

PRODUIRE LE MOUVEMENT : CONTRACTION MUSCULAIRE ET APPORT D'ÉNERGIE



*Terminale
spécialité*

*3- Le contrôle des flux de glucose,
source essentielle d'énergie des
cellules musculaires*

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Introduction : | 3 |
| I- La glycémie, une constante physiologique | 3 |
| A- Variation de glycémie | 3 |
| B- Un système de régulation. | 5 |
| II- La régulation de la glycémie au niveau cellulaire | 5 |
| III- Le pancréas : organe clé de la régulation. | 7 |
| A- Anatomie du pancréas | 7 |
| B- Les hormones pancréatiques | 8 |
| 1) L'insuline | 8 |
| 2) Le Glucagon | 9 |
| IV- Le dérèglement de la régulation de la glycémie à l'origine des diabètes. | 11 |
| A- Le diabète de type 1 ou insulino-dépendant ou DID | 12 |
| 1) un mécanisme immunitaire | 12 |
| 2) Des facteurs génétiques | 12 |
| 3) Des facteurs environnementaux | 12 |
| B- Le diabète de type 2 ou Non Insulino Dépendant ou DNID | 12 |
| 1) Principe | 12 |
| 2) Facteurs génétiques | 13 |
| 3) Facteurs environnementaux | 13 |
| Conclusion | 13 |



Flux de glucose

Introduction :

La contraction musculaire est globalement conditionnée par l'apport de l'ATP en liaison principalement avec la respiration cellulaire et /ou la fermentation. Elle est donc intimement liée à l'apport de glucose. D'ailleurs la principale cause des crampes est un manque de glucose ne générant pas assez d'ATP pour détacher les têtes de myosine de l'actine. Le dioxygène et le glucose sont délivrés par le sang qui se charge aussi d'évacuer CO2 et H2O. Si les gaz respiratoires (O2, CO2 et H2O) sont échangés essentiellement au niveau des poumons, d'où vient alors le glucose ? D'ailleurs, si ce dernier est apporté par le sang, on pourrait alors s'attendre à voir notre glycémie diminuer drastiquement à chaque effort, mais ce n'est pas le cas non plus.

Photo de couverture : cellules de pancréas visualisées à l'aide de la microscopie immunofluorescente

Couleurs: rouge = anticorps anti-insuline, bleu = DAPI = noyaux, vert anticorps secondaire anti-souris non spécifique (taches principalement sur la matrice intercellulaire) Dimension: largeur réelle 326 µm Généré dans le laboratoire Solimena, Institut Paul Langerhans de Dresde

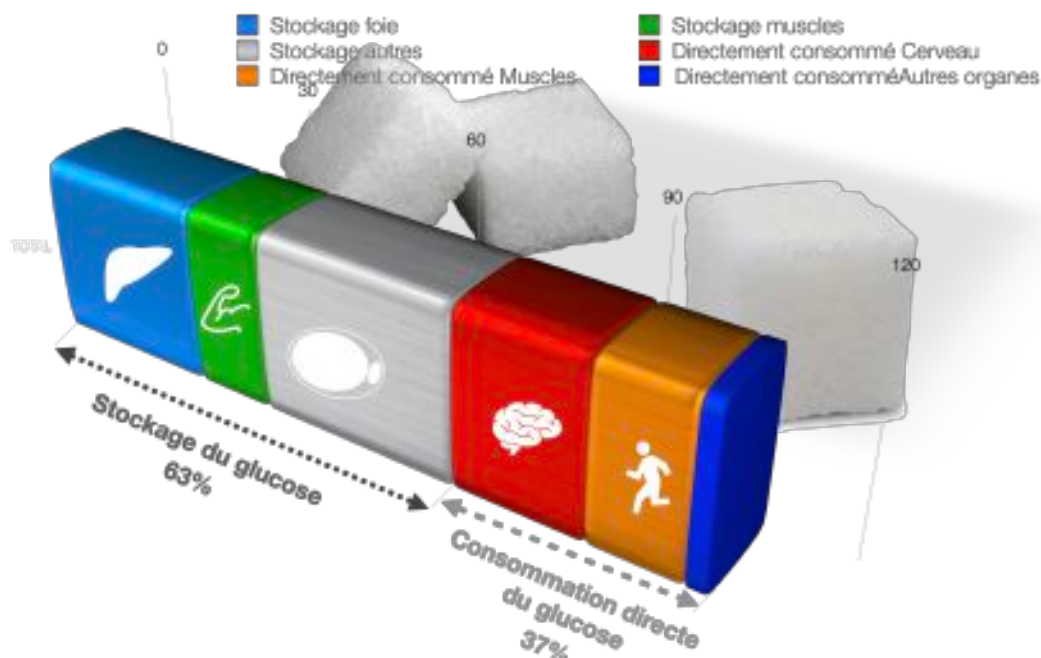
Problèmes : Comment l'organisme stocke le glucose ? Comment le glucose est régulé en fonction des besoins en énergie ? Que se passe-t-il en cas de flux de glucose perturbé ?

I- La glycémie, une constante physiologique

A- Variation de glycémie

Par rapport au glucose ingéré, on estime que 37 % sont directement consommés (dont 20 % par le cerveau et 14 % par les muscles) et 63 % sont stockés au niveau du foie (hépatocytes 28%) ou au niveau des muscles (myocytes 13%) ou au niveau des tissus adipeux (adipocytes 32%).

Doc. 1: Devenir du glucose ingéré



d'après JBoscq

Complément : Les principaux sucres présents dans les aliments



Parmi les glucides, on distingue les sucres (ou « glucides simples »), qui présentent souvent une saveur sucrée (glucose, fructose, galactose, maltose, lactose, saccharose), et les amidons (ou « glucides complexes »), indispensables par leur apport énergétique, digérés dans l'intestin et majoritairement absorbés sous forme de glucose

Flux de glucose



Les principaux sucres que l'on retrouve dans les aliments consommés au quotidien sont le glucose, le fructose, le saccharose et le lactose.

- ◆ Le **glucose** est présent dans la plupart des produits végétaux au goût sucré (fruits, miel, certains légumes) mais aussi à l'état libre dans les fluides biologiques (notamment le sang).
- ◆ Le **fructose** est très répandu dans la nature, dans les fruits en particulier et dans beaucoup de légumes. Il est présent dans l'inuline de racines ou les tubercules de certaines plantes (artichaut, oignon, chicorée, topinambour).
- ◆ Le **saccharose** (le « sucre de table » dans le langage courant) se compose d'une unité de glucose liée à une unité de fructose. Le saccharose est le sucre de référence pour définir le pouvoir sucrant des sucres, polyols et édulcorants intenses.
- ◆ Le **lactose** et le **galactose** sont des sucres naturellement présents dans les produits laitiers.

Les sucres sont également présents dans les aliments sous d'autres appellations, telles que le sucre inverti, les sirops de glucose et de fructose, les jus concentrés et les sirops de fruits, les moûts, le miel, etc.

d'après l'ANSES

Les **apports de glucose** sont limités aux **principaux repas** alors que les **besoins** de l'organisme fluctuent entre les **périodes d'activité intellectuelle et physique** en dehors des repas. L'organisme doit pourvoir aux besoins des organes **tout en maintenant une glycémie entre 0,8 et 1,2 g.L⁻¹**.

