

## Le contrôle des flux de glucose, source essentielle d'énergie des cellules musculaires

---

Introduction :

Lors d'un effort, les besoins des muscles ne sont pas les mêmes qu'au repos. Pour fonctionner, les cellules musculaires ont besoin d'énergie apportée par le glucose et le dioxygène. Elles ont également des déchets à rejeter, comme le dioxyde de carbone.

Comment les flux de glucose dans l'organisme sont-ils contrôlés afin d'apporter aux muscles l'énergie dont ils ont besoin ?

Dans un premier temps, nous verrons comment le corps adapte les apports en glucose en fonction de l'activité ; puis nous verrons comment la quantité de glucose dans le sang est régulée. Enfin, nous aborderons différents troubles liés à une mauvaise régulation du glucose.

### 1 | Cellules musculaires et besoins en glucose

#### a. Des besoins variables en fonction de l'activité

Lors d'un effort, les muscles ont davantage besoin d'**énergie sous forme d'ATP** afin d'assurer leur fonction de **contraction**. Cette énergie est apportée par le **métabolisme** respiratoire qui utilise des nutriments comme le **glucose** et de l'**oxygène** circulant dans le sang.

Ainsi, plus l'activité est intense, plus les besoins musculaires vont augmenter.



La **respiration cellulaire** est un métabolisme permettant la synthèse d'ATP à partir de glucose et de dioxygène. Les mitochondries sont le lieu de cette respiration.

→ Bilan de la respiration :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$ .

		au repos	à l'effort
sang entrant dans le muscle	dioxygène	200 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$
	dioxyde de carbone	490 $\mu\text{L}$	490 $\mu\text{L}$
	glucose	900 $\mu\text{g}$	900 $\mu\text{g}$
sang sortant du muscle	dioxygène	150 $\mu\text{L}$	20 $\mu\text{L}$
	dioxyde de carbone	530 $\mu\text{L}$	700 $\mu\text{L}$
	glucose	870 $\mu\text{g}$	500 $\mu\text{g}$

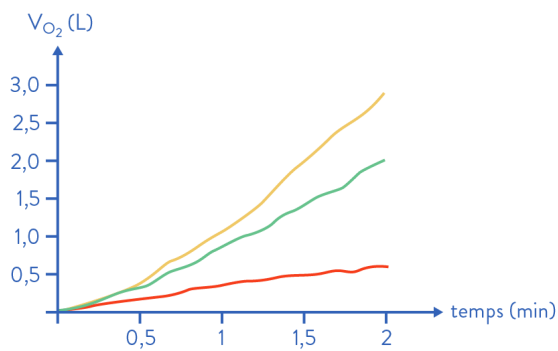
© SCHOOLMOUV

Grâce à une augmentation de la fréquence respiratoire, le **volume de dioxygène** inspiré, et donc l'**O<sub>2</sub> sanguin** disponible pour les cellules de l'organisme, augmente. Cette augmentation cherche à répondre aux besoins des cellules musculaires lors de l'effort.

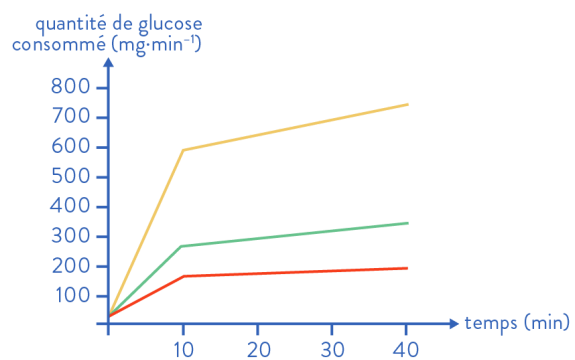


À retenir

La consommation en dioxygène est mesurée en volume d'air consommé. On la note  $V_{\text{O}_2}$ .



