

PHYSIOLOGIE DE LA VOIE EXCRETRICE URINAIRE

La voie excrétrice urinaire est divisée en deux parties fonctionnellement complémentaires : la voie excrétrice supérieure (W.E.S) et la voie excrétrice inférieure (V.E.I). La première a pour mission de drainer l'urine qui filtre de la papille et de protéger celle-ci de l'hypertension et de l'infection. La seconde est surtout faite pour le confort, en permettant le stockage de l'urine et son expulsion massive et volontairement contrôlée.

A - LE SUPPORT ANATOMIQUE

I - ANATOMIE DE LA VOIE EXCRETRICE

Par définition, la voie excrétrice commence là où l'urine est collectée, c'est à dire dans l'espace urinaire de la capsule de Bowman. Mais, pour l'urologue, elle commence plus bas, sous la papille, et comprend :

- le haut appareil urinaire : calices, bassinet, uretère
- le bas appareil urinaire : vessie et urètre.

La musculature qui compose les parois de la voie excrétrice est faite de fibres musculaires lisses qui ont fait l'objet de nombreuses descriptions, souvent contradictoires, car manifestement influencées par une conception "mécaniciste" de la physiologie. Elles sont donc discutables et ne méritent pas qu'on leur accorde plus d'importance qu'elles n'en ont réellement.

1 - Le haut appareil urinaire (Figure 29)

Seuls, l'homme et le cochon ont un système multicaliciel, fait de 6 à 15 petits calices (ou calices mineurs) qui s'insèrent sur les cônes papillaires avec lesquels ils délimitent une rigole péri-papillaire : le fornix. Les petits calices sont habituellement regroupés par 2 ou 3 pour former les grands calices (ou calices majeurs) au nombre de 3 : supérieur, moyen et inférieur. Selon le mode de réunion des calices, le bassinet est tantôt ampullaire, tantôt ramifié, et sa capacité varie entre 4 et 10 ml. Il se continue sans démarcation précise par l'uretère, conduit de 25 à 30 cm de long chez l'adulte, qui traverse obliquement la paroi vésicale sur une longueur de 16 mm environ, dont la moitié dans l'épaisseur du muscle vésical (hiatus uréteral) et l'autre moitié sous la muqueuse vésicale. Cette disposition anatomique est le principal mécanisme anti-reflux.

2 - Le bas appareil urinaire (figure 30)

P1

La vessie est un muscle creux comprenant :

C3

- le dôme ou détrusor, portion souple, mobile et expansible, qui chez l'adulte, peut contenir plus de 300 ml d'urine.
- la base, portion compacte et fixe, centrée par le col vésical et comprenant l'abouchement des orifices urétraux. L'espace triangulaire entre ces trois orifices correspond au trigone. Plate et horizontale en position de repos, la base vésicale est transformée par sa contraction en un entonnoir vers lequel converge le flux.

L'urètre est la portion "sexuée" de la voie excrétrice, long de 16 cm chez l'homme, de 3 cm chez la femme. Les fibres musculaires lisses et striées qui l'entourent, forment le dispositif sphinctérien de la vessie.

La musculature lisse du col et de l'urètre est faite de fibres longitudinales, qui interviennent lors de la miction en ouvrant le col et en raccourcissant l'urètre, et de fibres obliques ou circulaires qui participent à la continence en maintenant l'occlusion du col et de l'urètre. L'existence d'un authentique "sphincter lisse" est toujours un sujet de controverse ; si on peut en douter en tant qu'en té anatomique, on ne peut plus nier la présence de fibres musculaires lisses dont la contraction et la relaxation permettent respectivement la continence et la miction.

Le sphincter strié est probablement formé de 2 portions différentes :

- l'une para-urétrale au contact de l'urètre, faite de fibres à contractions lentes (type 1) qui maintiennent une activité tonique, permanente,
- l'autre, péri-urétrale, appartenant au releveur de l'anus, faite de fibres à contractions rapides (type 2) qui assurent la contraction volontaire.

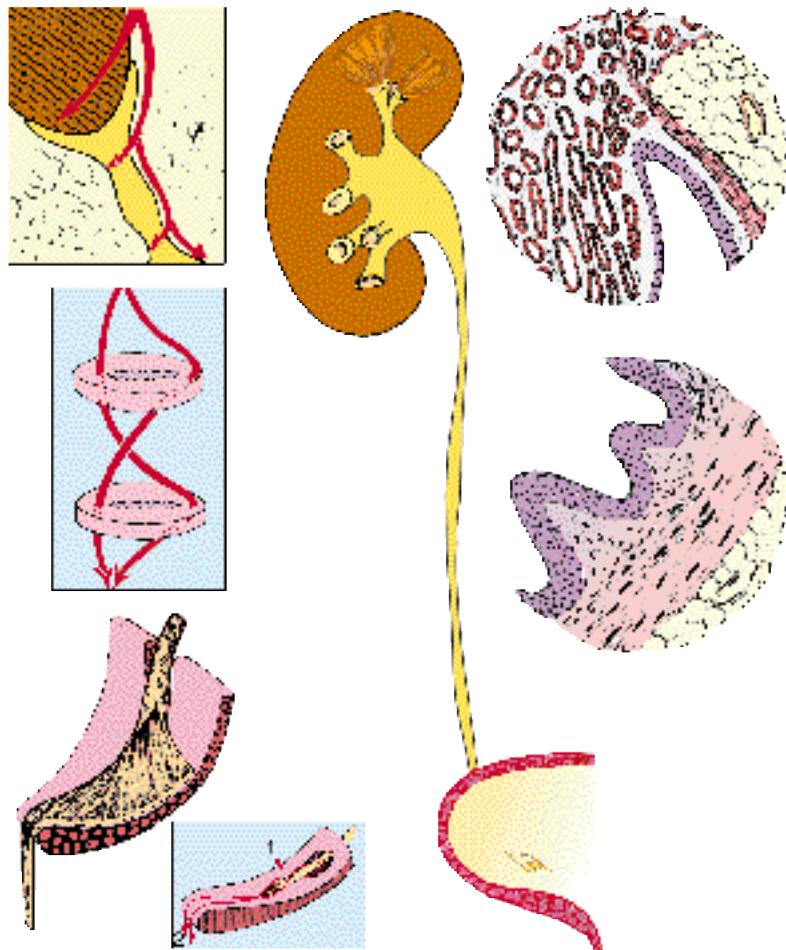


Figure 29 - La voie excrétrice vue par l'urologue (au centre), l'anatomiste (à gauche), l'histologue (à droite). Rien n'est certain concernant la myoarchitecture qu'on a peut être plus imaginée que réellement observée, avec le souci d'expliquer la fonction par la forme. Ceci peut rendre compte de la diversité des descriptions notamment aux deux extrémités de la VES :

- **dans l'uretère**, il est classique de distinguer une couche longitudinale interne et une couche circulaire externe. On a prétendu que la même fibre participait alternativement à la constitution des 2 couches, s'orientant principalement dans un sens longitudinal quand elle se rapproche de la lumière et dans un sens circulaire lorsqu'elle s'en écarte.

- à la **jonction papillo-calicielle** ont été décrites des fibres longitudinales et circulaires. Les premières ("muscle élévateur du fornix") assuraient l'occlusion des pores de la papille par rétraction du calice contre le sommet de la papille. Les secondes, disposées à 3 endroits stratégiques (autour de la papille, sous le pied de la papille et autour de la tige calicielle) interviendraient pour aspirer l'urine de la papille ("muscle de la traite papillaire"), la chasser du calice et isoler le calice du bassinet pour prévenir un reflux calico-papillaire...

- à l'**approche de la vessie**, la plupart des fibres urétérales s'orientent longitudinalement et traversent ainsi la paroi vésicale. Les descriptions diffèrent sur la façon dont elles se terminent : pour la plupart des auteurs elles se déplient en éventail, avec ou sans décusstation, pour former le "trigone superficiel". L'obliquité du trajet intra-mural de l'uretère terminal, la fermeté de l'appui musculaire sur lequel il repose, sont les principaux mécanismes anti-reflux. On a aussi évoqué :

- un effet de valve de l'uretère sous-muqueux, comprimé par la pression hydrostatique de la vessie,
- l'écrasement de l'uretère dans le hiatus musculaire, par la compression du détrusor,
- la traction sur les fibres urétérales par la mise en tension passive ou la contraction active du trigone superficiel.

Toutes ces théories admettent implicitement qu'un dispositif anti-reflux normal est d'autant plus efficace que la tension pariétale ou la pression intravésicale sont plus fortes.

(d'après J.M. Buzelin et L. Le Normand, Physiologie et Exploration fonctionnelle de la V.E.S., in Progrès en Urologie, 1991, 1, 611-736)

II - INNERVATION DE LA VOIE EXCRETRICE URINAIRE (Figure 31)

1 - L'innervation somatique

Elle concerne le sphincter strié de l'urètre, les muscles du diaphragme pelvien (éleveur de l'anus et ischio coccygien) et du périnée. Elle est assurée par les branches du plexus honteux, constitué par l'union de S2, S3 et S4, qui donne les nerfs de l'éleveur de l'anus (S3 et S4), du muscle sacro-

coccygien (S4) et le nerf pudendal (nerf honteux interne), dont le centre médullaire est situé dans la moelle ventrale des 2e, 3e et 4e segments sacrés. Le nerf pudendal quitte le petit bassin puis y revient après avoir contourné l'épine sciatique ; il longe ensuite la paroi latérale de la fosse ischio-rectale, dans un dédoublement de laponévrose recouvrant le muscle obturateur interne, le canal d'Alcock, au contact du prolongement falciforme du ligament sacro-tubéral (ou grand ligament sacro-sciatique). Ces rapports ostéoligamentaires exposent à des traumatismes à l'origine de névralgies périnéales.

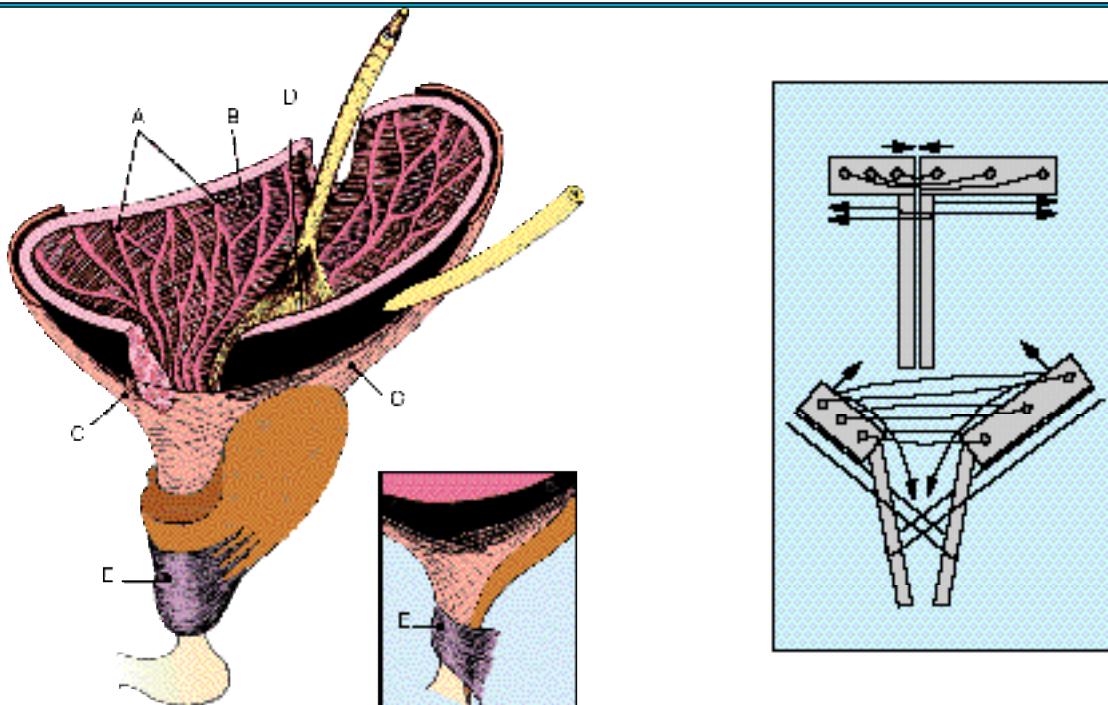


Figure 30 - Description classique de la myo-architecture vésico-sphinctérienne .