Définition

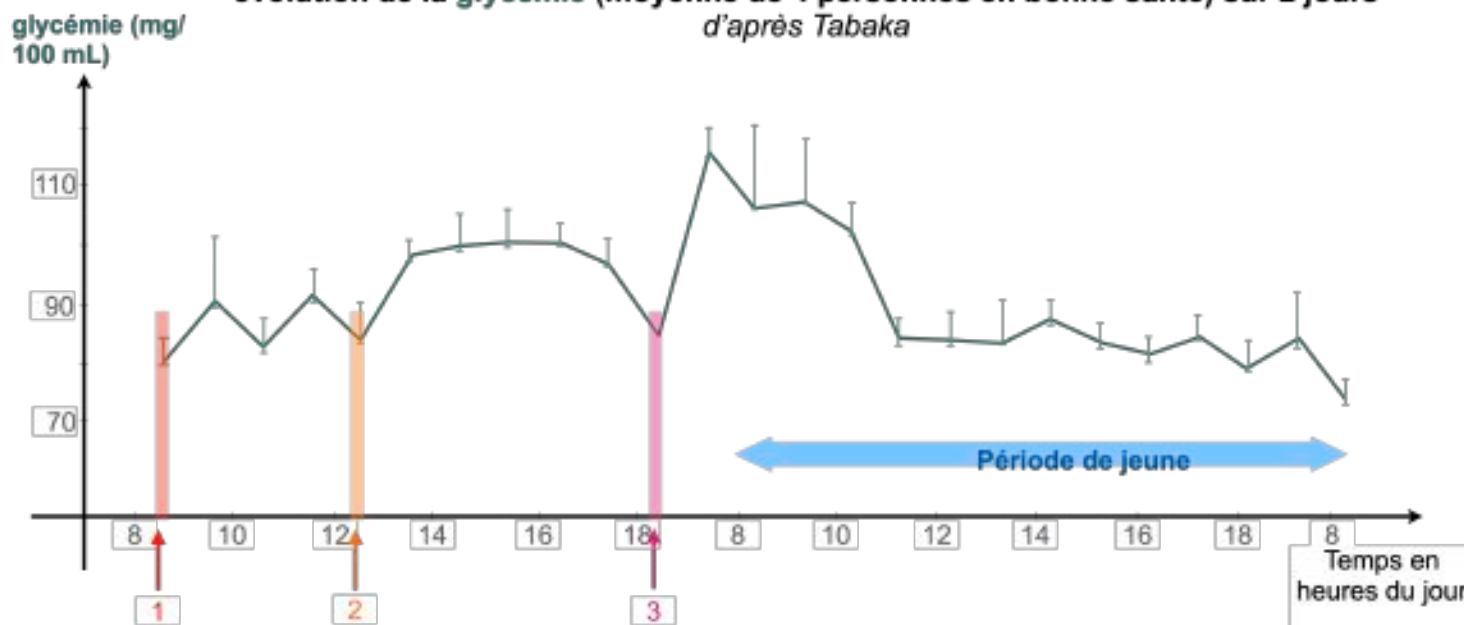


Glycémie = est la concentration de glucose dans le sang, maintenue dans un intervalle relativement étroit autour d'une valeur d'équilibre proche de 1g.L⁻¹.

La **glycémie** est donc une **variable finement réglée**, quelque soit la demande des organes et la fourniture des repas. La consommation de glucose est minimale lorsque l'organisme est au repos musculaire, mais jamais nulle.

Doc. 2 : évolution de la glycémie pendant 48h (moyenne de 4 individus)

évolution de la glycémie (moyenne de 4 personnes en bonne santé) sur 2 jours d'après Tabaka



- 1 - petit déjeuner : 87 mg de glucides, 16 mg de protides et 12 mg de lipides
- 2 - déjeuner : 93 mg de glucides, 17 mg de protides et 12 mg de lipides
- 3 - dîner : 120 mg de glucides, 22 mg de protides et 16 mg de lipides

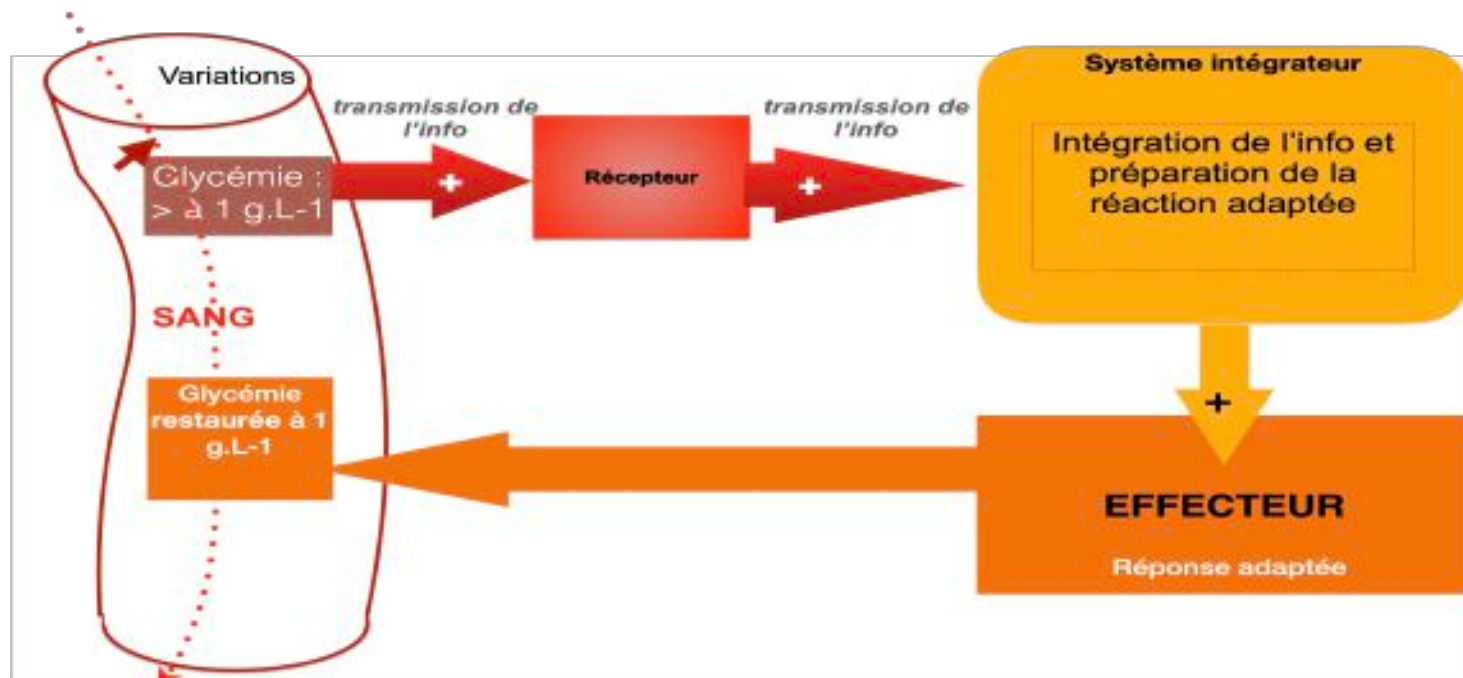
Modifié d'après SVTdijon

B- Un système de régulation.