— effort intense — effort modéré — repos



— effort intense — effort modéré — effort léger

© SCHOOLMOUV



Lors d'un effort :

- la respiration s'accélère ;
- la consommation de dioxygène et de glucose augmente ;
- la production de dioxyde de carbone augmente.

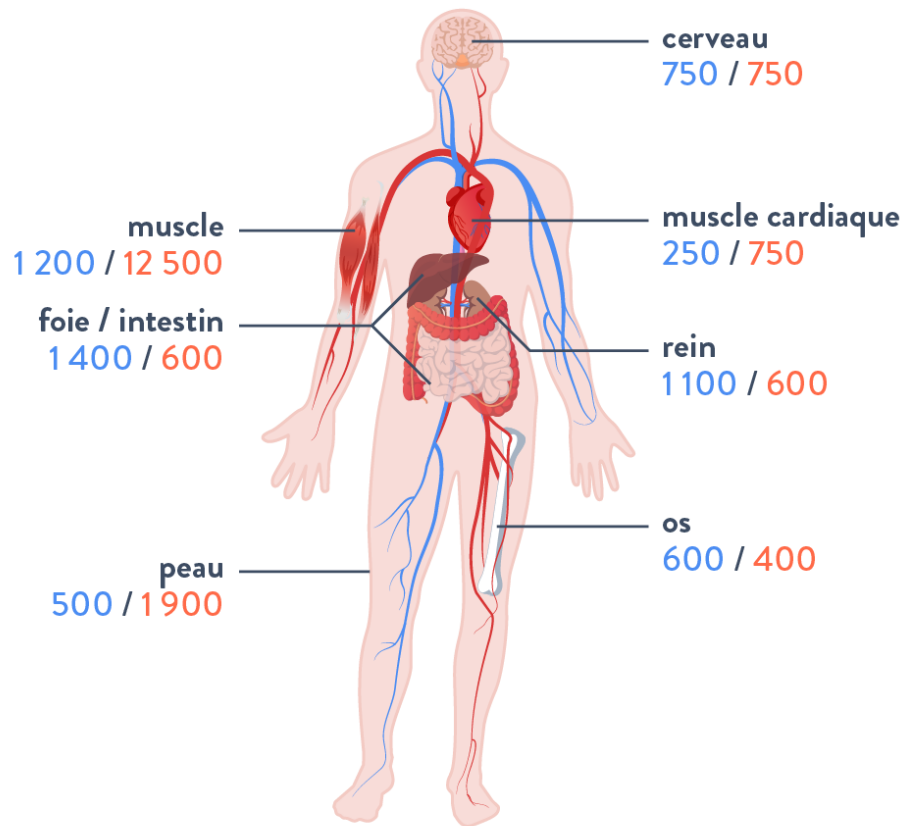
### b. Une irrigation adaptée aux besoins des muscles

Pour faciliter les apports aux muscles, le débit sanguin intramusculaire doit également augmenter.

Au repos, les organes nécessitant le plus de volume sanguin sont les organes du noyau central (système digestif, système nerveux central, etc.) que l'on retrouve au niveau du tronc. Logique, ce sont eux qui réalisent les fonctions essentielles du corps au repos.

Lors d'un effort, les besoins des muscles augmentent, nécessitant un apport plus important en sang.

→ On remarque alors une **augmentation du débit sanguin**, permise par une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle.