Les fibres musculaires lisses du détrusor sont classiquement disposées en 3 couches, longitudinale interne, prolongée dans l'urètre (A), circulaire moyenne formant la charpente de la base vésicale (B), longitudinale externe disposée en deux faisceaux (antérieur et postérieur) formant au niveau du col et de l'urètre des "frondes" (C). Le trigone superficiel est formé par l'épanouissement des fibres musculaires longitudinales de l'uretère.

Il fut longtemps admis que toute la **musculature lisse vésico-cervico-uréthrale** (à l'exception du trigone) représentait un seul et même muscle, recevant son innervation exclusivement du parasympathique. Pour expliquer comment cette unité neuro-musculaire pouvait assurer simultanément le relâchement du détrusor et la fermeture du col et, inversement, la contraction du détrusor et l'ouverture du col, la myoarchitecture cervico-uréthrale fut présentée comme un système de frondes opposées prolongeant les faisceaux longitudinaux externes du détrusor, croisant obliquement le col sans l'encercler, puis s'enroulant en spirales autour de l'urètre. Récemment, il a été démontré que la musculature lisse de la vessie et de l'urètre est composée de fibres embryologiquement et histologiquement différentes. Chez l'homme les fibres musculaires lisses envahissent le stroma prostatique qui représente 50% du poids de cet organe.

Le sphincter strié double extérieurement les fibres musculaires lisses. Chez l'homme, il entoure complètement l'urètre membraneux d'un manchon épais en avant, qui s'amincit vers le venu montanum. Le développement de la prostate refoule ses fibres qui s'étalent sur les faces antérieures et latérales de la glande. Chez la femme, il s'étend sur toute la longueur de l'urètre, mais ne l'entoure complètement que dans son tiers moyen, là où son épaisseur est maximum ; au-dessus, les fibres remontent jusqu'au col en ne recouvrant que la face antérieure ; en dessous, elles forment un arc à concavité postérieure qui s'insère sur les parois latérales du vagin.

En encadré, rôle des fibres musculaires lisses cervico-uréthrales dans l'occlusion et l'ouverture du col, dans les théories mécanistes.

(d'après J.M. Buzelin, Neuro-Urologie, Expansion Scientifique Française édit.)

Le centre cérébral du contrôle volontaire de la motricité est l'aire somato-motrice (ou précentral), située dans le gyrus précentral (entre la scissure de Rolando, en arrière, et le sillon précentral, en avant). Des cellules pyramidales géantes (de Betz) qui y sont regroupées partent les motoneurones de la voie cortico-spinale latérale (faisceau pyramidal croisé).

2 - L'innervation végétative

Elle provient de 2 centres médullaires situés dans les colonnes latérales de la moelle.

Le centre parasympathique sacré occupe la corne latérale des 2e 3e et 4e segments sacrés. Les neurones pré-ganglionnaires accompagnent les neurones somatiques (racines ventrales puis nerfs spinaux) du plexus honteux (S2, S3 et S4) puis constituent les nerfs érecteurs qui se jettent dans le plexus hypogastrique inférieur, situé dans la partie

postérieure des lames sacro-recto-génito-pubiennes. Ils sont relayés à ce niveau par les neurones post-ganglionnaires et se distribuent ensuite aux organes pelviens par les nerfs viscéraux dont, par exemple, les nerfs caverneux.

Le centre sympathique lombaire (orthosympathique) est étagé de D10 à L2. Les neurones pré-ganglionnaires gagnent les ganglions de la chaîne sympathique latéro-vertébrale par les rameaux communicants blancs et forment les splanchniques thoraciques et lombaires qui participent à la constitution de divers plexus où ils s'articulent avec les neurones post-ganglionnaires. Parmi ces plexus, deux concernent plus spécialement la voie excrétrice urinaire :

- le plexus rénal autour du pédicule rénal en relation avec le plexus cœliaque sus-jacent, qui reçoit des afférences sympathiques thoraciques par le petit et le grand splanchnique, et parasympathique par le nerf vague droit.

- le plexus hypogastrique supérieur (ou nerfs pré-sacrés), situé à l'entrée du pelvis, relié au plexus hypogastrique inférieur par les nerfs hypogastriques.

Le plexus hypogastrique inférieur (et très vraisemblablement aussi les plexus rénaux et hypogastrique supérieur), est donc une zone de convergence des neurones sympathiques et parasympathiques. Les nerfs qui en partent (comme les nerfs caverneux) contiennent donc les deux composantes.

La voie excrétrice supérieure reçoit des neurones sympathiques de D10, D11, D12 et L1, et des neurones parasympathiques de S2, S3 et S4, plus accessoirement du pneumogastrique. Ces neurones sont organisés en 3 pédicules uréteriques : supérieur, moyen et inférieur, respectivement issus des plexus rénal, hypogastrique supérieur et hypogastrique inférieur.

La vessie et l'urètre reçoivent une innervation sympathique de D12, L1 et L2, par l'intermédiaire des nerfs hypogastriques et des nerfs splanchniques sacrés, issus des ganglions sacrés de la chaîne sympathique latéro-vertébrale⁽¹⁾. L'innervation parasympathique provient de S2, S3 et S4 (nerfs érecteurs). L'ensemble de ces composants est regroupé

dans le plexus hypogastrique inférieur duquel partent les nerfs (ou plexus) vésicaux, prostatiques, déférentiels, utéro-vaginaux et caverneux.

Le système nerveux intrinsèque, étudié par des méthodes histo-chimiques et ultra-structurales (voir note 2), présente deux caractéristiques importantes :

- l'existence, au sein des ganglions périphériques, de contacts entre les neurones sympathiques et parasympathiques, directement ou indirectement par l'intermédiaire de neurones courts. Ces ganglions sont donc de véritables centres où s'organise un contrôle mutuel entre les deux systèmes,

- des terminaisons sympathiques et parasympathiques en tous points de la voie excrétrice urinaire, en densité et en proportion différentes (figure 32).

Ces conclusions concordent bien avec celles des études pharmacologiques sur les récepteurs : aux terminaisons cholinergiques correspondent des récepteurs muscariniques, et aux terminaisons adrénergiques, des récepteurs alpha ou bêta adrénergiques (figure 32)⁽²⁾. Si le rôle du système nerveux sur le fonctionnement de la voie excrétrice supérieure est discutable, on conçoit par contre très bien les effets des systèmes sympathique et parasympathique sur l'appareil vésico-sphinctérien. Le premier intervient pendant la phase de remplissage en relâchant le détrusor (récepteurs β) et surtout en contractant le col et l'urètre (récepteurs α). Le second intervient pendant la miction en contractant le détrusor.

L'innervation autonome n'est pas seulement cholinergique et adrénergique. Il existe aussi des nerfs purinergiques dont le neurotransmetteur est l'ATP et des nerfs peptidergiques dont les neurotransmetteurs sont divers polypeptides (Vasoactive Intestinal Peptide, Substance P...). Leur rôle est encore incertain.

(1) A ce niveau, les rameaux communicants sont rudimentaires, de sorte que les fibres sympathiques viennent bien des niveaux thoraco-lombaires).

(2) Il persiste cependant une énigme pour la vessie. L'atropine qui est l'antimuscarinique de référence, bloque totalement les contractions induites par l'acétylcholine, mais n'a pas d'effet in vivo, qu'à une très forte dose. Cette relative insensibilité que l'on constate également sur les contractions induites par électrostimulation des nerfs pelviens, suggère l'existence d'autres neurotransmetteurs que l'acétylcholine.

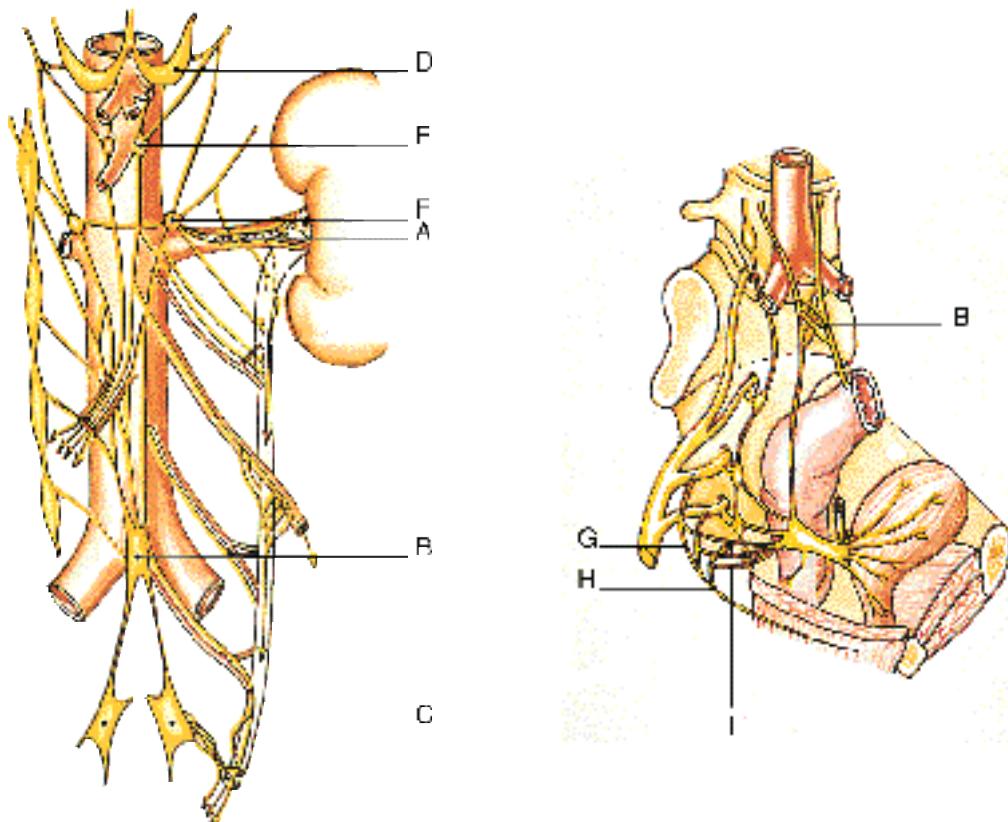


Figure 31- Innervation de la voie excrétrice urinaire.

Du centre sympathique dorso-lombaire partent des neurones pré-ganglionnaires qui, lorsqu'ils sont destinés à l'innervation des viscères abdomino-pelviens, traversent sans y faire synapse les ganglions de la chaîne sympathique. La plupart forment des nerfs splanchniques qui synapsent avec les neurones post-ganglionnaires dans plusieurs plexus ganglionnaires connectés les uns aux autres :

- les splanchniques thoraciques se terminent dans les ganglions cœliaques (D), mésentériques supérieurs (E) et interaortico-rénaux (F), reliés au plexus rénal (A). Ces ganglions reçoivent également quelques filets du pneumogastrique qui participent à l'innervation parasympathique de la voie excrétrice supérieure.
- les splanchniques lombaires se terminent dans les ganglions des plexus rénal (A), mésentérique inférieur et hypogastrique supérieur (B). De ce dernier partent les nerfs hypogastriques qui se rendent à la vessie et à l'urètre en passant par le plexus hypogastrique inférieur (C). La plupart des neurones sympathiques synapsent dans les ganglions du plexus hypogastrique supérieur (B); mais il est prouvé que certains synapsent dans ceux du plexus hypogastrique inférieur (C), avec les neurones parasympathiques.

Du centre sacré (S2, S3 et S4) partent les neurones somatiques (corne ventrale) et parasympathiques (corne latérale). Ils parcourent ensemble le nerf rachidien et constituent le plexus honteux (G) d'où partent :

- le nerf pudendal (honteux interne) (H) qui assure l'innervation somatique du sphincter strié et du plancher périnéal
- le nerf de l'élévateur de l'anus et celui du muscle sacro-coccygien
- les nerfs érecteurs (I) qui assurent l'innervation parasympathique du bas appareil urinaire, par l'intermédiaire du plexus hypogastrique inférieur où synapsent les neurones pré et post-ganglionnaires.

(d'après J.M. Buzelin, F. Richard, J. Susset, Physiologie et Pathologie de la Dynamique des Voies Urinaires, S. Khouri, FIIS édit.)