Si le glucose est **finement régulé**, il doit forcément l'être grâce à un **système de régulation** précis impliquant à la fois un **capteur**, un **système d'intégration** et un **effecteur** permettant de modifier un fonctionnement.

Une boucle de régulation se compose d'un **système régulé (ou variable)** et d'un **système de contrôle**. Toute variation est perçue par des capteurs, transmise au **système de commande qui intègre** les informations et **adapte une réponse adressée aux effecteurs** qui agissent directement sur le paramètre à régler.

Doc. 3 : Système de régulation



D'après JBoscq

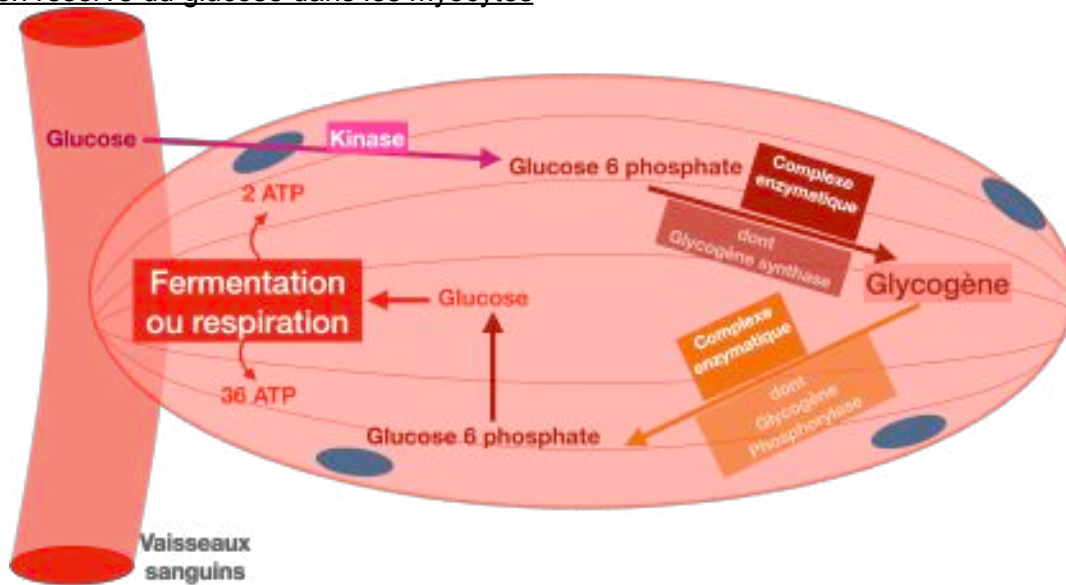
II- La régulation de la glycémie au niveau cellulaire

Toutes les cellules de l'organisme consomment du glucose, ce qui tend à faire baisser la glycémie. Certaines cellules sont également capables de **stocker** le glucose :

- ◆ Les **adipocytes (tissus adipeux)** stocke le glucose sous forme de **triglycérides** (lipogénèse).
- ◆ Les **myocytes (cellules musculaires)** consomment beaucoup de glucose pour obtenir l'énergie nécessaire à leur contraction. Un peu de glucose est stocké sous forme de **glycogène (glycogénogenèse)**. Ces réserves sont facilement mobilisables en cas de besoin (**glycogénolyse**) mais ce glucose ne peut pas retourner dans le sang : c'est une réserve **strictement privées**.

Flux de glucose

Doc. 4 : Mise en réserve du glucose dans les myocytes



D'après JBoscq

Les **hépatocytes** (cellules du foie) jouent un rôle central dans la régulation de la glycémie car elles sont capables à la fois de stocker du glucose et de le libérer dans le sang, en fonction des besoins de l'organisme : **c'est le principal effecteur de la glycémie.**

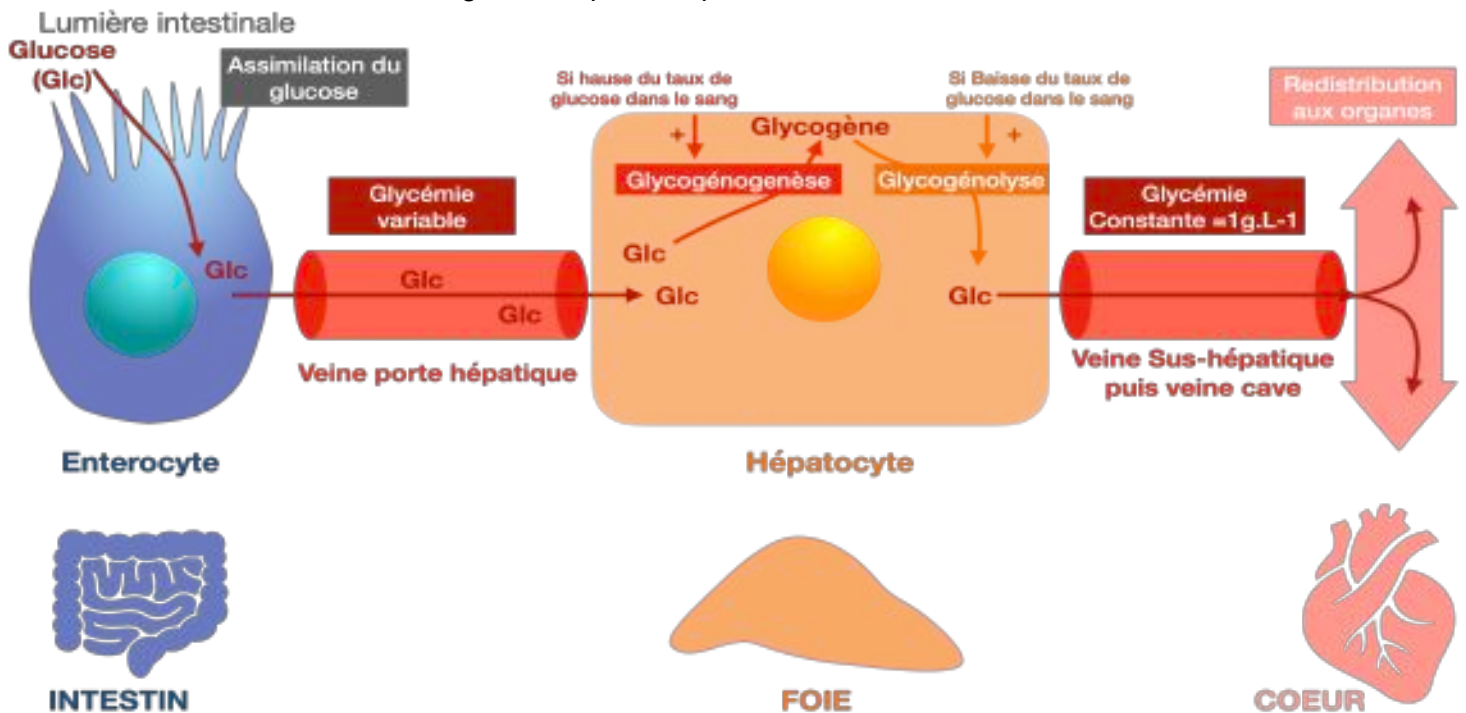
Le glucose assimilé par les villosités intestinales atteint le foie par la veine porte. Les hépatocytes, prélèvent le glucose en excès et le stockent en le polymérisant en glycogène (**glycogénogenèse**).

