de points. Tout d'abord il est difficile de mesurer la réelle valeur d'un enseignement autrement que par les commentaires des étudiants eux-mêmes. Ceci rend l'interprétation des résultats beaucoup trop subjective pour permettre de prouver une hypothétique amélioration de qualité de l'instruction. Les données d'examen, utilisées dans ce travail, sont trop ténues pour fournir un renseignement significatif sur la qualité de l'enseignement dispensé. Il serait intéressant d'avoir la possibilité d'interagir plus étroitement avec les questions posées lors des épreuves de fin de semestre, par exemple participer à leur écriture. Ceci permettrait d'obtenir un retour plus objectif sur les techniques utilisées pour améliorer l'apprentissage. Il serait également intéressant d'interroger à nouveau les étudiants sur la vascularisation du genou lors des examens de deuxième année, avec une ou deux questions non annoncées et non sanctionnées en cas de mauvaise réponse. Cela dans le but de quantifier l'apprentissage à plus long terme permis par un enseignement tel que celui proposé par ce travail.

Une autre limite à ce travail est la qualité du corps utilisé. En effet, une sélection plus fine, en fonction du dossier médical, est nécessaire lors de l'élaboration ultérieure de travaux suivant la même pratique. L'observation des facteurs de risques cardiovasculaires est indispensable et très pénalisante si elle n'est pas effectuée. Le premier corps utilisé démontre bien cette affirmation, par son athérosclérose massive empêchant d'effectuer une angiographie post-mortem.

## **Références**

1. Keith L. Moore, Arthur F. Dalley. Anatomy clinically oriented. 5th ed. 2007. De Boeck
  2. Franck H. Netter, MD. Atlas d'anatomie humaine. 5<sup>ème</sup> éd. 2011 Elsevier Masson
  3. Smith SC Jr, Benjamin EJ, Bonow RO, Braun LT, Creager MA, Franklin BA et al. World Heart Federation and the Preventive Cardiovascular Nurses Association. AHA/ACCF Secondary prevention and risk reduction therapy for patients with coronary and other atherosclerotic vascular disease: 2011 update: a guideline from the American Heart Association and American College of Cardiology Foundation. *Circulation*. 2011 Nov;124(22):2458-73. Epub 2011 Nov 3.
  4. Pekkanen J, Linn S, Heiss G, Suchindran CM, Leon A, Rifkind BM, Tyroler HA. Ten-year mortality from cardiovascular disease in relation to cholesterol level among men with and without preexisting cardiovascular disease. *N Engl J Med*. 1990;322(24):1700.
  5. Vasan RS, Larson MG, Leip EP, Evans JC, O'Donnell CJ, Kannel WB, Levy D. Impact of high-normal blood pressure on the risk of cardiovascular disease. *N Engl J Med*. 2001;345(18):1291.
  6. Critchley JA, Capewell S. Mortality risk reduction associated with smoking cessation in patients with coronary heart disease: a systematic review. *JAMA*. 2003;290(1):86.
  7. Krauss RM, Winston M, Fletcher RN, Grundy SM. Obesity: impact of cardiovascular disease. *Circulation*. 1998;98(14):1472.
  8. Salah D. Qanadli, MD, PhD, FCIRSE. Vascular interventional Radiology. 2012
  9. Becker GJ, Katzen BT, Dake MD. Noncoronary angioplasty. *Radiology*. 1989;170(3 Pt 2):921.
  10. Johnston KW, Rae M, Hogg-Johnston SA, Colapinto RF, Walker PM, Baird RJ, Sniderman KW, Kalman P. 5-year results of a prospective study of percutaneous transluminal angioplasty. *Ann Surg*. 1987;206(4):403.
  11. Gustavo A. Tamashiro, MD, Alberto Tamashiro, MD, Miguel O. Villegas, MD, Andrés E. Dini, MD, Ana P. Mollón, MD, Denis A. Zelaya, MD et al. Flexion of the Popliteal Artery : Technical Considerations of Femoropopliteal Stenting. *J Invasive Cardiol* 2011 ; 23 (10) : 431-433
  12. Gardiner GA Jr, Meyerovitz MF, Stokes KR, Clouse ME, Harrington DP, Bettmann MA. Complications of transluminal angioplasty. *Radiology*. 1986;159(1):201.
  13. Silke Grabherr, Erich Gyax, Barbara Sollberger, Steffen Ross, Lars Oesterhelweg, Stephan Bolliger et al. Two-Step Postmortem Angiography with a Modified Heart-Lung Machine : Preliminary Results. *AJR* : 190, February 2008
  14. Stéphanie Fracheboud, Lauriane Marro, Alexandre Dominguez. Développement et optimisation du protocole de visualisation des membres inférieurs lors de l'angio-CT post-mortem. 2012
- QH Müller, Collateral circulation lower extremity, UpToDate® [www.uptodate.com](http://www.uptodate.com) ©2012  
UpToDate
- JP Damsin, JY Zambelli, R Ma, J Roume, F Colonna and L Hannoun. Study of the arterial vascularisation of the medial tibial condyle in the fetus. *Surg Radiol Anat* (1995) 17 :13-17

Kumar SN, Chapman JA, Rawlins I. Vascular injuries in total knee arthroplasty. A review of the problem with special reference to the possible effects of the tourniquet. *J Arthroplasty*. 1998;13(2):211.

Felson DT, Anderson JJ, Naimark A, Walker AM, Meenan RF. Obesity and knee osteoarthritis. The Framingham Study. *Ann Intern Med*. 1988;109(1):18.

Fransen M, Crosbie J, Edmonds J. Physical therapy is effective for patients with osteoarthritis of the knee: a randomized controlled clinical trial. *J Rheumatol*. 2001;28(1):156.

Wilson MG, Kelley K, Thornhill TS. Infection as a complication of total knee-replacement arthroplasty. Risk factors and treatment in sixty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72(6):878.

Januel JM, Chen G, Ruffieux C, Quan H, Douketis JD, Crowther MA, Colin C, Ghali WA, Burnand B, IMECCHI. Group. Symptomatic in-hospital deep vein thrombosis and pulmonary embolism following hip and knee arthroplasty among patients receiving recommended prophylaxis: a systematic review. *JAMA*. 2012 Jan;307(3):294-303.