

Systeme endocrinien

Epithéliums endocrines

- Organes ou ensembles cellulaires élaborant des **hormones** qui agissent sur **cellules cibles** après fixation sur un **récepteur**

Caractéristiques des épithéliums endocrines

- Formé par un **épithélium glandulaire** qui repose sur un **tissu conjonctif** très **vascularisé**
- Synthèse d'hormones libérées directement dans la circulation sanguine
- Action des hormones sur **cellules** ou **organes cibles**
- Notion de **régulation** de la synthèse des hormones

Organisation des épithéliums endocrines

- **Glandes** endocrines (thyroïde, hypophyse...)
- **Amas de cellules** endocrines (cellules de Leydig, îlots de Langerhans)
- **Système endocrine diffus** (système APUD) (ex : cellules neuroendocrine du tube digestif, corps neuro-épithéliaux de l'arbre bronchique)

Médiateurs : Hormones

- Composés **hydrophiles**
 - Protéines, peptides ou amines biogènes
 - Récepteur membranaire
- Composés **hydrophobes**
 - Stéroïdes
 - Diffusent à travers la membrane plasmique
 - Liaison avec récepteur intracytoplasmique
 - Activation du récepteur par ligand

Action de la majorité des cellules endocrines sous la dépendance du système hypothalamo-hypophysaire

1^{ère} glande endocrine : Hypophyse (glande pituitaire)

Située dans la selle turcique, elle est formée de deux parties : l'adénohypophyse ou antéhypophyse d'origine ectoblastique et la neurohypophyse ou posthypophyse, d'origine neur ectoblastique.

Antéhypophyse :

Glandes endocrine de type trabéculaire avec cellules endocrines en cordons entourés d'un riche réseau capillaire

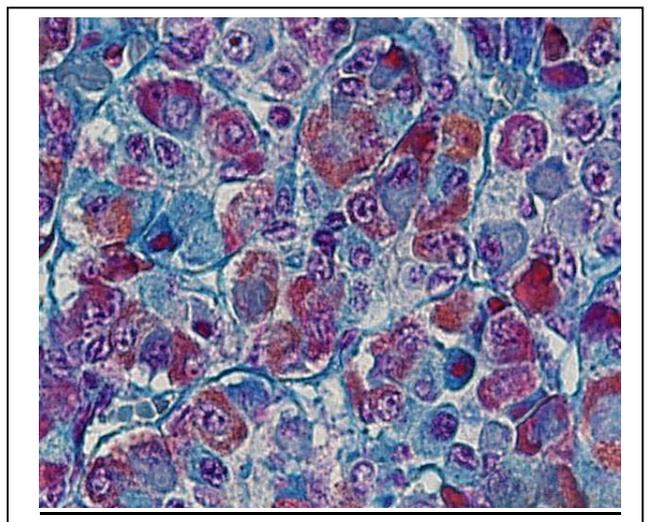
Nombreuses hormones dont la synthèse dépend de facteurs synthétisés par l'hypothalamus.

Plusieurs types de cellules

Vascularisation par un système porte : réseau capillaire primaire qui traverse l'éminence médiane d'où partent des anses capillaires qui sont collectés dans les vaisseaux portes. Le réseau capillaire secondaire issu des vaisseaux portes draine l'adénohypophyse : les facteurs élaborés par l'hypothalamus sont amenés par le réseau porte au niveau des cellules de l'antéhypophyse

Cellules glandulaires :

- C à GH ou STH (hormone somatotrope) -> croissance osseuse : les cellules somatotropes sont volumineuses, assez nombreuses, réparties en groupes le long des capillaires sinusoides dans les régions latérales et postérieures de l'adénohypophyse.
- Les cellules somatotropes sécrètent l'hormone de croissance, responsable de la stimulation du cartilage de conjugaison
- Si excès de sécrétion, gigantisme chez l'enfant ou acromégalie chez l'adulte



- **C à prolactine** -> sécrétion lactée.
 - *Ces cellules sont nombreuses au cours de la gestation et en période d'allaitement*
- **FSH et LH** (hormones gonadotropes)-> testicule et ovaires
 - *Les cellules gonadotropes sont dispersées dans tout le lobe antérieur ; 80 % des cellules contiennent simultanément FSH et LH*
- **TSH** (hormone thyroïdienne) -> thyroïde
 - *Les cellules thyroïdiennes sont les moins nombreuses et sont dispersées dans tout le lobe*
- **ACTH** (hormone corticotrope) -> surrénales
 - *Les cellules corticotropes sont les plus volumineuses, sont réparties dans tout le lobe mais sont prédominantes dans la région médiane*