En période de jeun, la glycémie dans la veine porte chute. Les hépatocytes hydrolysent alors le glycogène (**glycogénolyse**) en glucose qui est libéré dans le sang. Cela rétablit la valeur normale de la glycémie.

Les hépatocytes peuvent synthétiser aussi du glycogène à partir de molécules non glucidiques : on parle alors de **néo-glucogenèse**.

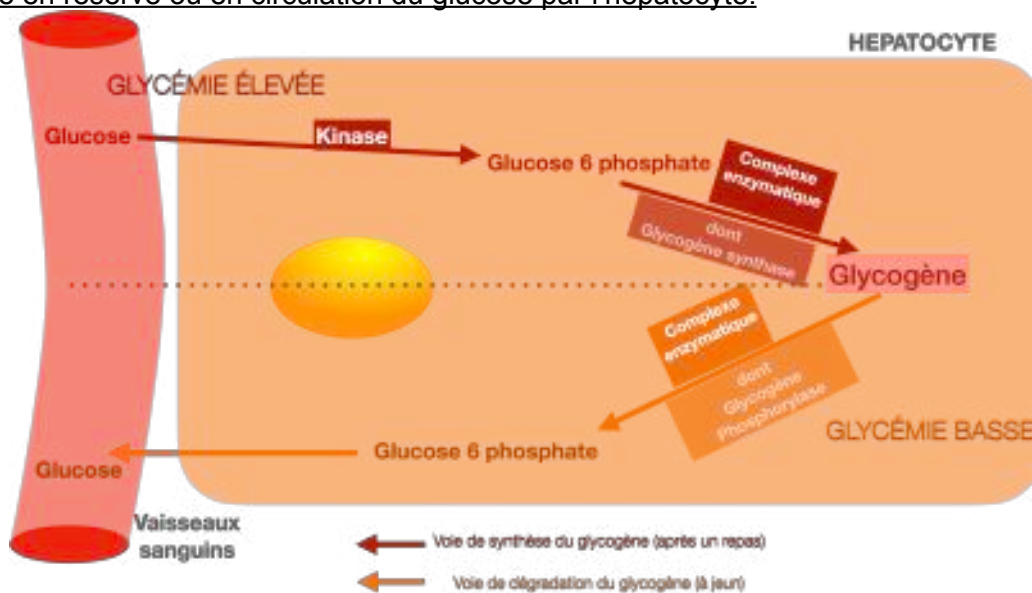
Doc. 5 : Régulation du glucose par le foie

Doc 5A : De l'intestin aux organes en passant par le foie



Flux de glucose

Doc 5B : mise en réserve ou en circulation du glucose par l'hépatocyte.



D'après JBoscq

III- Le pancréas : organe clé de la régulation.

A- Anatomie du pancréas

Le pancréas est un organe situé juste sous l'estomac. Il contient deux types de **cellules glandulaires** : les cellules **acineuses exocrines** et les cellules **insulaires endocrines**.

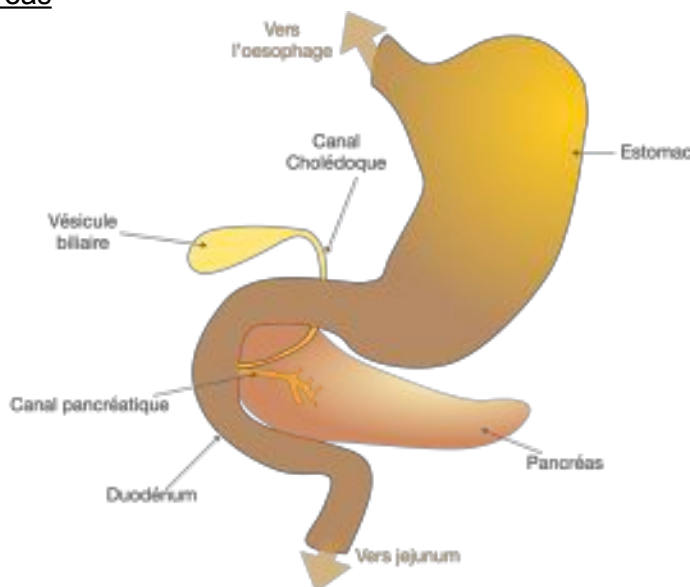
Définitions



Exocrine = Qualifie une glande qui sécrète ses produits vers le milieu extérieur (surface de la peau, tube digestif...).

Endocrine = Qualifie une glande qui sécrète ses produits dans le sang (milieu intérieur).

Doc. 6 : Localisation du pancréas



D'après JBoscq

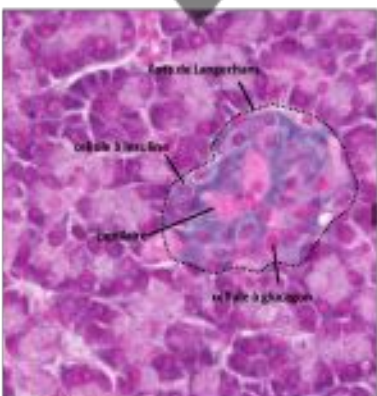
- Les **cellules acineuses** sont groupées sphère (acinus ; des acini) dont le centre correspondra au canal excréteur ; elles produisent le suc pancréatique qui est sécrété dans l'intestin pendant la digestion. Les cellules acineuses sont exocrines.
- Les **cellules insulaires** sont groupées au milieu de tous ces acini en amas et nommés **îlots de Langerhans**. ils sont très richement irrigués, sont formés de **cellules endocrines**, c'est-à-dire de cellules produisant des hormones qui sont véhiculées grâce au sang. Les **cellules α** produisent du **glucagon** et les **cellules β** produisent de **l'insuline**.

Flux de glucose

Doc. 7 : Îlots de Langerhans

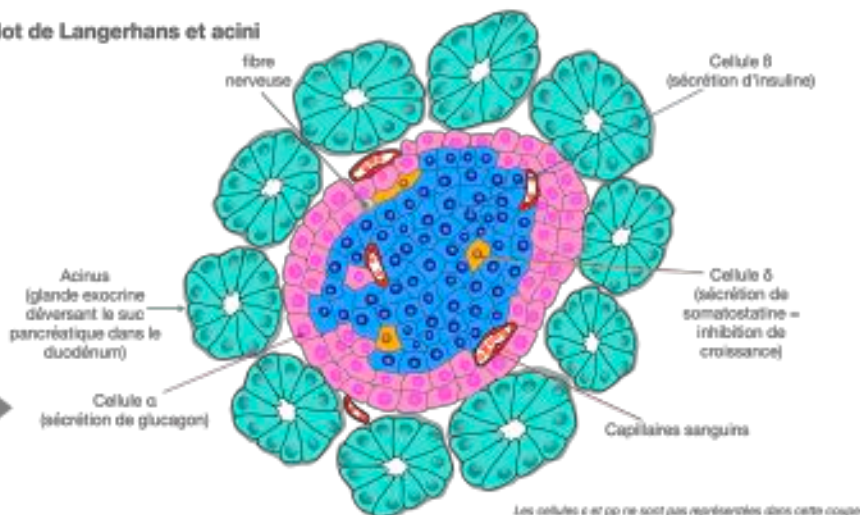


[Objectif X 4]