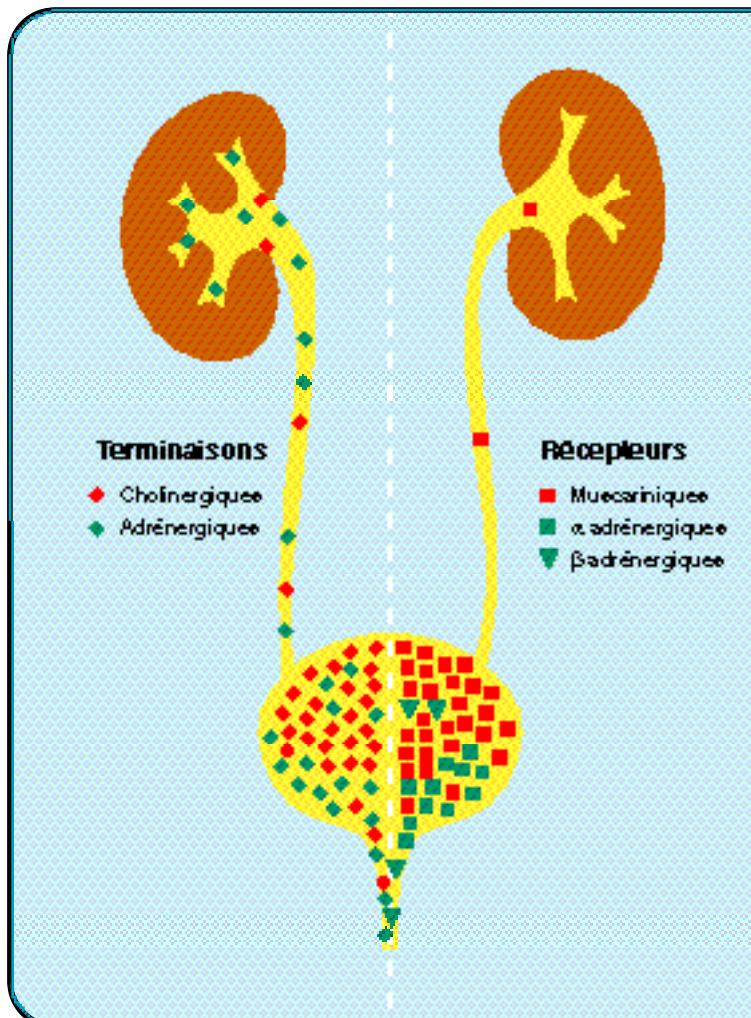


Figure 32 - Terminaisons nerveuses et récepteurs pharmacologiques. Les fibres musculaires lisses de la voie excrétrice urinaire reçoivent une double innervation sympathique et parasympathique.

La densité et la distribution des terminaisons axonales ont pu être étudiées par des méthodes histo-chimiques et ultra-structurales (voir note 2).

- la voie excrétrice supérieur est pauvrement innervée par des terminaisons cholinergiques et adrénergiques ; ces dernières sont plus abondantes aux deux extrémités, c'est à dire dans la région calicielle et à la jonction urétero-vésicale.

- la vessie, en particulier le dôme, est très richement innervée, avec pratiquement un rapport varicosités axonales/cellules musculaires de 1/1. Il s'agit presque exclusivement de terminaisons cholinergiques.

- l'urètre est pauvrement innervé par des terminaisons cholinergiques et adrénergiques.

La nature et la distribution des récepteurs pharmacologiques ont été étudiées par des méthodes pharmacologiques (voir note 5), dont les conclusions sont parfaitement concordantes avec les précédentes.

- Dans la voie excrétrice supérieure, les récepteurs alpha adrénergiques prédominent et leur stimulation entraîne une augmentation de la fréquence et de l'amplitude des contractions dans l'uretère.

- Le dôme vésical est équipé principalement de récepteurs muscariniques et, à un moindre degré, de récepteurs β adrénergiques.

- Le col et l'urètre contiennent des récepteurs muscariniques et surtout des récepteurs adrénergiques, principalement de type α .

Des centres végétatifs supra-médullaires interviennent dans le fonctionnement de l'appareil vésico-sphinctérien. Des fonctions aussi corticalisées que la continence et la miction nécessitent l'intervention de centres supérieurs qui ont été identifiés chez l'animal et chez l'homme (figure 33). Ils sont réunis par le réseau multisynaptique du système extra-pyramidal.

3 - L'innervation sensitive

La voie excrétrice est sensible à la distension ; c'est elle qui est responsable des douleurs de la colique néphrétique et de la rétention aiguë d'urine. Cette sensibilité "proprioceptive" est captée par des récepteurs musculaires. La vessie et l'urètre perçoivent, en plus, la sensibilité extéroceptive (douleur et température pour la vessie, douleur, température et toucher pour l'urètre), qui est captée par des récepteurs sous-muqueux.

La plupart des neurones sensitifs gagnent la moelle sacrée par l'intermédiaire des nerfs érecteurs et des nerfs pudendal. Cette voie, fonctionnellement la plus importante, draine principalement la sensibilité proprioceptive et accessoirement la sensibilité extéroceptive pour toutes les régions de la vessie et de l'urètre.

Les afférences qui atteignent la moelle lombaire par l'intermédiaire des nerfs hypogastriques concernent surtout la sensibilité du trigone et de la voie excrétrice supérieure. On connaît assez mal les voies centrales de la sensibilité ; la voie spino-thalamique semble cependant prépondérante aussi bien pour la vessie que pour la voie excrétrice supérieure.

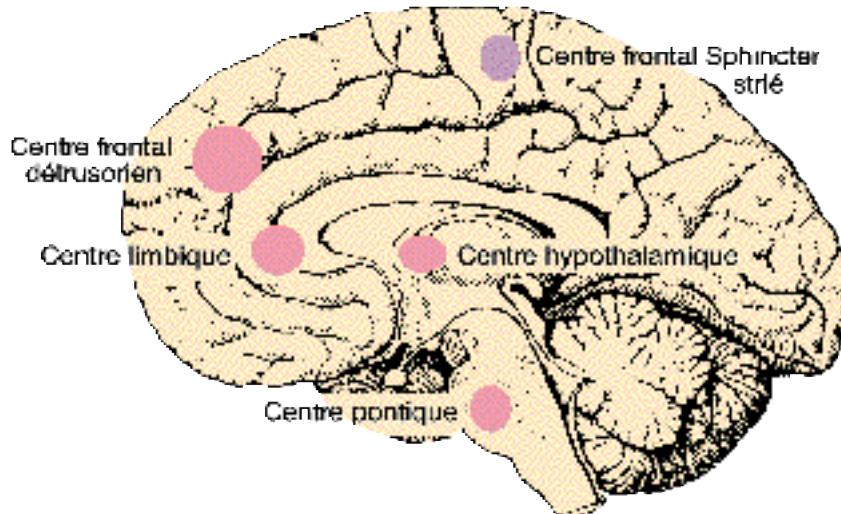


Figure 33 - Centres végétatifs supra-médullaires :

- Les centres du tronc cérébral sont localisés dans la partie antérieure de la protubérance annulaire ; ils jouent un rôle important dans le réflexe mictionnel de l'adulte.
- Les centres diencéphaliques (noyaux gris centraux) sont impliqués dans les dysfonctionnements vésicaux de la maladie de Parkinson.
- Les centres corticaux sont localisés à la face interne du lobe frontal et dans les structures sous-jacentes du cortex archaïque (système limbique). Ils interviennent dans la commande volontaire ou instinctive de l'acte mictionnel.

B - PHYSIOLOGIE DE LA VOIE EXCRETRICE SUPERIEURE

LE PERISTALTISME URETERAL

La fonction de la VES se résume à transporter activement l'urine des calices dans la vessie, en maintenant une pression pyélo-calicielle constamment basse, même en hyperdiurèse. C'est ainsi que le rein est drainé confortablement et sans danger (figure 34).

I - CONDITIONS DU TRANSPORT DE L'URINE DANS L'URETERE

Le transport de l'urine du calice à la vessie n'est pas régi par la pesanteur⁽³⁾. Il est le résultat d'un rapport entre **des forces de propulsion** et **des forces de résistance**. Ces forces varient avec la diurèse.

a) Transport de l'urine en diurèse normale

Pour une diurèse de 1500 ml/24h, chaque rein secrète, en moyenne, 0,5 ml d'urine par minute. Son transport dans la vessie est activement assuré, sous forme de bolus, par le péristaltisme uréteral.

La force propulsive est la pression endoluminale qui n'est pas uniformément répartie le long de la VES. A un moment donné, on peut y enregistrer (figure 35) :

- une pression pyélique,
- une pression au passage de l'onde contractile,
- une pression au passage du bolus
- une pression basale dans l'uretère collabé.

(3) Ce n'est pas rigoureusement exact : la tête en bas, les pieds en l'air, l'urine continue à rejoindre la vessie... mais un peu moins facilement. C'est en constatant l'engouement pour la pratique du yoga à Ann Arbor que Thornbury et Lepidès eurent l'idée de réaliser des UIV, tête basse, à 11 jeunes hommes de leur hôpital. La vessie continuait de se remplir normalement, mais les cavités pyélocalicielles se distendaient légèrement comme au cours d'une compression urétérale.

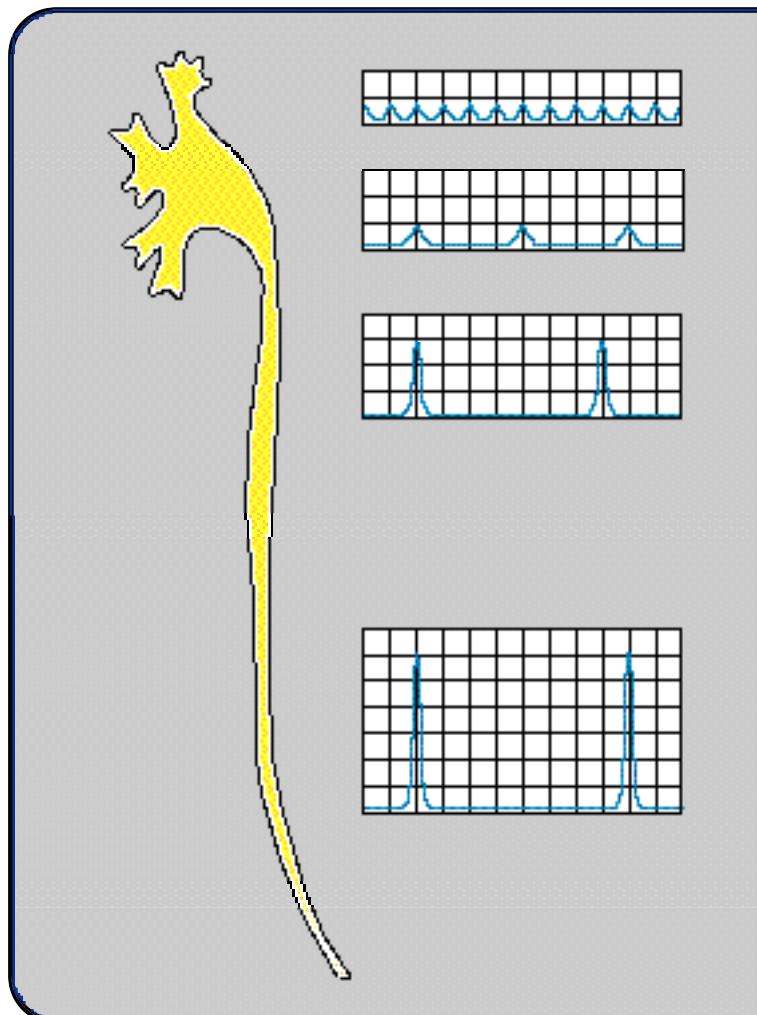


Figure 34 - L'uretère, par son péristaltisme, transporte une certaine quantité d'urine sous la forme d'un bolus. Dans les conditions de diurèse normale, le volume transporté par chaque bolus est de l'ordre de 0,5 ml, à une fréquence de 1 à 2 bolus par minute, soit un débit moyen de 1 ml/mn. La pression urétérale basale reste uniformément basse sur toute la hauteur de la voie excrétrice (moins de 10 cm d'eau) alors que la pression urétérale au passage de l'onde contractile augmente de haut en bas passant de 10 à 15 cm d'eau au tiers supérieur de l'uretère à 25 ou 30 cm d'eau à son tiers inférieur.