Cellules folliculo-stellaires

- Prolongements entre les cellules glandulaires
- REG et appareil de Golgi bien développés
- Lysosomes
- Fonction mal connue

Multipl**es cellules cibles** ayant elles-mêmes une fonction endocrine

- Thyroïde -> sécrétion des hormones thyroïdiennes
- Surrénale -> sécrétion des hormones surrénaliennes
- Ovaire -> maturation des follicules ovariens
- Testicule-> spermiogénèse
- ...

Post hypophyse ou neurohypophyse

Contient l'éminence médiane, l'infundibulum et le lobe postérieur de l'hypophyse.

Le lobe postérieur contient des milliers d'axones non myélinisés dont les corps cellulaires sont dans les noyaux supra-optique para-ventriculaire. Ces neurones sont de grandes cellules qui élaborent des granulations (**corps de Herring**) stockées dans des dilatations situées le long des axones. Ces granulations contiennent deux hormones : l'ocytocine et la vasopressine (ou ADH : hormone anti-diurétique).

L'ocytocine a une action sur l'utérus gravide et stimule la contraction du myomètre utérin.

Les cibles de la **vasopressine** sont les tubes collecteurs du rein où elle provoque une augmentation de la réabsorption de l'eau

La thyroïde

1. Description morphologique

- **Anatomie** : 2 lobes réunis par un isthme
située dans la partie antérieure du cou en avant du cartilage thyroïde
- **Histologie** : vésicules avec
 - cellules **folliculaires** ou thyrocytes -> hormones thyroïdiennes
 - cellules **C** -> calcitonine
 - tissu conjonctivo vasculaire
- **Embryologie** :
 - **Thyrocytes** dérivent du plancher de l'intestin pharyngien
 - **Cellules C** proviennent des crêtes neurales
 - **Tissu conjonctif** provient du mésoblaste

2. Développement embryologique

1. Le corps thyroïde apparaît à la **troisième semaine** de développement : prolifération épithéliale du **plancher de l'intestin pharyngien** (foramen caecum)
2. L'ébauche thyroïdienne s'enfonce dans le mésoblaste sous jacent en avant de l'intestin pharyngien -> diverticule bilobé
3. Au cours de la migration, persistance d'un canal : **canal thyroéglasse** qui disparaît secondairement
4. Migration en avant de l'os hyoïde et des cartilage du larynx
5. 7^{ème} semaine : glande thyroïde en place
6. Fin du 3^{ème} mois : début d'activité (1ers follicules remplis de colloïde)

Anomalies de développement

- Quasi physiologiques
 - **Foramen caecum** : dépression au niveau de la base de langue
 - **Lobe pyramidal** : extrémité distale du tractus thyroéglasse
- **Kystes du tractus thyroéglasse** en tous points du trajet de migration de l'ébauche thyroïdienne-> apparaissent sur la ligne médiane du cou.
- **Thyroïdes ectopiques** : îlots thyroïdiens sur même trajet-> le plus souvent au niveau de la base de la langue.

3. Histologie

- Glande **endocrine** de type vésiculaire ou folliculaire
- **Microscopie optique**
 - Thyroïde entourée d'une **capsule conjonctive**
 - Avec travées conjonctivo vasculaires -> **lobules**

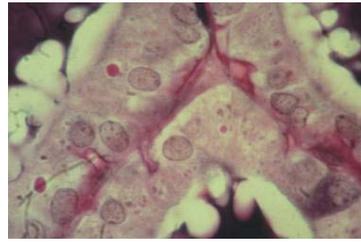
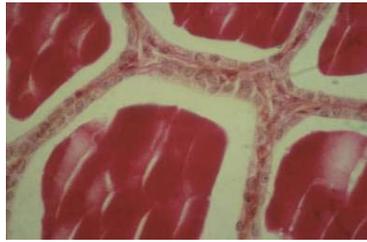
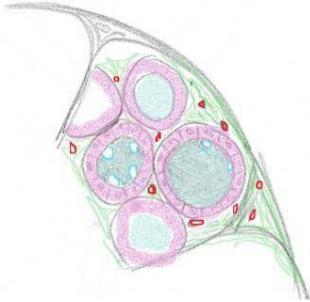
- Dans les lobules, des **vésicules** avec paroi formée d'une seule couche de cellules remplies de colloïde séparées les unes des autres par tissu conjonctif fin, riche en fibres de réticuline et très vascularisé