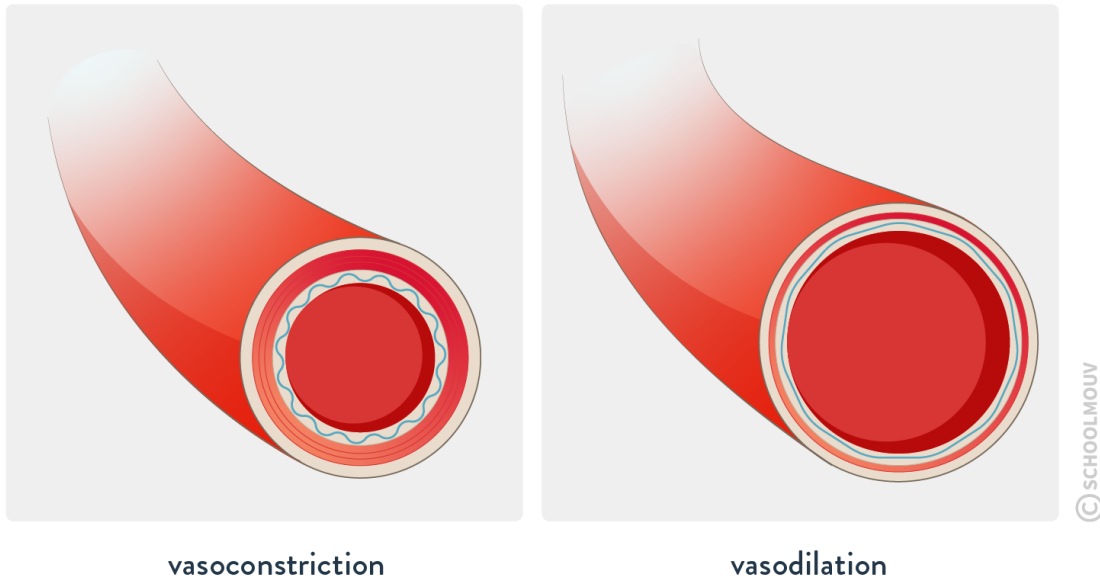
débit sanguin dans différents organes  
au **repos** et à l'**effort** (en mL·min<sup>-1</sup>)

© SCHOOLMOUV

En outre, lors de l'effort, on note une **optimisation de la distribution du volume sanguin** pour répondre aux besoins des muscles :

- les capillaires sanguins du noyau central se contractent, limitant leur apport en sang ;
- les capillaires sanguins qui irriguent les muscles se dilatent, augmentant leur apport en sang, et donc en O<sub>2</sub> et en nutriments.

→ On parle, respectivement, de **vasoconstriction** et de **vasodilatation**.



### **Vasoconstriction :**

La vasoconstriction consiste en la contraction des muscles lisses autour de la paroi d'un vaisseau sanguin, diminuant ainsi son diamètre et donc le débit sanguin à l'intérieur de ce vaisseau.



### **Vasodilatation :**

À l'inverse, la vasodilatation est un relâchement des muscles lisses autour de la paroi d'un vaisseau sanguin, augmentant ainsi son diamètre et donc le débit sanguin à l'intérieur de ce vaisseau.

Le sang circule donc plus vite et en plus grand volume au niveau des muscles.

Une vasodilatation au niveau de la peau permet également de dissiper la chaleur produite en surplus par l'effort. En effet, le flux de sang plus important permis par la dilatation des capillaires au niveau de la peau augmente les échanges avec le milieu extérieur. Ceci permet la thermorégulation du corps lors de l'effort.

Lors d'un effort, la fréquence cardiaque augmente ainsi que la dilatation des vaisseaux sanguins irriguant les muscles.

→ Ceci permet d'augmenter le flux de sang au niveau des muscles et d'**optimiser leur approvisionnement en  $O_2$  et en nutriments.**

## 2 | Glycémie et contrôle

### a. Le stockage du glucose



#### Glycémie :

La glycémie est le taux de glucose dans le sang qui se mesure en  $g \cdot L^{-1}$ .  
Une glycémie dite « normale » a une valeur proche de  $1 g \cdot L^{-1}$ .

Les sucres sont présents dans l'organisme sous forme libre, le **glucose**, ou sous forme de réserve, le **glycogène**.



On trouve le glucose dans le sang, tandis que le glycogène est stocké dans le foie et les muscles.

On observe une augmentation de la glycémie après un repas et une diminution pendant un effort prolongé. Le retour à la normale se fait en quelques heures. La glycémie doit être **régulée** par l'organisme car une **hyperglycémie** ou une **hypoglycémie** prolongée peut entraîner des problèmes énergétiques et de santé.