(d'après J.M. Buzelin et L. Le Normand, Physiologie et Exploration fonctionnelle de la V.E.S., in Progrès en Urologie, 1991, 1, 611-736)

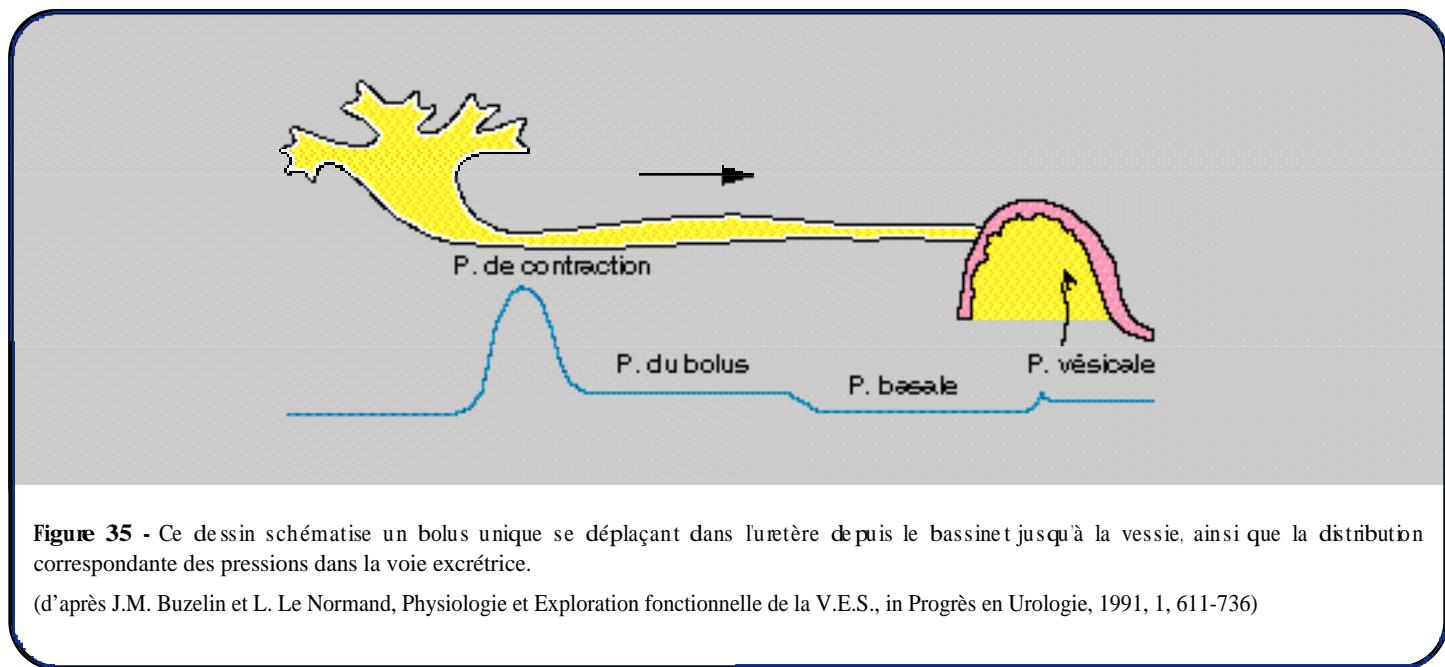


Figure 35 - Ce dessin schématise un bolus unique se déplaçant dans l'uretère depuis le bassin et jusqu'à la vessie, ainsi que la distribution correspondante des pressions dans la voie excrétrice.

(d'après J.M. Buzelin et L. Le Normand, Physiologie et Exploration fonctionnelle de la V.E.S., in Progrès en Urologie, 1991, 1, 611-736)

Une onde contractile née des calices, se propage dans le bassinet puis dans l'uretère. Sa fréquence diminue de haut en bas passant de 6 à 8 contractions par minute dans les cavités pyélo-calicielles, à 1 ou 2 contractions par minute dans l'uretère.

La pression pyélo-calicielle doit rester basse, inférieure à 10 cm d'eau, pour empêcher le reflux calico-papillaire. En effet, contrairement à ce que l'on prétendait autrefois⁽⁴⁾, les calices et le bassinet ne sont pas fonctionnellement compartimentés, et il se produit continuellement un brassage de l'urine. L'onde contractile qui parcourt les calices et le bassinet n'est pas mécaniquement efficace puisqu'elle ne collabore pas les parois, chaque bolus qui s'engage dans l'uretère le présentant le dixième seulement de la capacité pyélo-calicielle. L'enregistrement de la pression pyélique ne saisit d'ailleurs pas les fluctuations qui pourraient être générées par cette onde. L'engagement du bolus dans l'uretère est donc avant tout un phénomène passif résultant de la pression hydrostatique dans le bassinet ; il n'est possible que parce que la pression dans la partie initiale de l'uretère relâché est basse.

Le bassinet n'est pas un générateur, mais un amortisseur de pression ; c'est sa raison d'être. Il le doit à son volume et à sa compliance :

- même s'il n'est pas un réservoir au sens strict du terme, le bassinet forme une cavité où la pression est uniformément répartie dans un volume plus ou moins important. Selon la loi de Laplace ($P = 2T/R$), plus le bassinet est grand, plus il absorbe les fluctuations de la tension pariétale.

- la compliance est liée aux propriétés visco-élastiques qui ont pu être étudiées chez l'animal par pyélogonométrie (c'est à dire une relation pression/volume), après occlusion de la jonction pyélo-urétérale.

La pression urétérale et plus précisément celle générée par l'onde contractile est le véritable moteur qui propulse le bolus⁽⁵⁾. Contrairement à la théorie, l'uretère ne se comporte pas comme un canal qui freine l'urine ; il est bien l'élément actif de la V.E.S. ; plus il est long, plus il est efficace.

La qualité propulsive d'un uretère est caractérisée par deux valeurs : sa puissance contractile et la vitesse de déplacement du bolus :

- la puissance contractile doit permettre le collapsus des parois, c'est à dire vaincre la résistance à la progression du bolus. C'est la pression de contraction, dont la valeur croît de haut en bas, passant de 10 ou 15 cm d'eau au tiers supérieur à 25 ou 30 cm d'eau au tiers inférieur.

- la vitesse de déplacement de l'onde contractile est relativement stable, de l'ordre de 30 cm/s. Un bolus de 0,5 ml met donc 10 secondes pour parcourir les 30 cm d'uretère. Une seule rame urétérale par minute suffit donc à drainer un rein en diurèse normale. La fréquence des ondes contractiles parcourant l'uretère est, effectivement, de 1 à 2 par minute.

La force de résistance augmente de haut en bas ; c'est la signification qu'il faut attribuer à l'augmentation, dans le même sens, de la pression de contraction⁽⁶⁾.

Dans l'uretère, le bolus doit ouvrir la lumière urétérale puis progresser au prix de pertes de charge par frottement. Les pertes énergétiques dépendent :

- des propriétés visco-élastiques de l'uretère,
- du volume et de la vitesse de déplacement du bolus.

Cette résistance est maximum à la jonction urétéro-vésicale où s'associent des facteurs de résistance urétéraux et vésicaux :

- les résistances urétérales sont essentiellement représentées par le calibre de l'uretère terminal, qui est sa partie la moins compliant. Sa paroi même, plus riche en fibres collagènes, et les gaines inextensibles qui

(4) Les premières études radiologiques de la voie excrétrice urinaire, utilisant la scopie puis le radioscopie, laissaient à penser que, du calice à la vessie, la voie excrétrice était segmentée par une série de "réservoirs" fermés par des "écluses", fonctionnant sur le principe "vessie-sphincter". C'est ainsi que l'uretère était fonctionnellement segmenté en "cystoïdes" qui se vidangeaient les uns dans les autres. Cette théorie s'appliquait également aux calices et au bassinet, qu'on représentait séparés par des fibres musculaires circulaires, ayant une fonction sphinctérienne (voir figure 29). Ainsi, on pensait que la contraction des calices chassait l'urine dans le bassinet, puis que la contraction du bassinet la chassait dans l'uretère, etc...

(5) On a imaginé d'autres types de propulsion comme l'aspiration résultant de la relaxation de l'uretère en aval du bolus. Mais, l'enregistrement de pressions négatives dans l'uretère, à l'origine de cette théorie, était le fait de la respiration.

(6) Rappelez-vous qu'un muscle lisse (contrairement au muscle strié) n'a pas la vanité de réaliser gratuitement une performance. La pression qu'il développe est toujours le reflet d'une résistance qu'il doit vaincre.

l'entourent, gênent son expansion au passage du bolus. Cette disposition a une finalité fonctionnelle ; elle permet au bolus de s'allonger, d'augmenter sa vitesse locale⁽⁷⁾ et d'être éjecté avec une vitesse accrue dans la vessie, selon le principe de la lance d'arrosage. En contre partie, elle limite les possibilités d'adaptation à l'hyperdiurèse. L'uretère terminal participe activement à diminuer cette résistance, en réduisant sa longueur pendant l'éjaculation. On peut le constater en cystoscopie : avant l'éjaculation la contraction des fibres longitudinales entraîne sa rétraction télescopique, diminuant ainsi la longueur du trajet intra-mural ; après l'éjaculation, il s'allonge à nouveau.

- les résistances vésicales sont la pression intra-vésicale qui varie pendant le remplissage et la miction. Elle n'est cependant pas seule en cause puisqu'on observe une réponse obstructive dans l'uretère (augmentation de la fréquence des contractions), dès que la pression vésicale dépasse 11 cm d'eau seulement, c'est à dire une valeur très inférieure à la pression systolique dans le tiers inférieur de l'uretère. Cela pourrait signifier que l'augmentation de la résistance à la jonction urétérovésicale lors du remplissage serait liée à des mécanismes comme la mise en tension des fibres urétérales prolongées dans le trigone superficiel.

2 - Transport de l'urine en hyperdiurèse.

La V.E.S. peut avoir à faire face à des conditions sensiblement différentes de celles qui ont été définies comme basales. La diurèse n'est pas constante mais varie dans le nycthémère selon la quantité de liquide absorbé. La consommation d'un demi litre de bière entraîne au maximum une diurèse de 20 ml/mn, 20 fois plus que la diurèse normale.

Pour transporter une plus grande quantité d'urine dans le même temps, 3 phénomènes "d'adaptation" se produisent (figure 36A) :

- l'augmentation de la taille du bolus est le phénomène le plus important et le plus efficace, puisque le volume d'urine poussé par l'onde péristaltique peut être multiplié

par 100. Il est la conséquence directe de l'hyperdiurèse, l'augmentation de la pression hydrostatique dans le bassinet suffisant pour engager le bolus dans l'uretère.

- l'augmentation de l'amplitude des contractions dans l'uretère ne fait que traduire l'augmentation de la résistance. C'est la conséquence de la mise en tension du muscle uréteral, conformément à la loi de Starling.

- l'augmentation de la fréquence des contractions dans l'uretère est telle que le rythme double, triple ou quadruple ; au maximum le rapport du nombre de contractions urétérales sur le nombre de contractions calicielles est de 1/1. Ce mécanisme est cependant doublément limité par l'existence d'une période réfractaire absolue (intervalle interpéristaltique) et d'une relation inverse avec la vitesse de déplacement de l'onde contractile (plus la fréquence est élevée, plus la vitesse de déplacement est lente).

Cette réponse à l'hyperdiurèse est comparable à celle provoquée par une obstruction urétérale, ce qui veut dire que l'augmentation du débit dans l'uretère accroît la résistance à l'écoulement en particulier dans son trajet intramural qui n'accepte pas de gros bolus. Il peut se produire un reflux intra-uréteral.

Il arrive un moment où les bolus fusionnent et où l'urine est propulsée par la pression hydrostatique, sous forme d'un écoulement continu (figure 36B). Ce seuil correspond à un débit de l'ordre de 10 ml/s. Ce mode de transport est plus efficace que celui résultant du péristaltisme, car il permet des débits plus élevés. Par contre, le rein est moins bien protégé puisque la pression est uniformisée sur toute la hauteur de la voie excrétrice. Cependant deux phénomènes interviennent pour en limiter les conséquences :

- l'urine qui s'engage dans l'uretère ne trouve plus devant elle un uretère contracté, mais la pression hydrostatique ; paradoxalement l'augmentation de la pression pyélique avec le débit est diminuée (figure 37),
- la compliance du bassinet intervient pour amortir la pression.