Epithélium des vésicules de taille variable :

Pavimenteux (cellules au repos)

Cylindrique (cellules en activité)

Cellules reposent sur membrane basale



Microscopie électronique

Thyréocytes :

Cellules possédant les organites des cellules qui synthétisent des protéines :

REG au pôle basal

Golgi supra nucléaire, grains de sécrétion

Nombreux lysosomes au pôle apical

Microvillosités au niveau membrane apicale

Système de jonction au pôle apical

Cellules C

Au pôle basal des thyrocytes ou en amas entre les vésicules

Sont plus volumineuses que les thyrocytes et moins colorables

Nombreux grains de sécrétion denses contenant la **calcitonine** (hormone polypeptidique)

REG peu développé, mitochondries abondantes et golgi volumineux

4. Cytophysiologie

Fonction des thyrocytes

- Secrétion de
 - Tri-iodothyronine (T3) et Tétrai-iodothyronine (thyroxine ou T4)

sous la dépendance d'une hormone hypophysaire : TSH

elle même sous la dépendance d'une hormone hypothalamique : TRH

La synthèse de TRH est stimulée par une faible taux de T3 et de T4

a) *Synthèse et stockage des hormones par les cellules vésiculaires*

Quatre étapes :

1. **Synthèse de thyroglobuline** ⇔ synthèse protéique habituelle dans REG à partir de tyrosine puis glycosylation dans le Golgi ; excrétion dans la lumière vésiculaire
2. **Captation d'iode minéral** (iodures) à partir du sang par pompe à iodures
Stimulation par TSH
3. **Transformation** de l'iode minéral en iode organique grâce à une peroxydase élaborée par les cellules thyroïdiennes
4. **Iodification des molécules de thyroglobuline** dans la colloïde ou au niveau du pôle apical par une action enzymatique → formation de mono-iodo-tyrosine (MIT), di-iodo-tyrosine (DIT), tri-iodothyronine (T3) et tétra-iodo-thyronine (T4) (thyroglobuline iodée)

b) *Libération de T3 et T4*

Plusieurs étapes :

- **Endocytose de fragments de colloïde contenant** la thyroglobuline iodée
- Fusion avec lysosomes des thyrocytes
- Formation de phagolysosomes où se produit une hydrolyse acide
- Dissociation de T3 et T4 et de la molécule de thyroglobuline au niveau de la cellule puis libération de T3 et de T4 dans les capillaires
- Les iodotyrosines sont séparées des molécules d'iode par une enzyme et réutilisées

c) *Rôles de T3 et T4*

- Anabolisant
- Augmente le métabolisme de base
- Rôle pendant la vie foetale ++ (croissance corporelle et développement du système nerveux)
- Régulation

- T3 et T4 stimulées par l'hormone **hypophysaire**
 - La TSH est apportée par le sang ; elle se fixe sur les récepteurs des membranes latérobasales des thyrocytes qui répondent en captant une plus grande quantité d'iode et en provoquant une augmentation de synthèse et une libération accrue d'hormones thyroïdiennes
 - TSH -> Augmente toutes les fonctions du thyrocyte :
 - Augmentation de synthèse de thyroglobuline et de sa dégradation afin d'augmenter la libération de T3 et T4
 - Augmentation de T3 et T4 dans le sang -> diminution de TRH et TSH
- T3 et T4 régulent la synthèse de l'hormone **hypothalamique**
 - TRH -> diminue la synthèse de TSH

Fonction des cellules C

Calcitonine excrétée au pôle basal des cellules dans les capillaires

Rôle de la **calcitonine**

- Hypocalcémiant car :
- Empêche la réabsorption de calcium : empêche la résorption osseuse par les ostéoclastes
- Augmente la minéralisation de la bordure ostéoïde

Hormone antagoniste de la **parathormone** synthétisée par les parathyroïdes qui est hypercalcémiant

• Régulation

- **Indépendante** de l'hypophyse
- taux de Ca⁺⁺ directement sur la membrane plasmique des cellules C