[Objectif X 40]

Îlot de Langerhans et acini



Photos d'après <https://histologie.univ-nantes.fr> et dessin d'après JBoscq

B- Les hormones pancréatiques

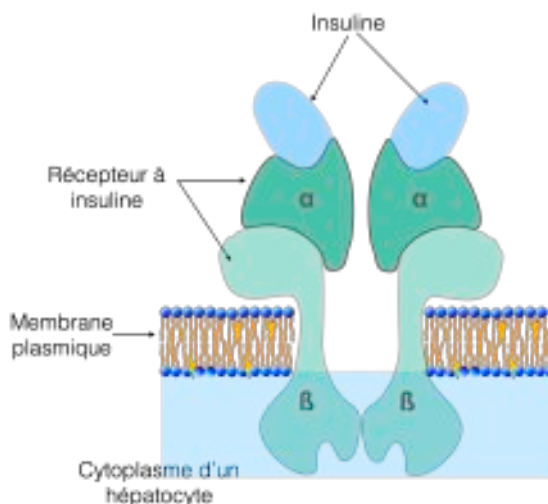
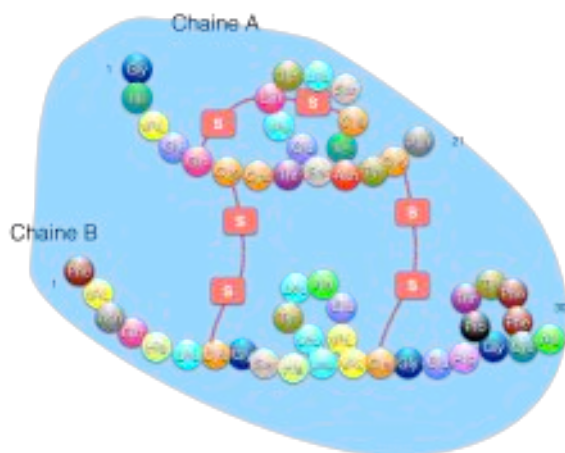
1) L'insuline

L'insuline libérée dans le sang se fixe sur des **récepteurs spécifiques** présents à la surface de **cellules cibles**, ce qui en modifie leur activité. Ces récepteurs sont présents au niveau de toutes les cellules de l'organisme mis à part les cellules nerveuses. Les effets tendent tous à faire baisser la glycémie en favorisant la capture du glucose sanguin et son stockage dans les cellules.

Doc. 8 : Insuline et son récepteur

A- Insuline produite par les cellules β des îlots de Langerhans

B- Récepteur à insuline d'un hépatocyte



d'après JBoscq

L'insuline est à ce titre **une hormone hypoglycémiant** qui permet :

Flux de glucose

- ▶ l'entrée du glucose sanguin dans les cellules grâce à des protéines transmembranaires ou des canaux à glucose appelés **GLUT** pour « **GLU**ucose **T**ransporter » ;
- ▶ la formation de glycogène dans les cellules du foie en stimulant la glycogénogenèse et en inhibant la glycogénolyse ;
- ▶ le stockage de lipides dans les adipocytes en stimulant la lipogenèse et en inhibant la lipolyse.

Complément : Les transporteurs de glucose

Il existe 2 types de transport du glucose.

1) Les transports facilités

Il est assuré par la famille des transporteurs **GLUT** pour « **GLU**ucose **T**ransporter » qui forment un pore à travers la membrane plasmique. Il existera différents transporteurs GLUT, aux propriétés différentes.

Par exemple, GLUT 2 existe spécifiquement dans le Foie, et peut assurer un passage du glucose dans les 2 sens (vers l'extérieur et vers l'intérieur de l'hépatocyte).

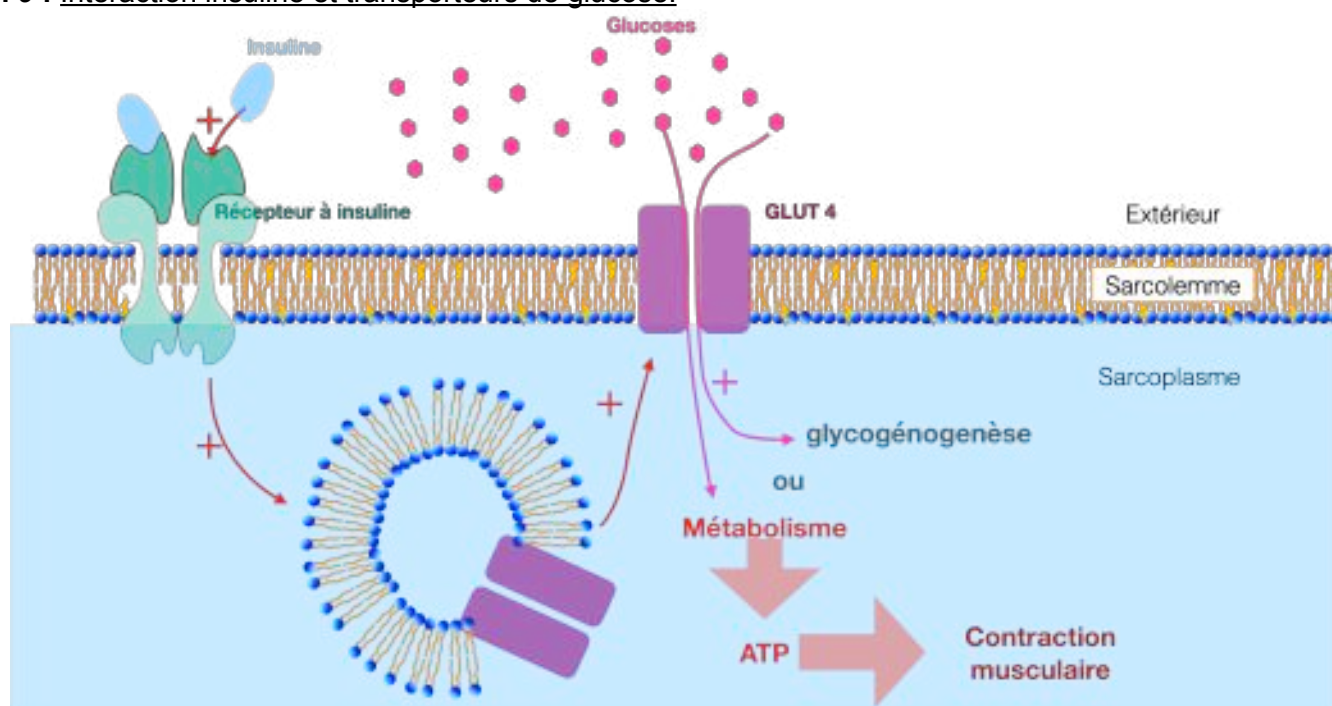
GLUT 4 s'exprimant dans les muscles, ne laisse passer le glucose que de l'extérieur vers l'intérieur du myocyte.