(7) La vitesse est une longueur par unité de temps ; le débit est un volume par unité de temps. La vitesse est donc égale au rapport du débit par la surface de section. Pour un débit constant, plus cette surface est grande plus la vitesse est faible et inversement. Le jet est accéléré dans les rétrécissements et ralenti dans les expansions.

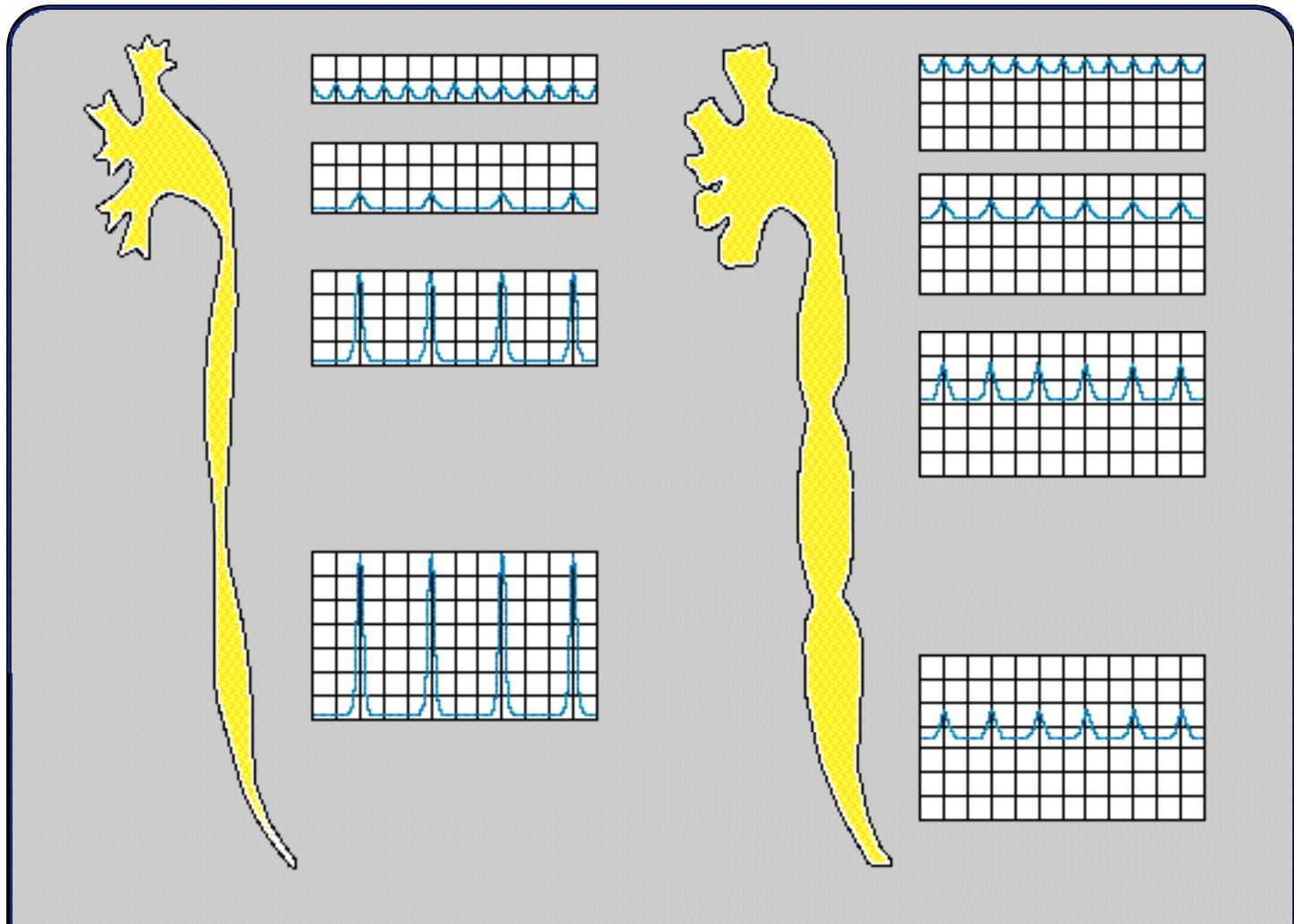


Figure 36 - En hyperdilatation, la fréquence des contractions dans l'uretère augmente, ainsi que le volume du bolus, et, à un moindre degré l'amplitude des contractions :

- à gauche (figure 36A), le transport est encore actif, par le péristaltisme uréteral : la taille des bolus, l'amplitude et la fréquence des contractions dans l'uretère augmentent. L'augmentation de la taille des bolus accroît la résistance à l'engagement et à la progression du bolus dans l'uretère. L'uretère se dilate et la pression hydrostatique augmente plus ou moins selon sa compliance qui est particulièrement limitée dans le trajet intramural.

- à droite (figure 36B), les bolus, à force de grossir et de s'étendre, fusionnent, et les parois uréterales ne se collabent plus. L'uretère a perdu sa fonction propulsive et le transport de l'urine ne dépend plus que de la pression hydrostatique qui atteint 40 cm ou plus. Les contractions uréterales n'ont pas disparues, mais, les parois ne se collabent plus, on n'enregistre plus de pic de pression au passage de l'onde contractile.

(d'après J.M. Buzelin et L. Le Normand, Physiologie et Exploration fonctionnelle de la V.E.S., in Progrès en Urologie, 1991, 1, 611-736)

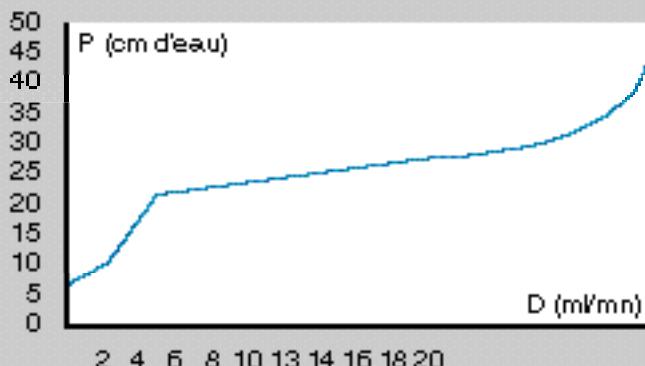


Figure 37 - Chez le porc, Mortensen a monté deux sondes urétérales Ch5 jusqu'au bassin, l'une pour perfuser, l'autre pour capter la pression. Malgré leur présence, la jonction est encore considérée comme perméable. Les débits de perfusion sont augmentés par paliers et la pression correspondante est enregistrée après stabilisation, chaque nouveau débit étant suivi d'un phénomène de stress-relaxation.

- au-dessous de 2 ml/mn, le transport urétéral se fait par péristaltisme et la pression pyélique reste basse, chaque contraction remplissant régulièrement l'uretère qui est relaxé entre les bolus.
- de 2 à 6 ml, les bolus se rapprochent et ne sont plus séparés que par les ondes de contractions ; il n'y a plus de relâchement de l'uretère et l'engagement du bolus se heurte à une résistance accrue. La pente de la relation pression/débit atteint sa valeur maximum.
- au-delà de 6 ml/mn, le flux dans l'uretère est continu et on enregistre dans le bassin une pression hydrostatique qui s'accroît linéairement avec le débit, mais proportionnellement moins que durant la phase précédente.
- pour des débits extrêmes, supérieurs à 20 ml/mn, la capacité de transport de l'uretère étant dépassée, l'urine s'accumule et il s'établit une relation pression/volume qui dépend de la compliance de la V.E.S.

(d'après J.M Buzelin et L. Le Normand, Physiologie et Exploration fonctionnelle de la V.E.S., in Progrès en Urologie, 1991, 1, 611-736)

II - NEURO-PHYSIOLOGIE DU PERISTALTISME URETERAL

1 - Origine et propagation de l'onde contractile.

Toute stimulation mécanique est capable de générer une onde contractile quel que soit l'endroit de la V.E.S. où elle est appliquée. Par exemple, le pincement de l'uretère induit un péristaltisme qui se propage dans les deux sens à partir du point d'application. Ceci suggère que la V.E.S. dans sa totalité est excitable. Mais certains faits, comme les modifications de la fréquence des contractions après néphrectomie polaire supérieure ou résection calicielle, indiquent que l'organisation du péristaltisme est commandée d'en haut.

Des cellules musculaires "atypiques" ont été identifiées en microscopie électronique, au niveau des calices. Leurs particularités morphologiques (pauvreté des myofilalements, absence de cholinestérase, organisation en amas et non en faisceaux), et l'abondance inhabituelle des fibres adrénergiques à leur contact, suggèrent une fonction de cellule pacemaker. Ces cellules émettent spontanément et régulièrement des potentiels dont la fréquence, supérieure à celle des autres cellules musculaires, est sensible à la stimulation $\beta 1$ adrénergique, comme le est le tissu nodal cardiaque. Le nombre de potentiels qui passent dans l'uretère et génèrent un péristaltisme urétéral, dépend, comme nous l'avons vu, du débit urinaire.

Le potentiel d'action se propage d'une cellule musculaire à l'autre, comme si le muscle lisse de la V.E.S. était un syncytium fonctionnel capable d'une grande adaptabilité quand on l'interrompt. En effet, après transection et suture de l'uretère, on observe successivement dans le segment inférieur :

- l'arrêt de tout péristaltisme, pendant les 15 premiers jours,
- puis, l'apparition d'un péristaltisme indépendant, non synchronisé à celui du segment supérieur, parfois rétrograde,
- enfin, la réapparition de contractions transanastomotiques venues du segment supérieur.

Un segment d'uretère, retourné et interposé en position antipéristaltique, retrouve en 4 semaines environ, un péristaltisme normal.

2 - Le rôle du système nerveux.

Le rôle du système nerveux dans la physiologie de la V.E.S. n'est pas bien connu, tout se passant comme si le péristaltisme urétral était un phénomène exclusivement myogène, y compris son adaptation à la diurèse.

Pourtant, l'effet des substances adrénnergiques sur la contractilité de la VES suggère, sans le prouver, l'intervention du **système nerveux intrinsèque** dans la transmission au bassinet et à l'uretère des potentiels pace-maker. Les agonistes alpha-adrénnergiques facilitent cette transmission alors que les agonistes bêta-adrénnergiques ont un effet inverse, mais augmentent la fréquence des potentiels pace-maker (tableau II).

Le rôle du **système nerveux extrinsèque** est plus incertain encore. On ne peut se fier, pour le démontrer, aux expériences de stimulation ou de section des troncs nerveux dont les effets sur la V.E.S. peuvent être la conséquence indirecte d'une modification de la diurèse ou de l'activité vésicale. Il ne paraît toutefois pas indispensable au bon fonctionnement de la V.E.S. puisque l'uretère du rein transplanté retrouve son péristaltisme dès que la diurèse se rétablit. Cependant cette innervation existe, et il est logique de penser que son rôle se limite aux aspects physiologiques les plus sophistiqués :

- l'augmentation de la fréquence des contractions propagées dans l'uretère, en hyperdiurèse ou à vessie pleine, pourrait être un phénomène d'adaptation réflexe. L'abondance des terménaisons sympathiques et la sensibilité particulière des cellules pace-maker à la stimulation adrénnergique pourraient être des indices de l'influence du système nerveux.

- le mécanisme anti-reflux à la jonction urétero-vésicale est, d'abord, une conséquence de sa structure anatomique. Mais le tonus et le péristaltisme urétral sont aussi impliqués. L'idée d'un dispositif "sphinctérien" modulant le tonus dans cette région urétero-vésicale, pour la rendre alternativement étanche puis franchissable, est suggérée par l'existence, uniquement à ce niveau de l'uretère, de plexus ganglionnaires traduisant une plus grande activité du système nerveux autonome, et par la diminution progressive du taux de reflux chez l'enfant parallèlement au développement d'une innervation adrénnergique.

	Calices	Bassinet	Uretère
$\alpha+$	Fréquence		+
	Amplitude	+	+
$\beta+$	Fréquence	+ ($\beta 1$)	- ($\beta 2$)
	Amplitude		+

Tableau II - Effets des agonistes adrénnergiques, *in vitro*, sur la motricité de la voie excrétrice supérieure. Les substances cholinergiques ont un effet inconstant, et seules les substances adrénnergiques modifient la fréquence et l'amplitude des contractions spontanées ou électro-induites, différemment selon le niveau considéré. On peut en conclure que les agonistes alpha-adrénnergiques facilitent la transmission au bassinet et à l'uretère des potentiels caliciels et que les agonistes bêta-adrénnergiques ont un effet inverse.