Les parathyroïdes

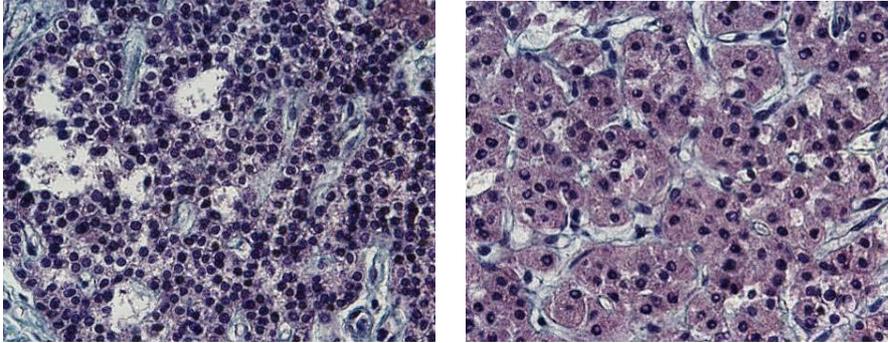
Quatre glandes **parathyroïdes** situées à la face postérieure de la thyroïde. Ce sont des glandes endocrines qui élaborent l'hormone parathyroïdienne ou parathormone, hypercalcémiant.

Glande **cordonnale** entourée d'une capsule conjonctive.

Des cordons anastomosés entre eux séparés par un tissu conjonctif vascularisé et riche en fibres de réticuline.

Deux types de cellules :

- **cellules principales** : de petite taille, peu colorées, sont les plus nombreuses. Contiennent des grains de sécrétion qui sont la parathormone
- **Cellules oxyphiles** : les plus volumineuses, fortement colorées, les moins nombreuses. Ne possèdent aucun grain de sécrétion.



Action : hypercalcémiant par mobilisation du calcium à partir de la substance osseuse (activation des ostéoclastes), diminution de l'élimination rénale, stimulation de l'absorption intestinale.

La glande surrénale

1. Morphologie

- Situées au pôle supérieur des reins ;
5cm x 2cm

- Glande endocrine **cordonnale**

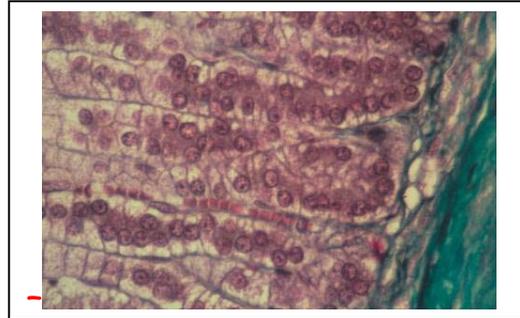
Deux systèmes endocriniens distincts qui diffèrent par localisation, structure, fonction et origine embryologique

- **Cortico-surrénale**

- Origine mésoblastique
- Zone périphérique de la glande
- Hormones stéroïdes

- **Médullo-surrénale**

- Origine neurectoblastique
- Zone centrale de la glande
- Amines biogènes
 - Adrénaline Catécholamines
 - Noradrénaline



2. Développement embryologique

- a) Cortex
 - **Epithélium coelomique intraembryonnaire**
 - (comme testicules et ovaires)
 - Début 2e mois (J30 - 7-8 mm)
 - Cordons cellulaires naissent à partir épithélium
 - Invagination dans mésoblaste
 - -> larges cellules acidophiles
 - =cortex surrénalien fœtal
 - Régression sauf partie externe
 - » Zone réticulée
 - Fin du 3e mois
 - Deuxième vague de cellules
 - Petite cellules basophiles
 - » Zones glomérulée et fasciculée
- b) Médulla
 - Cellules des **crêtes neurales**
 - Fin 6e sem (11-12 mm)
 - **Migration** des C neurectoblastiques au contact de l'ébauche corticale

- **Intrication** dans 1er temps
- Regroupement en une **masse centrale**
- Transformation en **cellules glandulaires** des cellules en contact avec cellules corticales