2) Les transports actifs (ils sont couplés à une consommation d'ATP)

Ils s'effectuent grâce à des protéines transmembranaires SGLT couplant le transport du sodium et du glucose [Na^+ / glucose]

Quand la glycémie est élevée, l'insuline libérée par les îlots de Langerhans se fixe sur les cellules cibles et elle facilite la mobilisation du glucose par une augmentation de la synthèse et de l'export des transporteurs de glucose (GLUT) grâce à des vésicules vers la membrane plasmique. **En conséquence, l'absorption du glucose augmente.**

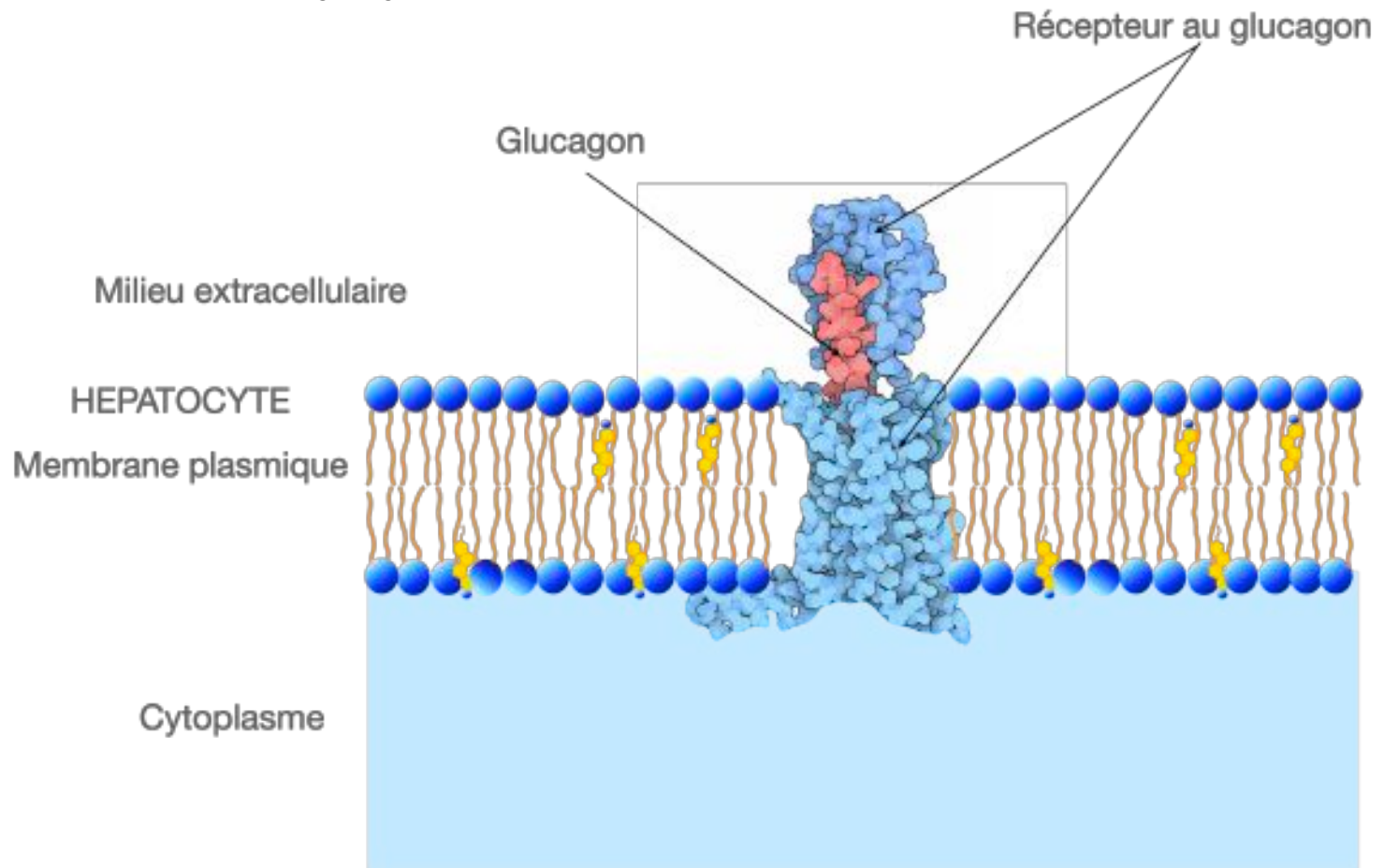
Doc. 9 : Interaction insuline et transporteurs de glucose.