C - PHYSIOLOGIE DE LA VOIE EXCRETRICE INFERIEURE

LA CONTINENCE ET LA MITION

Au plan urodynamique, la continence et la miction sont le résultat d'une évolution en sens inverse des pressions dans la vessie et dans l'urètre : quand la vessie se remplit la pression vésicale reste basse et la pression urétrale élevée ; quand elle se vide le gradient s'inverse (figure 38) ; c'est à cela que l'on doit d'être continent sans être dysurique. Mais ce n'est pas suffisant : cet automatisme doit être volontairement contrôlé pour pouvoir être parfaitement confortable.

I - L'AUTOMATISME VESICO-SPHINCTERIEN

Les pressions dans la vessie et dans l'urètre sont déterminées par les propriétés fondamentales de la musculature vésico-sphinctérienne, qui, tour à tour, se laisse distendre puis se contracte. Elle se comporte alternativement comme une force passive dépendante de ses propriétés visco-élastiques et comme une force active dépendante de ses propriétés contractiles.

1 - Physiologie du remplissage vésical

Les deux forces qui s'opposent sont la pression hydrostatique dans la vessie et la pression urétrale.

La pression vésicale de remplissage reste basse, ne dépassant pas 15 cm d'eau pour un volume de 300 ml. La possibilité de contenir un grand volume à basse pression est la première qualité de la vessie, car c'est elle qui protège le haut appareil urinaire. Elle dépend essentiellement de ses propriétés visco-élastiques (figure 39) .

Cependant, l'existence de récepteurs β adrénnergiques dans le dôme de la vessie suggère une régulation sympathique du tonus vésical *in vivo*, chez l'homme, une stimulation β adrénnergique parvient à réduire de 5 à 15% la pression vésicale. Cette régulation est donc réelle ; mais elle est quantitativement faible et n'interviendrait qu'en fin de remplissage pour augmenter la capacité vésicale.

La pression urétrale reste élevée et augmente même légèrement pendant le remplissage de la vessie. La pression urétrale est activement maintenue par l'activité tonique des sphincters lisse et strié de l'urètre, puisqu'elle est pratiquement annulée par un blocage pharmacologique, associant un alpha bloquant et un curarisant. Bien plus, ce

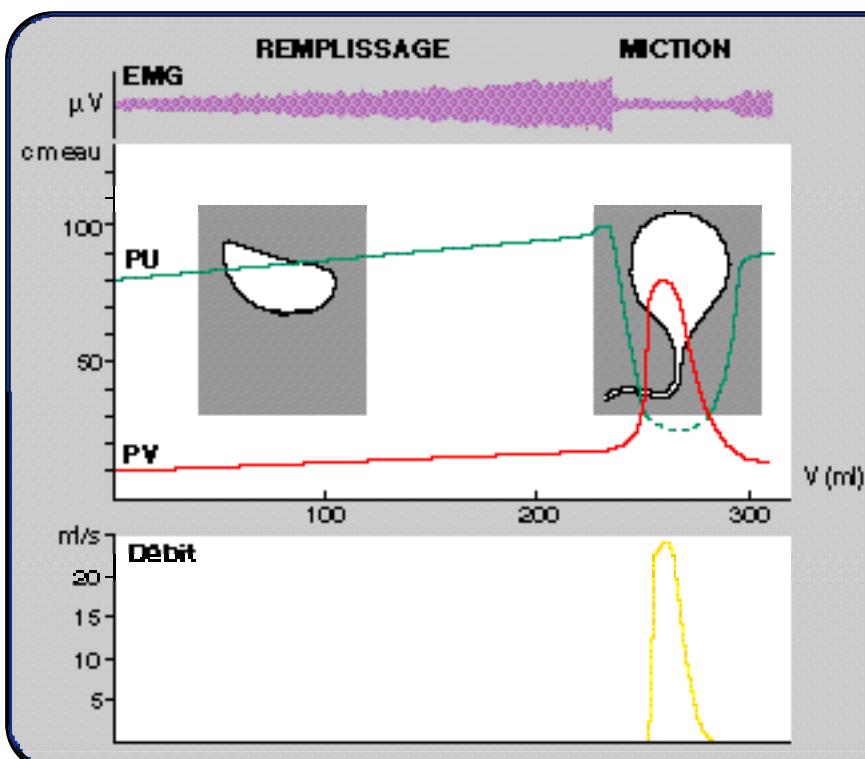


Figure 38 - Modifications morphologiques et évolution de l'EMG du sphincter strié urétral, de la pression urétrale maximale, de la pression vésicale et du débit, pendant le remplissage et la miction.

(d'après J.M. Buzelin, Neuro-Urologie, Expansion Scientifique Française édit.)

Le blocage empêche la pression uréthrale de s'élever pendant le remplissage vésical prouvant que ce phénomène n'est pas de nature mécanique, mais réflexe. La participation relative des fibres musculaires lisses et striées à la pression uréthrale est sensiblement équivalente, bien que variable d'un individu à l'autre. Ces réflexes toniques sont des réflexes segmentaires vraisemblablement sous contrôle

inhibiteur supra-médullaire (figure 40).

Les systèmes somatique et sympathique exercent un effet inhibiteur sur le système parasympathique. On peut quotidiennement le vérifier : la contraction volontaire du sphincter strié inhibe la contraction vésicale et le besoin d'uriner qui l'accompagne⁽⁸⁾.

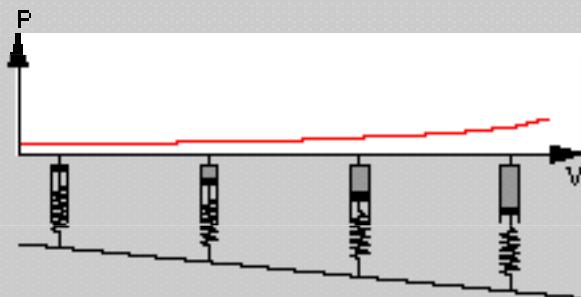


Figure 39 - Nous avons vu (figure 6) que la visco-élasticité pouvait être symbolisée par l'association de deux éléments : un ressort (composante élastique) et un amortisseur (composante visqueuse). Dans les conditions d'un étirement lent, comme celui réalisé par le remplissage physiologique de la vessie, c'est l'élément visqueux qui supporte la déformation avec, par conséquent, une augmentation faible ou nulle de la pression. Celle-ci ne s'élève qu'en fin de remplissage quand l'élément élastique est, à son tour, sollicité.

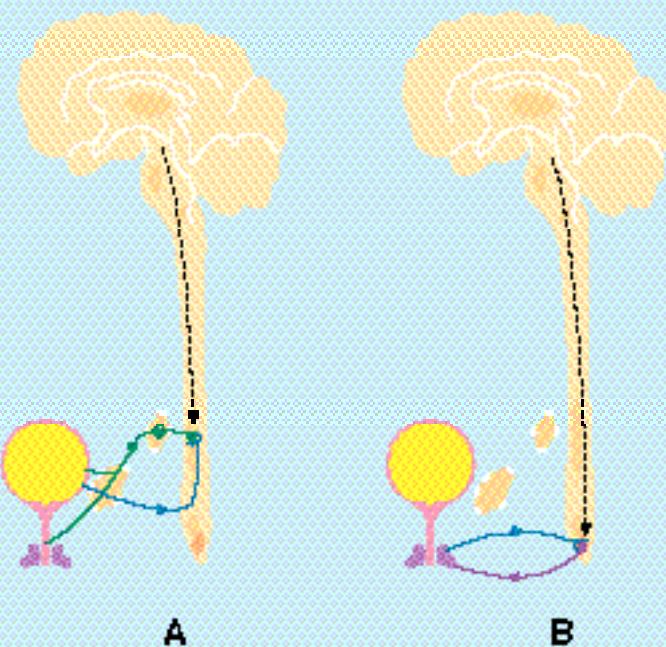


Figure 40 - Contrôle réflexe du tonus sphinctérien :

- Le point de départ du **réflexe sympathique** (A) est la stimulation des récepteurs de tension du détrusor ; les afférents gagnent la moelle dorso-lombaire par les nerfs pelviens, tandis que les efférents rejoignent, par les nerfs hypogastriques, les fibres musculaires lisses de la vessie et de l'urètre dont ils provoquent respectivement le relâchement (récepteurs β) et la contraction (récepteurs α). Ce réflexe est vraisemblablement placé sous un contrôle inhibiteur supramédullaire puisque les lésions médullaires hautes entraînent un hyperfonctionnement sympathique responsable d'une hypertension sphinctérienne et d'une acontractilité réflexe de la vessie.

- Le tonus du **sphincter strié** (B), et plus précisément de sa portion péri-uréthrale dépend d'un réflexe médullaire (réflexe myotatique), sous contrôle supramédullaire. Il est organisé dans le centre somatique sacré et emprunte les nerfs honteux internes pour afférence et efférence. Le point de départ est une stimulation des récepteurs de tension des muscles périnéaux.

(d'après J.M. Buzelin, Urodynamique Bas appareil urinaire, Masson édit.)

(8) Il existe, par ailleurs des réflexes inhibiteurs viscéro-viscéraux : la dilatation anal, la contraction de l'ampoule rectale, l'érection, inhibent la contraction détrusoriennes. Ces réflexes doivent être intégrés à un niveau supra-médullaire car ils peuvent être altérés après section médullaire.

2 - Physiologie de la vidange vésicale.

Le réflexe mictionnel associe une contraction vésicale et une relaxation sphinctérienne. Au plan hydraulique, la miction consiste en une transformation de l'énergie initiale fournie par la contraction vésicale sous la forme d'une pression, en une énergie restituée au méat sous la forme d'un débit. Cette transformation s'accompagne de pertes de charge ou pertes énergétiques qui, par simplification, et par analogie à d'autres systèmes physiques, sont regroupées sous le terme de "résistance urétrale". Les deux forces en compétition sont donc la pression vésicale mictionnelle et la résistance urétrale.

L'augmentation de la pression vésicale résulte de la contraction du détrusor, sous l'effet d'une décharge parasympathique.

Le point de départ de ce réflexe est la stimulation des récepteurs de tension du détrusor, qui augmente en fin de remplissage quand la vessie atteint sa limite de distensibilité ; le phénomène s'amplifie quand la contraction est amorcée. Le circuit réflexe passe par les centres protubérants (figure 41 A). Il existe d'autres réflexes facilitateurs dont l'origine est une stimulation des récepteurs cutanés ou muqueux. C'est

ainsi que le contact de l'urine sur la muqueuse de l'urètre proximal peut entraîner une contraction vésicale (figure 41 B). Comme nous le reverrons ces réflexes extéroceptifs existent chez le nouveau-né ; leur persistance ou leur réutilisation caractérisent les états d'hyperréflexivité.

Cette décharge parasympathique a deux conséquences :

- une contraction en masse ("phasique") des cellules musculaires lisses du détrusor.
- une inhibition réflexe des systèmes antagonistes (sympathique et para-sympathique), c'est à dire une relaxation sphinctérienne.