3. Histologie

a) Cortico-surrénale

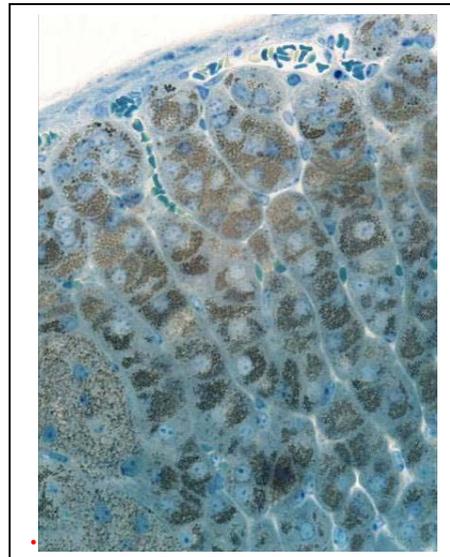
- **Capsule conjonctive** dense avec fines fibres de collagène et nombreux réseaux vasculaires
- **Travées de cellules** cubiques

- Possèdent caractéristiques des cellules à stéroïdes

- Mitochondries à crêtes tubulaires
- REL
- Goutelettes lipidiques

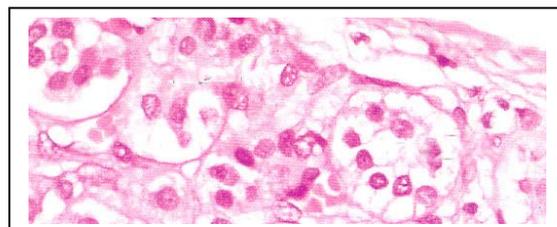
- Trois zones

- **Glomérulée (15%) ou zone arciforme**
 - Arcades sous la capsule conjonctive
 - -> minéralocorticoïdes (**aldostérone**) séparées les unes des autres par travées épaisses
- **Fasciculée (75%)**
 - Faisceaux formés de spongiocytes
 - -> Glucocorticoïdes (**cortisol**)
- **Réticulée (10%)**
 - Travées en réseaux
 - -> **glucocorticoïdes et androgènes**



Fort grossissement

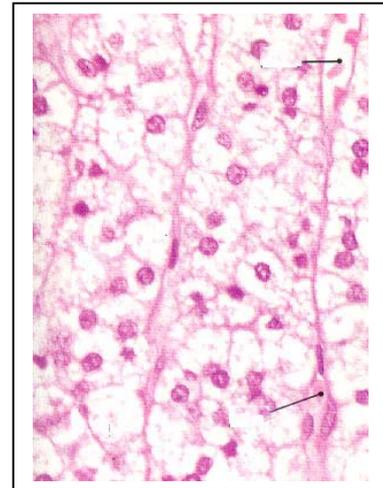
- **Zone glomérulée**
- Fine zone sous capsulaire
- Petites cellules compactes en amas cylindriques à cytoplasme basophile avec noyau à hétérochromatine abondante
- Tissu de soutien avec capillaires



- Quelques gouttelettes lipidiques et des enzymes ainsi qu'un réseau de REG bien visible. Présence de quelques jonctions communicantes entre les cellules.

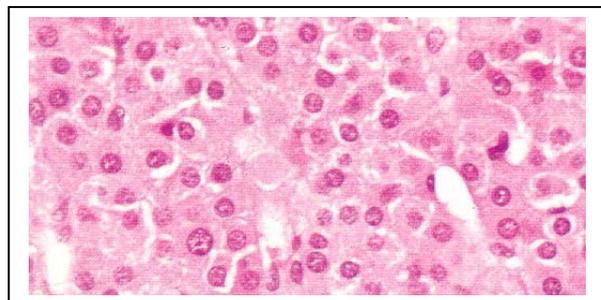
- **Zone fasciculée**

- Grandes cellules rectangulaires ou polyédriques
- Cytoplasme clair vacuolisé (gouttelettes lipidiques détruites par technique de préparation) = spongiocytes
- Disposées en colonnes verticales séparées par des capillaires, disposées de façon radiaire par rapport à la médulla
- Mitochondries à crêtes tubulaires - REL +++
- Noyau avec nucléole bien visible