- Hyperglycémie : glycémie supérieure à  $1,26 g \cdot L^{-1}$

- Hypoglycémie : glycémie inférieure à  $0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

La glycémie fluctue peu dans la journée, et ce malgré la prise de repas et la consommation de glucose par l'organisme lors des efforts (de  $0,7$  à  $1,4 \text{ g/L}$ ), grâce à des organes capables de stocker ou de libérer du glucose. Ce faible écart montre la présence d'un système de régulation performant. L'organe responsable de cette régulation est le **pancréas**, situé près de l'estomac.



- Les sucres sont présents dans l'organisme sous forme de glucose (forme libre), ou sous forme de glycogène (réserve dans le foie et les muscles).
- La glycémie doit être régulée afin d'éviter l'hypo ou l'hyperglycémie.

### **b.** Le rôle du pancréas

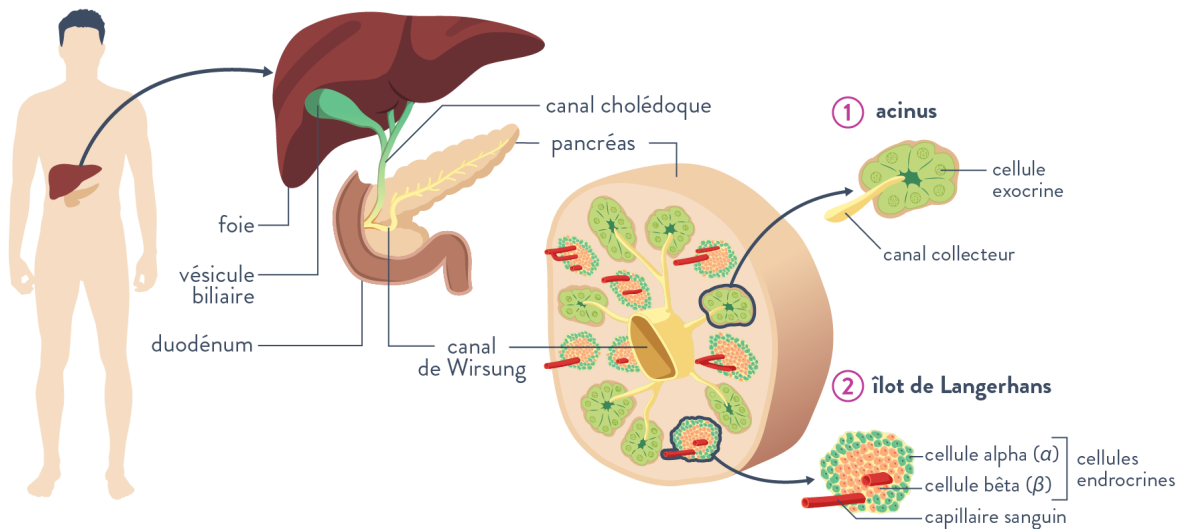
Le **pancréas** est l'organe de contrôle de la glycémie. Il libère des hormones capables d'agir sur des organes effecteurs (le foie et les muscles) dans le but de faire varier la glycémie et ainsi la rapprocher de sa valeur de base.



Le pancréas a deux fonctions distinctes :

- endocrine (régulation de la glycémie) ;
- exocrine (digestion).

## Organisation du pancréas



© SCHOOLMOUV

- 1 Reliés entre eux par des canaux, les acini sécrètent et libèrent les sucs pancréatiques, liés à la digestion (fonction exocrine du pancréas).
- 2 Quant aux îlots de Langerhans, ce sont les amas cellulaires innervés et irrigués à l'origine de la sécrétion de deux hormones essentielles dans la régulation du glucose (fonction endocrine du pancréas) : l'**insuline** et le **glucagon**.