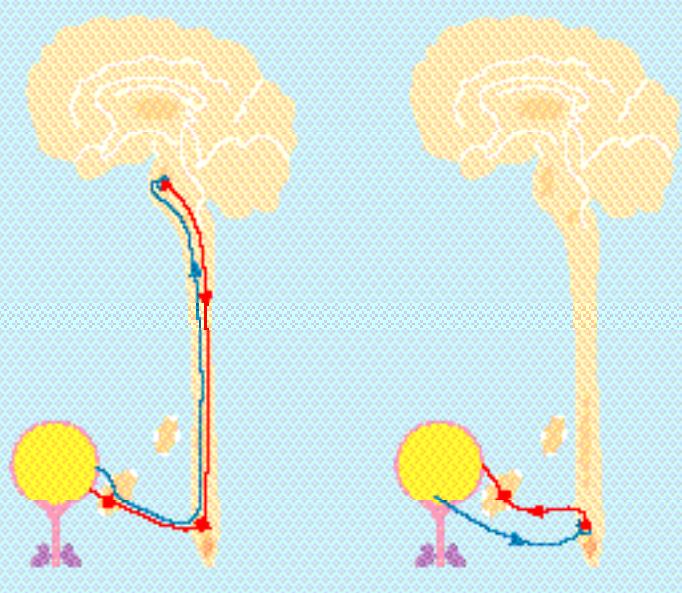


Figure 41 - Réflexes mictionnels :

A - réflexe supra-segmentaire à partir de la stimulation des récepteurs de tension du détrusor

B - réflexe segmentaire, à partir de la stimulation des récepteurs cutanéo-muqueux

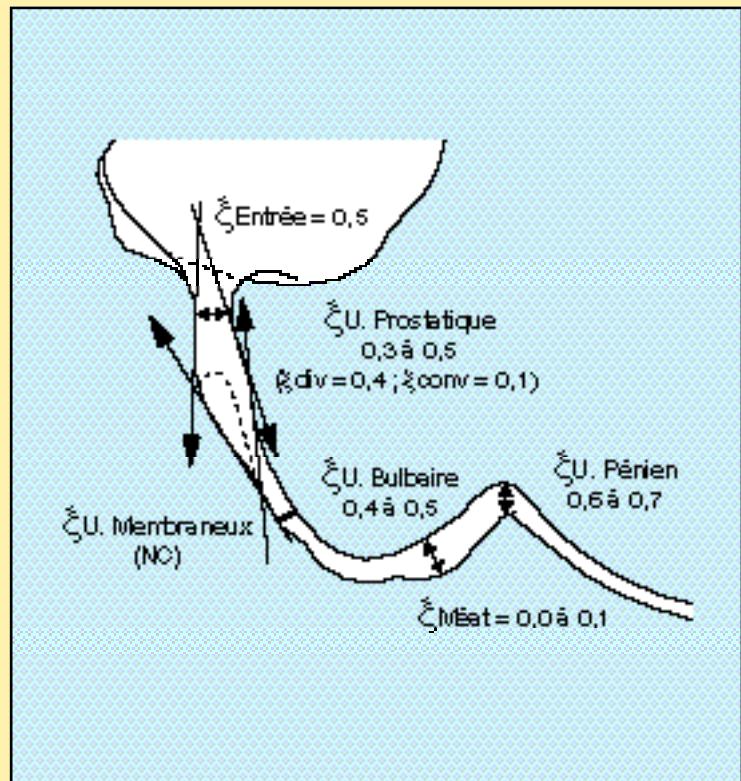
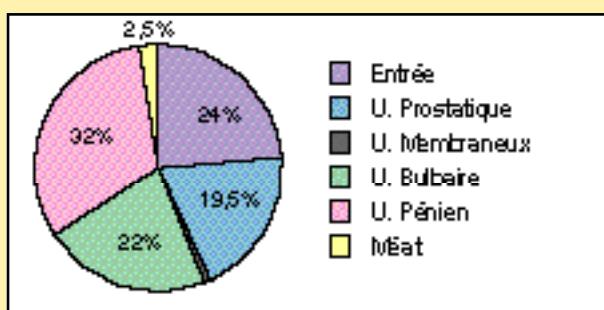
(d'après J.M. Buzelin, *Urodynamique Bas appareil urinaire*, Masson édit.)

La résistance urétrale représente l'ensemble des forces qui s'opposent à la miction. Elle est significativement abaissée du fait de la relaxation sphinctérienne réflexe, et peut être décomposée en 2 fractions :

- la résistance à l'ouverture du col et de l'urètre. Pour que le flux apparaisse, il faut en effet que la pression vésicale atteigne au moins la pression nécessaire pour ouvrir le col.

Lors de sa progression, il lui faut aussi décoller les parois afin que la lumière urétrale passe d'un calibre virtuel à un calibre fonctionnel. Il s'agit d'une pression statique car il n'y a pas encore de flux. Cette pression dépend des propriétés visco-élastiques de l'urètre et des tissus péri-urétraux qui exercent sur le canal une pression plus ou moins importante. En dehors de la miction celle-ci est maximum en regard du sphincter strié. La relaxation sphinctérienne qui

NOTE n° 11 : REPARTITION DES COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE LE LONG D'UN URETHRE NORMAL AU MOMENT DU DEBIT MAXIMUM.



Ce schéma a été dessiné à partir d'un cliché d'uréthrogramme mictionnelle pris au moment du débit maximum, à 25 ml/s. En postulant que nous sommes en flux stable, c'est à dire dans des conditions proches de l'équilibre atteint dans la figure 22 du chapitre 2, nous pouvons appliquer le théorème de Bernoulli et calculer les coefficients de perte de charge.

La détermination des coefficients de perte de charge (ξ) a été obtenue, après analyse morphologique, à partir d'une décomposition du conduit urétral en éléments hydrauliques simples pour lesquels ont été appliquées les formules mathématiques issues d'expériences hydrodynamiques réalisées sur des conduits de formes équivalentes.

D'une façon générale, le diamètre hydraulique a plus d'importance que la forme du conduit dans la détermination du coefficient de perte de charge. Il est possible que le colliculus seminalis contribue à diminuer l'effet de divergence du flux ce qui ferait passer le coefficient de perte de charge de l'urètre prostatique de 0,5, en mesurant les plus grands contours, à 0,3. Le coefficient de perte de charge de l'urètre membraneux n'a pas été calculé de façon indépendante (NC) ; il a été intégré dans le segment convergent sus-jacent et le segment divergent sous-jacent. Dans l'urètre antérieur, seules les pertes de charge régulières, par frottement, interviennent ; le coefficient augmente proportionnellement à la longueur du segment et est inversement proportionnel à son diamètre hydraulique. La somme des coefficients de perte de charge correspondant à ce cliché, a été évaluée entre 1,8 et 2,3. Dans l'hypothèse d'une pression vésicale entre 30 et 60 cm d'eau et d'un diamètre hydraulique au méat urétral entre 3 et 4 mm, le débit théorique instantané correspondant (calculé selon l'équation 12 du chapitre 2) serait entre 11 et 27 ml/s ce qui est proche du débit maximum observé chez ce patient.

À titre de comparaison, si un urètre de 16 à 18 cm de long avait un diamètre hydraulique parfaitement régulier de 4 à 5 mm, son coefficient total de perte de charge serait de 1,5 à 1,8.

(P. Glémaint et coll. - New Urodynamic Model to explain Micturition disorders in Benign Prostatic Hypertrophy Patients. Eur. Urol, 1993, 24, Suppl. 1)

(P. Glémaint et coll. - Incidence de la forme et du calibre dans la résistance urétrale. Évaluation pour un urètre masculin normal et en cas d'obstruction par hypertrophie prostatique. Progrès en Urologie, 1993, 3, 5)

précède ou accompagne la contraction détrusorienne annule pratiquement ce premier obstacle à la miction.

- la résistance aux flux lui-même relève des lois de la mécanique des fluides. Elle est responsable des pertes de charges qui, schématiquement, se décomposent en pertes de charge régulières et singulières, naturellement plus importantes chez l'homme que chez la femme :

- *les pertes régulières* sont liées au frottement sur les parois de l'urine progressant à vitesse constante. Le coefficient de perte de charge par frottement, correspondant à un segment d'urètre de calibre régulier, est proportionnel à un coefficient λ (qui dépend du type d'écoulement et de la rugosité), à la longueur de ce segment, et inversement proportionnel à son diamètre (chapitre 2, équation 19). Les rugosités pariétales interviennent de façon négligeable lorsque l'écoulement est transitoire ou faiblement turbulent (nombre de Reynolds entre 2 000 et 4 000). En revanche, dans les segments rétrécis ou d'une façon générale lorsque l'écoulement devient franchement turbulent avec un nombre de Reynolds plus élevé, de l'ordre de 5 000 à 10 000, les mêmes aspérités pariétales peuvent, par rapport à un écoulement laminaire, être responsables d'une multiplication par deux du coefficient λ et donc du coefficient de perte de charge par frottement (figure 26).

- *les pertes singulières* sont liées aux modifications de forme du conduit. C'est le cas en particulier :

- *du passage de la vessie à l'urètre prostatique* qui s'accompagne toujours d'un coefficient de pertes de charges appelé "coefficient d'entrée" ;

- *des variations du calibre*, retrouvées tout particulièrement dans l'urètre postérieur et l'urètre bulbaire, qui entraînent une modification de la vitesse locale, dans le sens d'une accélération avec diminution de pression du fluide pour un système convergent et d'une décélération avec augmentation de pression pour un système divergent ;

- *des changements de direction* comme dans l'urètre bulbaire, qui n'entraînent pas de pertes de charges supplémentaires si elles ne s'associent pas à une modification de calibre.

Le long d'un urètre normal, la distribution des coefficients de perte de charge est presque également répartie et il est probable que le flux se comporte comme s'il passait dans un conduit souple de calibre presque régulier. Les pertes de

charge par frottement y sont de loin les plus importantes (Note 11). Le méat et la fossette naviculaire qui le précède ont des coefficients de pertes de charges singulières négligeables si les modifications de calibre restent progressives. Le méat à cependant un rôle très particulier au plan hydraulique :

- il forme le jet et lui donne de la vitesse ;
- c'est le facteur limitant du débit, dans la mesure où son diamètre hydraulique serait, en conditions normales, le plus faible de l'urètre ;
- il assure la stabilité du flux. Puisque le méat représente la portion la moins souple et la plus rétrécie du conduit pendant la miction, il provoque une mise en pression intra-urétrale en amont. Si ce n'était pas le cas, la miction se déroulerait un peu comme la vidange d'un ballon de baudruche, avec des fluctuations importantes faites d'accélérations et de ralentissements du flux.

3 - La coordination vésico-sphinctérienne.

Il existe une inhibition réciproque des systèmes parasympathique d'une part, sympathique et somatique d'autre part, de sorte que le détrusor est relâché quand les sphincters sont contractés et inversement. Cette coordination est organisée dans deux boucles réflexes :

- un circuit court, incluant les centres médullaires et les plexus ganglionnaires périphériques, pour la coordination entre le sympathique et le parasymphatique,
- un circuit long, incluant les centres du tronc cérébral pour la coordination entre les systèmes parasympathique et somatique.

II - LA COMMANDE VOLONTAIRE DE LA FONCTION VESICO-SPHINCTERIENNE

Le contrôle volontaire de la miction n'est pas le privilège exclusif de l'être humain. Le confort que lui procure la possibilité d'uriner quand il le veut, les exigences de la vie en société sont, pour lui, des raisons évidentes de l'acquérir ; mais l'animal sauvage, nullement assujetti à ces contraintes, est aussi capable d'utiliser sa miction à des fins "sociales". Domestiqué, il acquiert la propreté plus rapidement que le nouveau-né humain. Ce contrôle volontaire suppose la possibilité de reconnaître une information sur l'état de réplétion de la vessie. Ce signal c'est le "besoin d'uriner" sans lequel il n'y a pas de continence possible. Note 12)

Le contrôle volontaire se limite à la possibilité d'autoriser ou de refuser globalement la miction, dont l'exécution est organisée dans les circuits réflexes⁽⁹⁾. On a longtemps admis le principe d'une totale indépendance anatomique et fonctionnelle entre les systèmes végétatifs et somatiques. Dans cette conception, il était clair que la musculature striée (la seule que l'on croyait soumise au contrôle volontaire), jouait un rôle déterminant dans les processus d'inhibition et de facilitation volontaires. Des théories, ingénieuses mais contradictoires, expliquent comment la contraction ou le relâchement du plancher périnéal, éventuellement associés à la poussée abdominale, pouvait amorcer l'ouverture du col et stimuler une zone gâchette du trigone d'où partait la contraction détrusorienne. Ce pendant, la paralysie des muscles striés n'empêche pas la miction par raison, et ne fait que retarder l'interruption volontaire du jet. Le contrôle direct de la contraction détrusorienne empêche les connexions qui relient les centres frontaux aux centres protubérants. Deux centres mictionnels ont été identifiés dans le cortex moteur, correspondant à des niveaux hiérarchiquement différents dans l'élaboration des processus mentaux.

- **le système limbique** regroupe toutes les structures sous corticales enroulées autour du diencéphale. Cette zone, joue un rôle important dans les comportements instinctifs et émotionnels qui, chez l'animal et chez l'homme, peuvent être associés à la miction (Note 13).