- **Zone réticulée**

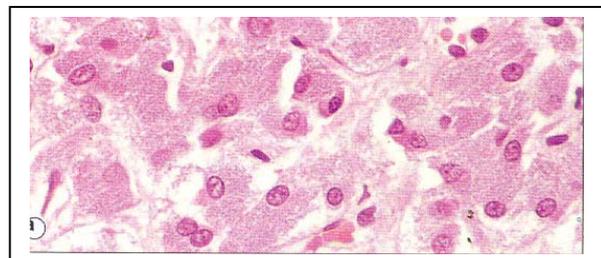
- Cellules au cytoplasme acidophile disposées en réseau anastomosé
- -> amas de cellules plus petites
- Entre les cellules : nombreux vaisseaux
- Présence de grains de lipofuschine, lysosomes et REL moins abondant



b) Médullo-surrénale

Partie centrale de la glande

- Cordons de **cellules polyédriques** en amas
 - Noyau volumineux pâle
 - Cytoplasme finement granulaire
 - De nombreuses mitochondries à crêtes lamellaires
 - Un appareil de Golgi important
 - Des granules neurosecrétoires
- ancienne dénomination : cellules chromaffines car oxydation des amines donne une coloration brune
- Riche réseau de **capillaires** fenêtrés entre les cordons
- Cellules ganglionnaires parasymphatiques



Deux types de cellules

- Cellules à Noradrénaline (5%) petits îlots
- Cellules à Adrénaline (95%)
 - Granules **neuro-sécrétoires**
 - Catécholamines
- Cellules à **adrénaline**
 - Granules petits sphériques
 - Matériel dense entouré d'un halo clair
- Cellules à **Noradrénaline**
 - Granules plus volumineux
 - Matériel dense irrégulier

5. Vascularisation

- **Artères** capsulaires -> riche vascularisation artérielle = plexus capsulaire
 - **Vascularisation de la surrénale de deux types :**
 - artérioles corticales partent du plexus sous capsulaire->
 - vaisseaux sinusoides (capillaires en pluie) entre les cordons de la fasciculée puis
 - plexus dans la réticulée
 - anastomose avec plexus médullaire (**réseau capillaire profond**)

Ces capillaires qui traversent la corticale amènent les glucocorticoïdes au contact des cellules de la médullaire

- artérioles médullaires : branches des artères capsulaires (artères perforantes) qui traversent directement la corticale jusqu'à la médullaire -> plexus médullaire
- **Grande veine** de la surrénale

6. Cytophysologie

a) corticosurrénale

- Trois groupes d'hormones stéroïdes régulés par ACTH
 - Glucocorticoïdes (**fasciculée et réticulée**) : Cortisol et Cortisone
 - Secrétion en réponse à ACTH
 - Minéralocorticoïdes (**glomérulée**) : Aldostérone
 - Secrétion stimulée par une chute de concentration de natrémie, par l'ACTH d'origine hypophysaire, par le facteur atrial natrémique (cellules musculaires cardiaque)
 - Androgènes (**fasciculée et réticulée**) : Androgènes
 - déhydroépiandrostérone = DHEA

- Origine biochimique commune : **cholestérol**
- Glucocorticoïdes (sous la dépendance de l'hypophyse : ACTH)
 - **Cholestérol**
 - **Ester de cholestérol** (goutelettes lipidiques)
 - **$\Delta 5$ prégnénone** (Mito)
 - **Progestérone** (oxydation - REL)
 - **17 hydroxyprogestérone** (hydroxylation)
 - **Cortisol** (hydroxylation REL)
- Minéralocorticoïdes
 - **Cholestérol**
 - **Ester de cholestérol** (goutelettes lipidiques)
 - **$\Delta 5$ prégnénone** (Mito)
 - **Progestérone** (oxydation - REL)
 - **11 β hydroxyprogestérone** (hydroxylation)
 - **Corticostérone** (hydroxylation dans mito)
 - **Aldostérone** (mito)

Rôles de ces hormones

- **Glomérulée**
 - Aldostérone
 - Réabsorption tubulaire rénale (tube contourné distal)
 - Stimule la réabsorption du sodium
- **Fasciculée**
 - Cortisol et cortisone
 - Métabolisme général (lipides glucides et protéines)
 - Anti-inflammatoire
- **Réticulée**
 - Androgènes : DHEA (déhydroépiandrostérone)
 - Anabolisant

Médullosurrénale

Synthèse et stockage des amines biogènes mais excrétion normale en très petite quantité sauf en cas de stress (hypertension, vasoconstriction, augmentation du rythme cardiaque)

- **Synthèse** stimulée par axones cholinergiques (synapses au niveau des cellules glandulaires)
- **Régulation** par cortisol (provient de la corticale)
 - activation de N méthyl transférase (-> méthylation de la noradrénaline en adrénaline)
- Tyrosine -> DOPA -> Dopamine -> Noradrénaline -> Adrénaline