d'après JBoscq

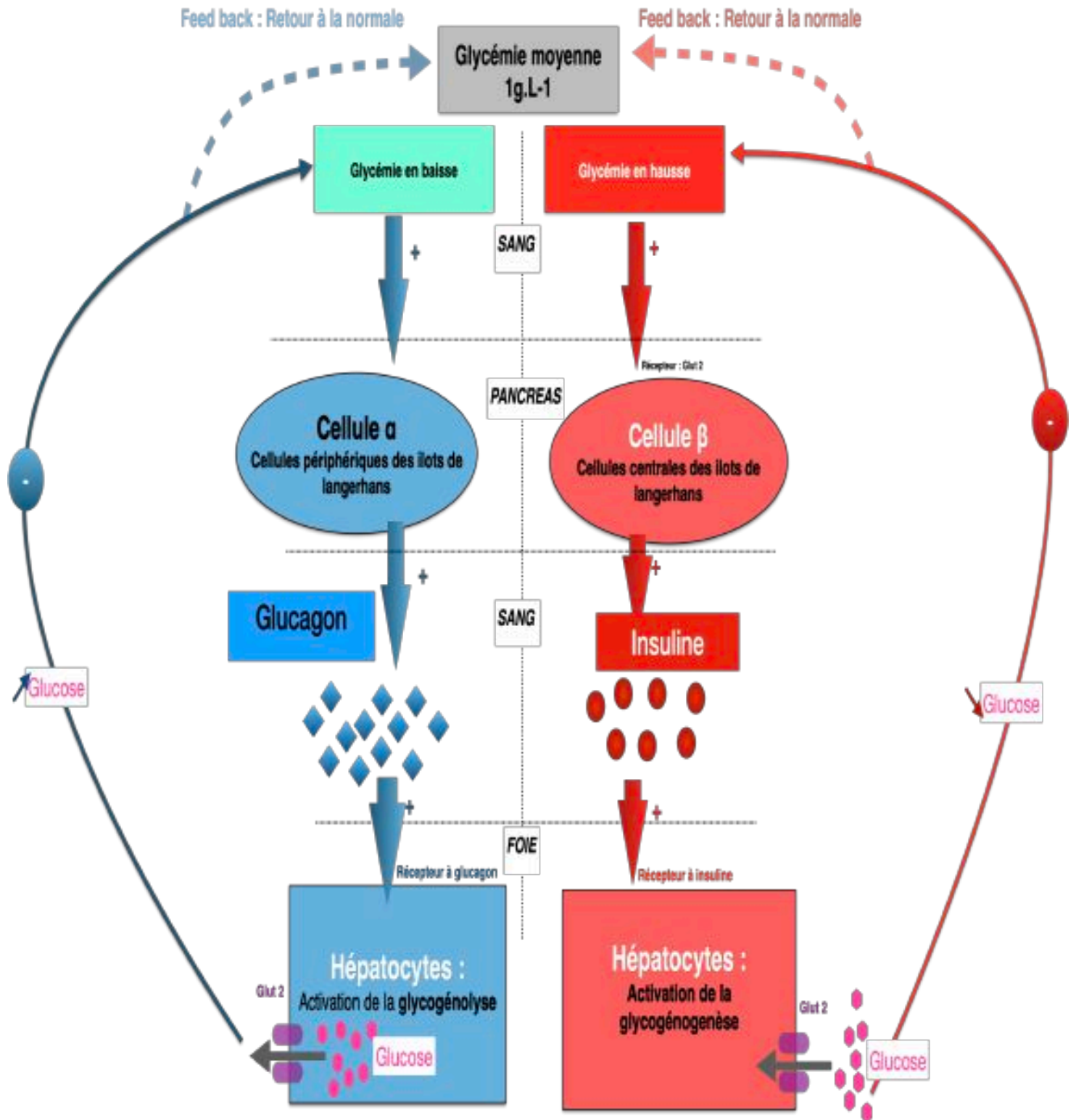
2) Le Glucagon

Le **glucagon** agit aussi sur les hépatocytes en activant massivement la glycogénolyse et inhibant la glycogénogenèse. Le glucose produit est alors libéré dans le sang. Le glucagon a donc un effet **hyperglycémiant**, on dit qu'il s'agit de l'**hormone antagoniste à celle de l'Insuline**.



Régulation de la glycémie :

Doc. 11 : Contrôle hormonal de la glycémie



IV- Le dérèglement de la régulation de la glycémie à l'origine des diabètes.

Si la régulation glycémique fonctionne mal, cela peut avoir des conséquences graves dans le cas d'une hypoglycémie ou d'une hyperglycémie.

Une mauvaise régulation peut avoir de graves conséquences. Si l'hypoglycémie est sévère (< 0,5 g.L⁻¹) l'individu peut avoir des convulsions, tomber dans le coma, voire mourir. Ceci est à mettre en lien avec le fait que la glycémie affecte directement les cellules nerveuses. L'hyperglycémie présente également des troubles mais c'est plus sa répétition qui va être à l'origine de troubles.

Flux de glucose

Le **diabète** est une maladie chronique qui survient lorsque le pancréas ne produit pas assez d'insuline ou lorsque l'organisme n'est pas capable d'utiliser efficacement l'insuline qu'il produit. Il en résulte une concentration accrue de glucose dans le sang (hyperglycémie) de façon chronique.

On distingue deux types de diabètes :

A- Le diabète de type 1 ou insulino-dépendant ou DID

Cause principale : absence ou insuffisance d'insuline.

1) un mécanisme immunitaire

L'organisme ne reconnaît plus ces cellules bêta et les détruit (les cellules bêta sont détruites par des anticorps et des cellules de l'immunité, les lymphocytes, fabriquées par l'organisme) : on dit que le diabète de type 1 est une **maladie auto-immune**. Le glucose ne pouvant entrer dans nos cellules retourne dans le sang. Le taux de glucose dans le sang s'élève alors. Comment cela se passe ? Les cellules β sont en fait ciblées par des **auto-anticorps**. **Les lymphocytes T**, normalement dirigés contre des cellules infectées détruisent les cellules β.

2) Des facteurs génétiques

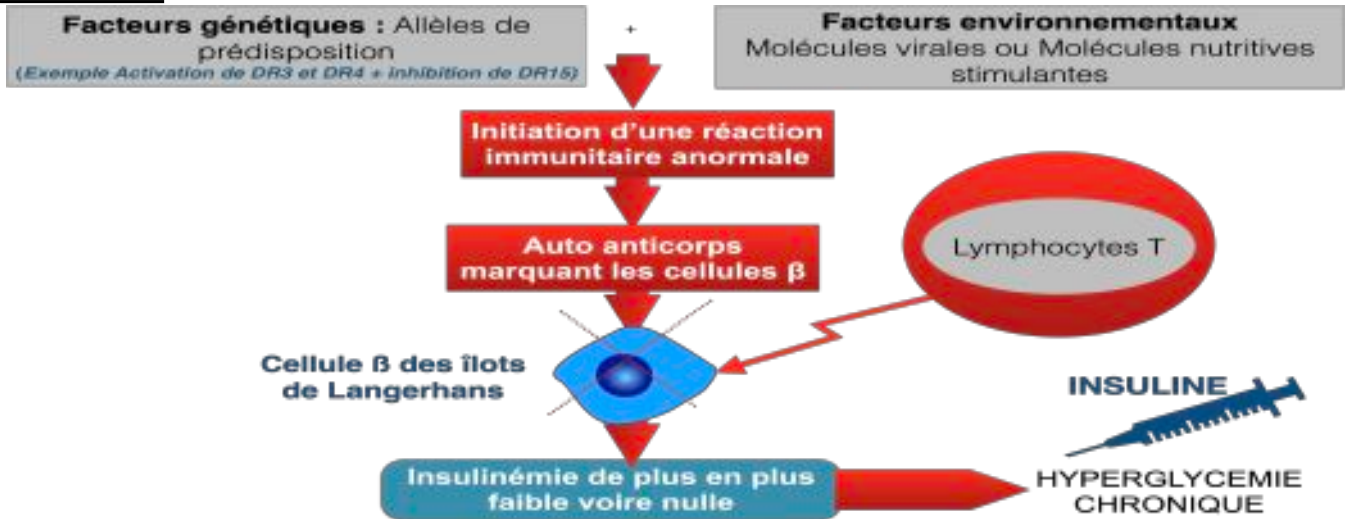
Avoir un parent atteint est un facteur de risque, même si on a constaté que chez des jumeaux monozygotes, si l'un d'entre eux est diabétique de type 1, l'autre ne l'est pas forcément (44% de risque uniquement). Les facteurs génétiques existent donc mais ne suffisent pas à expliquer le déclenchement du diabète.

Un certain nombre de **marqueurs génétiques** (présents sur la membrane plasmique des cellules) ont été identifiés chez les diabétiques (exemple : allèles DR3 et DR4 du gène DR responsables d'un déclenchement alors que l'allèle DR15 semble au contraire protégé).

3) Des facteurs environnementaux

Des virus interviendraient dans le processus auto-immun en raison de la similitude de certaines de leurs protéines avec celles des cellules β, ce qui aurait pour effet de stimuler les lymphocytes T. D'autres facteurs, d'origine nutritionnelle produiraient les mêmes effets, il s'agit d'un phénomène de **mimétisme moléculaire**.

Doc. 11 : Le DID



B- Le diabète de type 2 ou Non Insulino Dépendant ou DNID

Cause principale : résistance à l'insuline des cellules-cibles .

1) Principe

L'insuline ne peut plus réguler la glycémie et cette résistance épuise progressivement le pancréas qui finit par ne plus assurer une production suffisante d'insuline. Ces deux

Flux de glucose

mécanismes font que le glucose ne pénètre pas dans les cellules du corps et reste dans la circulation sanguine. Le taux de glucose dans le sang n'est pas régulé par l'insuline.