- La sécrétion d'**insuline** (hormone hypoglycémiante) est assurée par les cellules  $\beta$  (bêta) : elle entraîne une diminution de la glycémie.
- La sécrétion de **glucagon** (hormone hyperglycémiante) est assurée par les cellules  $\alpha$  (alpha) : elle entraîne une augmentation de la glycémie.

- Une hyperglycémie est une perturbation qui, détectée par le pancréas, va activer la sécrétion d'insuline. Cette action a pour conséquence :
  - une absorption du glucose par les cellules ;
  - une augmentation de la glycolyse ;
  - un stockage du glucose libre sous forme de glycogène dans le foie et les muscles.



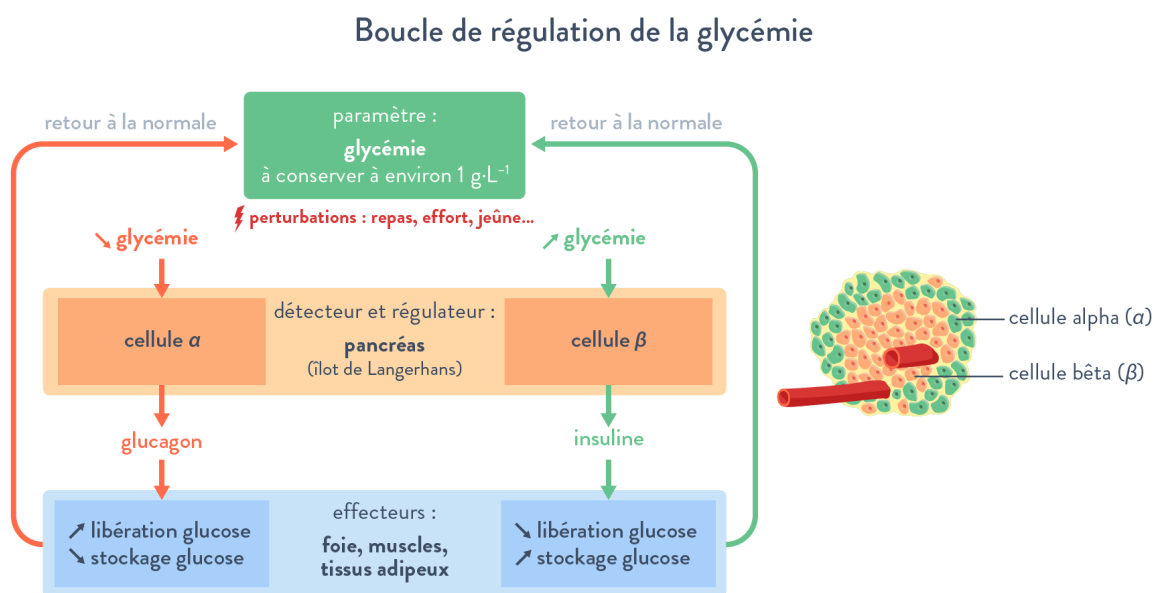
→ Ces mécanismes permettent ainsi de diminuer la glycémie.

● Une hypoglycémie est une perturbation qui, détectée par le pancréas, va activer la sécrétion de glucagon. Ceci entraîne :

- une synthèse de glucose par le foie à partir du glycogène stocké (glycogénolyse) ;
- et une libération dans le sang de ce glucose synthétisé.

→ Ces mécanismes permettent ainsi d'augmenter la glycémie.

La glycémie est donc une valeur régulée. On peut représenter le contrôle de la glycémie par une boucle de régulation :



© SCHOOLMOUV

### c. Les flux de glucose à l'échelle cellulaire

L'insuline et le glucagon agissent sur les organes effecteurs qui sont le foie et les muscles notamment. À la surface des cellules de ces organes se trouvent différents récepteurs.

→ La fixation d'insuline et de glucagon sur ces récepteurs entraîne différentes actions permettant de réguler la glycémie à l'aide de flux de glucose entre les cellules et le sang.