7. Activité hormonale foetale

- Corticosurrénale
 - **Aldostérone** : 33e semaine
 - Régulation du volume amniotique
 - **Cortisol** : 12e semaine
 - Maturation épithélium digestif
 - Synthèse enzymes hépatiques
 - Production de surfactant
 - Développement organes génitaux externes
 - **Régulation**
 - Par ACTH
- Médullosurrénale
 - Sécrétion pratiquement inexistante pendant vie foetale

Le pancréas

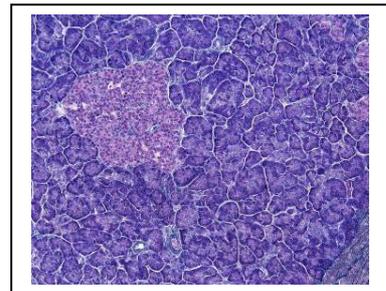
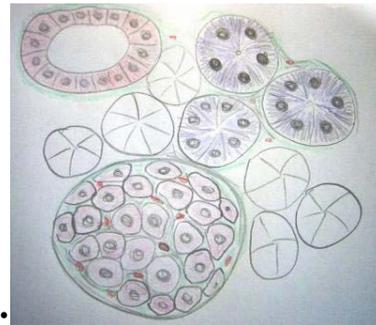
Morphologie

- Organe situé dans le cadre duodéal comprenant trois parties : tête, corps et la queue

Entouré d'une **capsule conjonctive** qui envoie des travées à l'intérieur du parenchyme -> lobules

Glande **amphicrine hétérotypique**

- Composée de deux structures distinctes :
 - a) pancréas **exocrine**
 - acinus et canaux excréteurs
 - synthèse des enzymes pancréatiques
 - b) îlots de Langerhans
 - pancréas **endocrine** : Glande **endocrine diffuse trabéculaire**
 - synthèse d'insuline
 - synthèse de glucagon
 - synthèse de somatostatine
 - pancréas endocrine : **1%** de l'organe
 - prédominant dans la queue du pancréas



Développement embryologique du pancréas

- Dérive de l'**entoblaste** de l'intestin antérieur
 - **diverticules** entoblastiques qui bourgeonnent sur le duodénum à J19 (stade de 3 mm)
 - bourgeon **dorsal** à J26 et bourgeon **ventral** J29
 - **migration** du bourgeon ventral dans la région dorsale (5e sem)
 - **fusion** des deux bourgeons (6e sem)
 - **anastomose** des conduits ventral et dorsal
 - **ébauche ventrale** -> tête
 - **ébauche dorsale** -> petite partie supérieure tête, corps et queue
 - **développement** des cellules exocrines (canaux) et endocrines (amas cellules autour des canaux) -> insuline

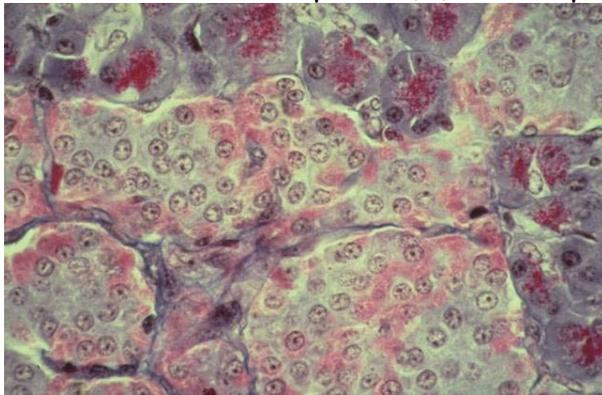
Histologie du Pancréas endocrine

- a) Caractéristiques des Îlots de Langerhans

- **Amas cellulaires** arrondis peu colorables en microscopie optique en coloration classique (trichrome)
 - 200 à 400 μm de diamètre
 - Plusieurs milliers de cellules par îlot
 - 1 million d'îlots environ mais seulement 1% du pancréas
- **Dispersés** à l'intérieur du pancréas
- **Mélés** aux constituants exocrines
- **Entourés** d'une fine capsule conjonctive constituée de fibres de réticuline (\pm important selon les espèces)
- Présence de **capillaires fenêtrés**
- Glande **trabéculée** : cordons irréguliers anastomosés les uns aux autres
- Richement vascularisés