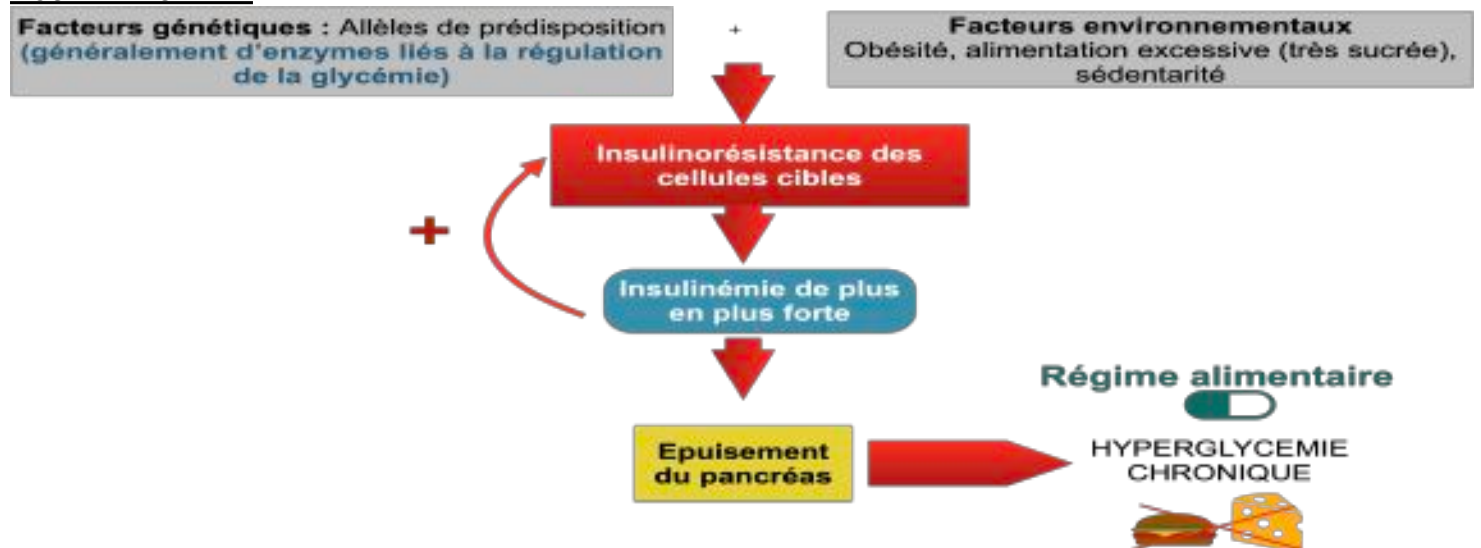
2) Facteurs génétiques

Certains groupes ethniques (comme les indiens Pimas par exemple) sont plus sujets au diabète que d'autres. Chez les jumeaux monozygotes, le risque pour le second jumeau d'être atteint est de 50 à 90 %, contre 2 % chez les jumeaux dizygotes. Les études génétiques ont permis d'identifier 80 % des gènes responsables du diabète précoce (5 % des diabètes de type 2). Il s'agit de mutations à l'origine d'allèles dominants concernant des gènes situés sur des chromosomes non sexuels. La recherche a permis d'isoler certains gènes à l'issue du déclenchement du DT 2.

3) Facteurs environnementaux

Un changement radical du mode de vie et de régime alimentaire, une alimentation en excès, une absence d'activité physique, sont des facteurs de risque du diabète de type 2. L'association avec l'obésité est fréquente : un tiers des obèses sont diabétiques, mais surtout 80% des diabétiques sont obèses.

Doc. 12 : Le DNID



Conclusion

C'est la glycémie, qui déclenche l'action du **système régulant** (système de commande et organes effecteurs). Un écart capté par le système régulant déclenche donc une réponse qui tend à réduire cet écart (une hausse de la glycémie par exemple déclenche une baisse de la glycémie). Un tel système de contrôle constitue une **boucle de rétroaction** qui assure une **autorégulation** permanente du paramètre réglé.

Tous les diabétiques doivent contrôler très régulièrement leur glycémie pour ajuster leur traitement.

- Les **diabétiques de type 1** doivent s'administrer quotidiennement de l'insuline par injections
- Les **diabétiques de type 2** peuvent se contenter de médicaments oraux destinés à augmenter l'efficacité de l'insuline ou à limiter l'absorption intestinale de glucose : c'est un régime stricte.

Le diabète nécessite un **traitement à vie**.

Fiche de révision pour mieux réussir :

Problèmes du chapitre : Comment l'organisme stocke le glucose ? Comment le glucose est régulé en fonction des besoins en énergie ? Que se passe-t-il en cas de flux de glucose perturbé ?



Les définitions à connaître :

- ★ Glycémie
- ★ Myocytes, hépatocytes, adipocytes
- ★ Glucose, glycogène, triglycérides
- ★ Glycogénogenèse, glycogénolyse, lipogenèse, néo-glucogenèse.
- ★ Pancréas, îlots de Langerhans, cellules glandulaires : acineuses exocrines, insulaires endocrines
- ★ cellules α => glucagon = hormone hyperglycémiant, cellules β => insuline = hormone hypoglycémiant
- ★ récepteurs spécifiques, transporteurs de glucose (GLUT)
- ★ Diabète de type 1 ou insulino-dépendant ou DID
- ★ Diabète de type 2 ou non-insulino-dépendant ou DNID
- ★ Boucle de rétroaction, autorégulation



Les notions clés à maîtriser (à savoir expliquer) :

- ★ Variations de glycémie
- ★ Régulation de la glycémie et mise en réserve dans le myocyte et dans l'hépatocyte
- ★ Glycogénolyse et glycogénogenèse
- ★ Sécrétion d'insuline et de glucagon, récepteur de l'insuline
- ★ Régulation hormonale de la glycémie
- ★ DID et DNID (origine et soins)



Les méthodes et compétences travaillées

- ★ Etudes microscopiques de pancréas sains et de pancréas diabétiques ;
- ★ Frottis d'hépatocytes
- ★ ECE foie lavé et muscle lavé
- ★ Etudes enzymatiques (glycogène, glucose)
- ★ Anagène et Rastop : hormones et récepteurs, étude de diabètes



Pour mieux mémoriser ou s'entraîner:

- ★ L'essentiel dans votre livre p382 à 385 + Exercices se tester p386
- ★ Carte de mémorisation Anki
- ★ S'entraîner à refaire les schémas ou à les légèrer (Mise en réserve du glucose par le muscle, régulation du glucose par le foie, interaction insuline/récepteur, contrôle hormonal de la glycémie, le DID et le DNID)
- ★ S'entraîner à expliquer les différents mécanismes liés aux régulations ou aux dérèglements de la glycémie
- ★ Bien faire attention aux connexions avec les autres chapitres
- ★ ECE
- ★ QCM
- ★ Activités (TP + Respiration 1)

Exemples de sujet de synthèse :

1) Un marathonien vient de manger un plat de féculent en guise de petit déjeuner. Il s'apprête à commencer sa course. **Expliquer comment les muscles peuvent obtenir de l'énergie et comment les flux de glucose sont régulés durant l'exercice.**

2) Marianne est diabétique. Elle doit contrôler sa glycémie plusieurs fois par jour et pratiquer des injections régulières d'insuline. **Après avoir rappelé le principe de la glycémie et quelles structures sont impliquées, vous expliquerez le diabète de Marianne pour lequel vous effectuerez un schéma bilan du dérèglement glycémique et du rétablissement par injection d'insuline.**