- Si de l'insuline se fixe sur le récepteur approprié, les transporteurs à glucose de la cellule permettront l'entrée du glucose libre présent dans le sang. Le glucose ainsi absorbé va être transformé et stocké sous forme de **glycogène** (polymère de glucose) grâce à une enzyme la glycogène synthase lors d'une réaction appelée **glycogénogenèse**.



Exemple

La cellule musculaire va consommer son propre glucose stocké sous forme de glycogène puis, à terme, le glucose circulant.

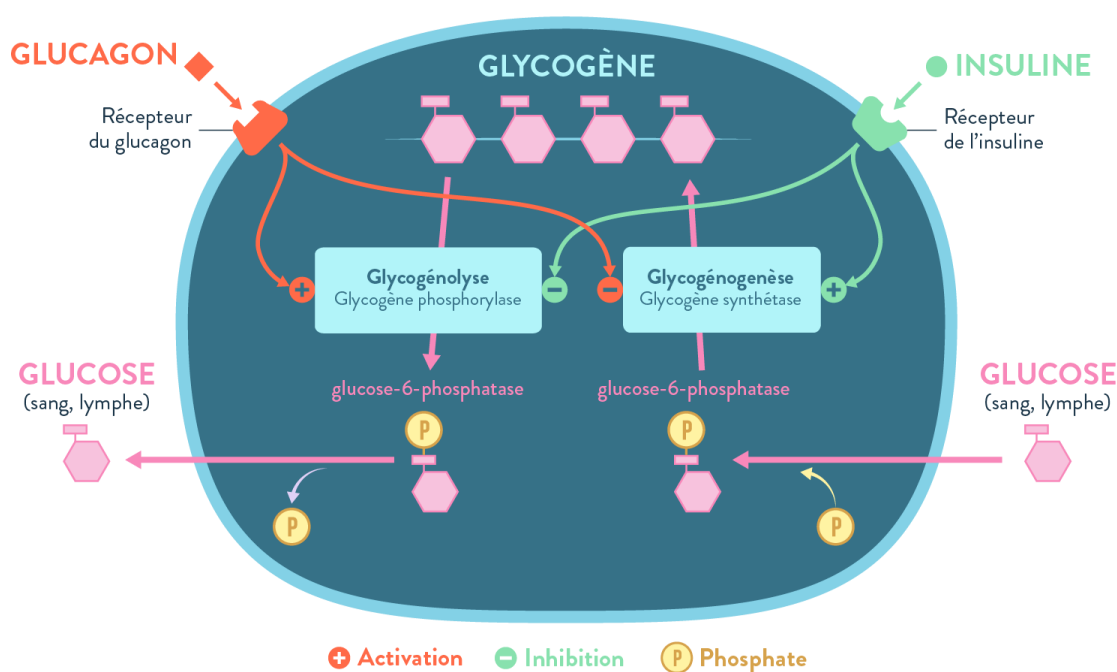
- À l'inverse, si du glucagon se fixe sur le récepteur de la cellule musculaire, l'action de l'insuline sera inhibée. Le glucagon empêchera l'entrée du glucose dans la cellule et favorisera la **glycogénolyse**.



Attention

Seul le foie est capable de déstocker le glucose, en le libérant dans le sang en cas d'hypoglycémie. La cellule musculaire ne peut dépolymériser le glycogène que pour ses propres besoins, donc en cas d'activité.

### Action du glucagon et de l'insuline sur une cellule hépatique



### 3 | Glycémie et dérégulation

#### a. L'hypoglycémie prolongée

Chez une personne en bonne santé, et dans une situation normale, la glycémie est d'environ  $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ . Il est cependant possible que certaines pathologies ou situations entraînent une hypoglycémie anormalement prolongée.



#### Exemple

Certains médicaments mais aussi certaines pathologies du foie peuvent entraîner une hypoglycémie, tout comme un jeûne de plusieurs jours.