b) Aspect en MO

- Cellules des îlots plus petites et plus claires / cellules acineuses
 - Forme **arrondie** ou polygonale
 - Chaque cellule **en contact** avec réseau capillaire
 - Plusieurs cellules de taille différente
 - Granulations diverses : acidophiles (A) ou basophiles (B)



c) Cellules du pancréas endocrine

- Quatre types mis en évidence par méthodes immunohistochimiques ou par coloration de Gomori
 - **Cellules β à insuline (70%)**
 - **Cellules alpha à glucagon (20%)**
Régulation de la glycémie
 - Cellules δ à somatostatine (5 à 10%)
 - Cellules PP (synthèse d'un polypeptide pancréatique (1 à 2%))

1. Cellules à insuline (cellules β ou cellules B)

- Réparties dans l'ensemble de l'îlot
- **Les plus abondantes (environ 70%)**
- REG bien développé
- Appareil de Golgi important
- Microtubules et microfilaments en périphérie ; interviennent dans excrétion de l'insuline
- Nombreuses enzymes de la dégradation du glucose, transaminases
- Ca^{++} intracellulaire en grande quantité
- Nombreuses **granulations**
 - Grains **bleus** (Gomori = méthode de coloration usuelle)
 - Grains à cœur dense petit et irrégulier (270 nm) entourés d'une membrane. Partie centrale comporte une inclusion cristalline (insuline liée à du **zinc**)
- **Insuline** : hormone protéique
 - Action : **hypoglycémiante** par entrée de glucose dans les cellules
 - Si insuline en quantité insuffisante ou si récepteur à insuline en nombre insuffisant -> diabète

2. Cellules à glucagon

- Essentiellement à la **périphérie** des îlots : 10 à 30% des cellules des îlots
- Mêmes organites que cellules à insuline mais moins d'enzymes
 - Grains de sécrétion
 - **Rouges** (Gomori)
 - Grains à cœur dense gros et régulier (230 nm) entourés par une membrane bien visible
 - **Action : hyperglycémiante**

3. Autres cellules

- Cellules à **somatostatine (cellules D ou δ)**
 - Grains non colorables (Gomori)
 - Grains à cœur pâle plus petits (130 nm)
 - Rôle : **antagoniste de l'hormone somatotrope** (hormone de croissance hypophysaire)
- **Cellules PP**
 - Grains identiques à ceux des cellules à glucagon plus petits (100 nm)

Vascularisation

- **Artérioles** proviennent des vaisseaux des cloisons interlobulaires donnent des branches à chaque îlot (vaisseau afférent) -> **capillaires** intra-insulaires (capillaires fenêtrés) directement au contact des cellules endocrines
 - Capillaires se jettent dans des **rameaux vasculaires** péri-insulaires qui s'étendent à distance des îlots (vaisseaux efférents)
 - Fusion avec capillaires du pancréas exocrine

Innervation

- Par le **système nerveux autonome**
- **Contact direct** pour 10% des cellules
- Transmission aux autres cellules par **gap junction**
- Stimulation **parasymphatique**
 - Augmentation sécrétion d'insuline et glucagon
- Stimulation **sympathique**
 - inhibition libération insuline

Cytophysiologie : cellule à insuline

- **Insuline** : hormone polypeptidique composée de deux chaînes d'AA reliées par des ponts disulfures
- Stimulation **neuro-végétative** par une augmentation du taux de glucose
- Synthèse dans le REG de **pro-insuline** (insuline + polypeptide de 35AA = peptide C) à partir d'AA extraits du sang (5 min)
- Conversion en **insuline** dans l'appareil de Golgi (30 min) (protéase)
- Libération du **peptide C**
- Excrétion de l'insuline dans le sang en 60 min
 - Fixation de l'insuline sur des récepteurs membranaires de nombreuses cellules de l'organisme
 - Augmentation de la glucose perméase au niveau de la membrane cellulaire
 - Passage du glucose dans le cytoplasme des cellules
 - Réduction du taux plasmiqque du glucose

Cytophysiologie : cellule à glucagon

- Activation des cellules à glucagon par état de jeûne
- Libération de glucagon dans le sang
 - Stimulation des hépatocytes
 - Mobilisation du glycogène hépatique -> glucose libéré dans la circulation sanguine