- **le néo-cortex** intervient dans la faculté d'autoriser ou de refuser globalement le déclenchement de la miction dite

"par raison", permettant par exemple, d'uriner alors que la vessie n'est pas encore pleine. Les connexions du lobe frontal avec les aires sensitives et sensorielles représentent sans doute le substratum anatomique des phénomènes de facilitation mictionnelle (vue ou audition de l'eau, exposition au froid...). Cette faculté d'inhibition et de facilitation volontaires est considérable ; elle apporte le confort en introduisant, en contrepartie, le risque d'une pathologie psychogène qui peut s'exprimer sous les modes d'une pollakiurie ou d'une rétention.

NOTE n° 12 : LE BESOIN D'URINER : UNE SENSATION TRÈS "CORTICALISÉE"

Le point de départ du besoin d'uriner est une stimulation des récepteurs de tension du détrusor. L'information projetée vers le cortex n'est qu'une forme particulière de sensibilité ; elle doit être reconnue, interprétée, intégrée à d'autres formations pour devenir un besoin d'uriner, c'est à dire une sensation comparable à la faim ou à la soif. Cette différence apparaît clairement chez les personnes inhibées lors d'un enregistrement cystomanométrique : la distension vésicale est interprétée comme une douleur, plutôt que comme un besoin.

La transformation d'une information brute en une impression subtile est un processus mental qui fait intervenir l'ensemble de la corticalité. Penfield rapporte cette supercherie qui consiste à remplir la vessie jusqu'à l'apparition d'un besoin puis à recommencer, mais en bloquant au zéro l'indicateur du volume visible du patient : le besoin n'apparaît plus pour des volumes importants ; il suffit d'ajouter quelques millilitres en donnant l'illusion d'un remplissage massif pour que le besoin soit immédiatement perçu. Il n'y a là rien de surprenant : s'étonne-t-on d'avoir faim, non seulement quand l'estomac est vide, mais par simple gourmandise, à l'odeur ou à la vue d'un plat appétissant ?

NOTE n° 13 : LE SYSTÈME LIMBIQUE ET LE COMPORTEMENT MITIONNEL

Situé sous le néo-cortex, à la face interne des hémisphères cérébraux, enroulé autour des centres végétatifs du diencéphale, le système limbique a été initialement rattaché au système olfactif (rhinencéphale). On lui a reconnu plus tard un rôle important dans les mécanismes de l'émotion et de la mémoire inconsciente. Une odeur fait d'ailleurs souvent resurgir à la conscience un événement vécu et oublié.

Un centre mictionnel y a été identifié. Il intervient dans les phénomènes d'urination accompagnant les paroxysmes émotionnels, aussi bien chez l'animal que chez l'homme. Le chien, apeuré, peut uriner ou déféquer ; il marque souvent sa soumission ou sa déférence en perdant un peu d'urine. Le chat, ému ou excité peut vider sa vessie et être rassuré par l'odeur de sa propre urine. Dans l'espèce humaine, les paroxysmes émotionnels comme le trac, la frayeur, la colère, le fou rire, peuvent entraîner une perte soudaine et massive des urines. Le système limbique intervient également dans le rituel qui accompagne l'acte mictionnel ; chez le chat, la stimulation de l'aire septale le conduit à uriner selon le scénario habituel : il creuse son trou, s'accroupit puis fait ses besoins ; la stimulation des zones sous-jacentes inverse les séquences : il urine, s'accroupit puis finit par creuser son trou.

(9) Heureusement qu'il en est ainsi. Nos automatismes économisent notre attention. Prendre la décision de marcher ne comporte pas l'obligation de penser à mettre un pied devant l'autre en balançant les bras. Prendre la décision d'uriner n'implique pas d'être conscient des mécanismes réflexes qui coordonnent la contraction vésicale et le relâchement sphinctérien.

III - ONTOGENESE DE LA FONCTION VESICO-SPHINCTERIENNE

Cette corticalisation n'est acquise qu'au terme d'une évolution qui commence au stade foetal et se termine avec la première enfance (figure 42).

1 - La vessie du foetus commence à fonctionner au 6e mois de la vie intra-utérine. L'activité contractile du détrusor est de type rythmique, comme celle que l'on enregistre souvent dans les neuro-vessies congénitales et qui peut disparaître sous alpha-bloquants. Ce fait suggère une médiation par la Noradrénaline secrète par les neurones courts inclus dans la paroi même de la vessie ou dans les ganglions juxta-vésicaux. Cette hypothèse est supportée par les constatations faites chez l'adulte (l'animal et l'homme) après résection des nerfs parasympathiques : la vessie dite "autonome" est animée de contractions rythmiques tandis que les terminaisons adrénnergiques prolifèrent. En somme la vessie adulte, décentralisée, retourne au stade foetal.

Il existe déjà une coordination vésico-sphinctérienne réflexe dont la perturbation expliquerait les trabéculations observées dans certaines vessies de nouveaux-nés atteints d'un spina-bifida. Cette coordination est vraisemblablement organisée dans les plexus ganglionnaires périphériques qui se comporteraient alors, non comme des relais sur le trajet de neurones moteurs, mais comme de véritables "centres médullaires réflexes".

2 - La vessie du nouveau-né à terme peut stocker et expulser périodiquement environ 40 ml d'urine à la faveur d'une contraction phasique.

Le réflexe mictionnel est alors organisé dans la moelle sacrée. Les stimuli susceptibles de déclencher un réflexe mictionnel ne se limitent pas à la proprioception. Chez le mammifère dont le chat, la miction et la défécation surviennent lorsque la mère lèche la région périnéale. Le nouveau-né humain n'est pas insensible à ces stimuli : l'attouchement périnéal, le changement des langes, la percussion des régions sacrées ou pubiennes...sont souvent suivis d'un jet vigoureux. L'hyperréflexivité est donc une caractéristique de la vessie du nouveau-né ; elle peut persister chez l'enfant ou chez l'adulte, caractérisant les états d'immaturité ou d'instabilité vésicales. Elle peut réapparaître chez l'homme spinal, qui utilise ces réflexes archaïques pour déclencher sa miction.

Les voies de conduction motrices puis sensitives subissent une myélinisation qui est complète entre le 9ème et le 24e mois. Ce processus permet l'entrée en fonction des centres supra-médullaires. Vers l'âge de 4 ans, le réflexe mictionnel est intégré dans le tronc cérébral ; il ne prend plus en compte que la proprioception c'est à dire notamment la stimulation des récepteurs de tension du détrusor. L'automatisme vésico-sphinctérien est alors définitivement achevé ; il faut maintenant apprendre à le contrôler.

3 - L'apprentissage de la propreté oblige l'enfant à trouver, avec les moyens physiologiques dont il dispose, une solution pour satisfaire au désir de ses parents de le voir propre.

La perception d'un besoin d'uriner, est la première étape de cet apprentissage. L'éducation doit faire prendre conscience à l'enfant que l'impression qu'il perçoit a quelque chose à voir avec la satisfaction qu'il procure à ses parents en remplissant le pot sur lequel on l'a assis.

L'acquisition du contrôle du sphincter strié, précède celle du détrusor. Sa contraction énergique peut rester pendant plusieurs années la seule parade aux fuites humiliantes résultant de contractions vésicales encore imparfaitement inhibées. Cette situation est celle de l'immaturité vésicale avec sa symptomatologie fonctionnelle dominée par l'impériosité, et les conséquences possibles (trabéculations, infections urinaires, reflux intermittent) d'une vessie qui lutte chaque fois que l'enfant se retient. Pendant cette phase, la capacité vésicale s'accroît de deux façons : la distension mécanique du muscle lisse et l'inhibition de sa contraction par le développement d'un réflexe périnéo-détrusorien.

L'acquisition du contrôle de la musculature lisse, est une performance plus originale qui permet à l'enfant de commander ou de refuser sa miction. A ce stade le contrôle neurologique de la fonction vésico-sphinctérienne est définitivement achevé, de type adulte.

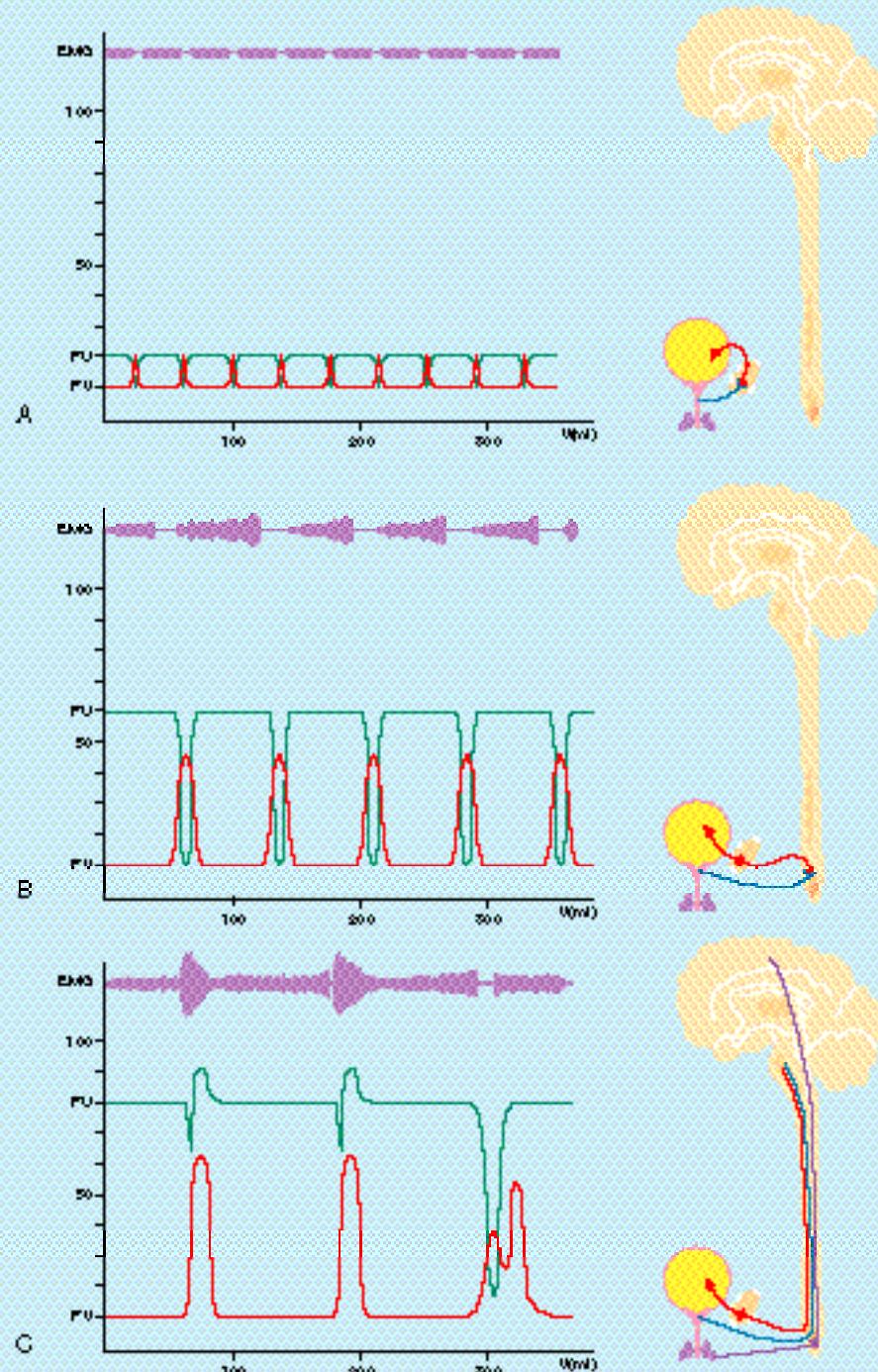


Figure 42 - Ontogénèse de la fonction vésico-sphinctérienne :

A - La vessie fœtale : une activité rythmique, probablement intégrée dans les plexus ganglionnaires périphériques.

B - La vessie du nouveau-né : des contractions vésicales phasiques, régulières, générées par des réflexes segmentaires coordonnés, avec une relaxation sphinctérienne.

C - La vessie infantile : les contractions vésicales, générées par un réflexe supra-segmentaire, sont encore imparfaitement inhibées. La contraction volontaire du sphincter strié permet à l'enfant l'apprentissage de la propreté.