#### Attention

Le jeûne prolongé volontaire a des effets néfastes sur la santé.

En cas d'hypoglycémie (glycémie  $< 0,5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) on peut noter les symptômes suivants :

- faiblesses ;
- difficulté à réfléchir et maux de tête ;
- vertiges ;
- sueur et tremblements.

Si elle est sévère et prolongée, l'hypoglycémie peut conduire à la destruction de certains tissus et au coma. Les neurones notamment sont des cellules glucodépendantes, c'est pourquoi l'hypoglycémie peut provoquer des vertiges et des maux de tête.



#### À retenir

L'hypoglycémie peut entraîner différents troubles mais ne survient que très rarement de manière sévère chez des individus en bonne santé.

## b. Les diabètes

Le **diabète** est une maladie entraînée par un trouble de l'assimilation ou de l'utilisation du glucose par l'organisme, à l'origine d'une **hyperglycémie chronique**. Il est responsable à long terme du développement de complications au niveau vasculaire et neurologique (il peut toucher les reins, la vision, les neurones).

Le coût, important, engendré par les traitements en fait un problème reconnu de santé publique.

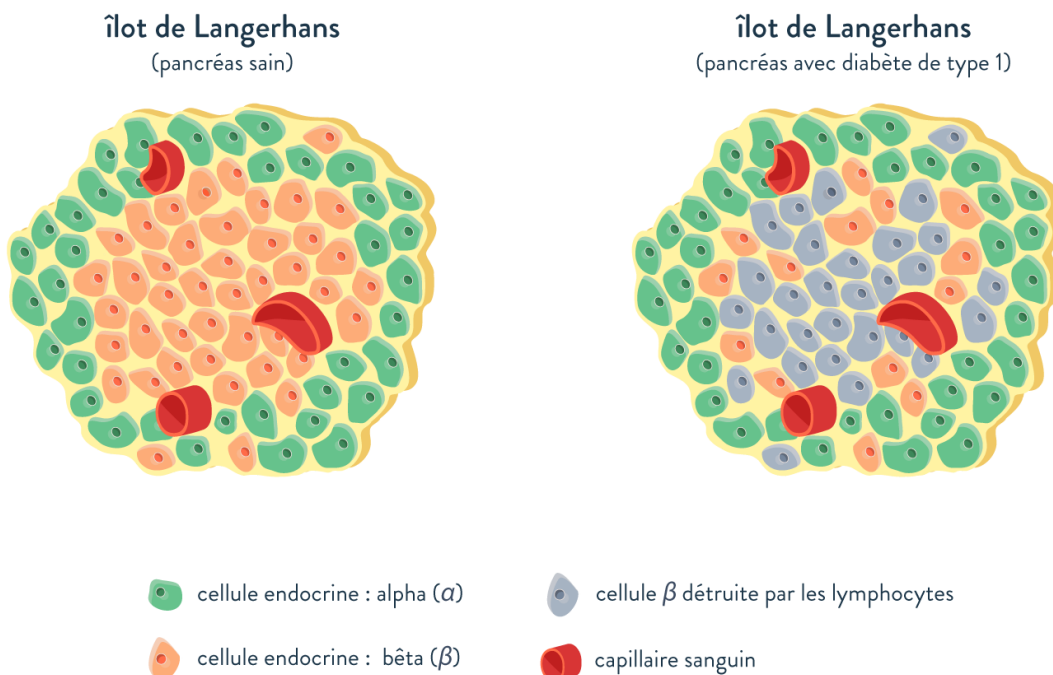


À retenir

Le diabète est diagnostiqué lors d'une glycémie à jeun d'au moins  $1,26 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Il existe plusieurs types de diabète. Les plus connus sont :

- 1 le **diabète de type 1** dit « diabète insulino-dépendant » (DID) ;
- 2 et le **diabète de type 2** dit « non insulino-dépendant » (DNID).

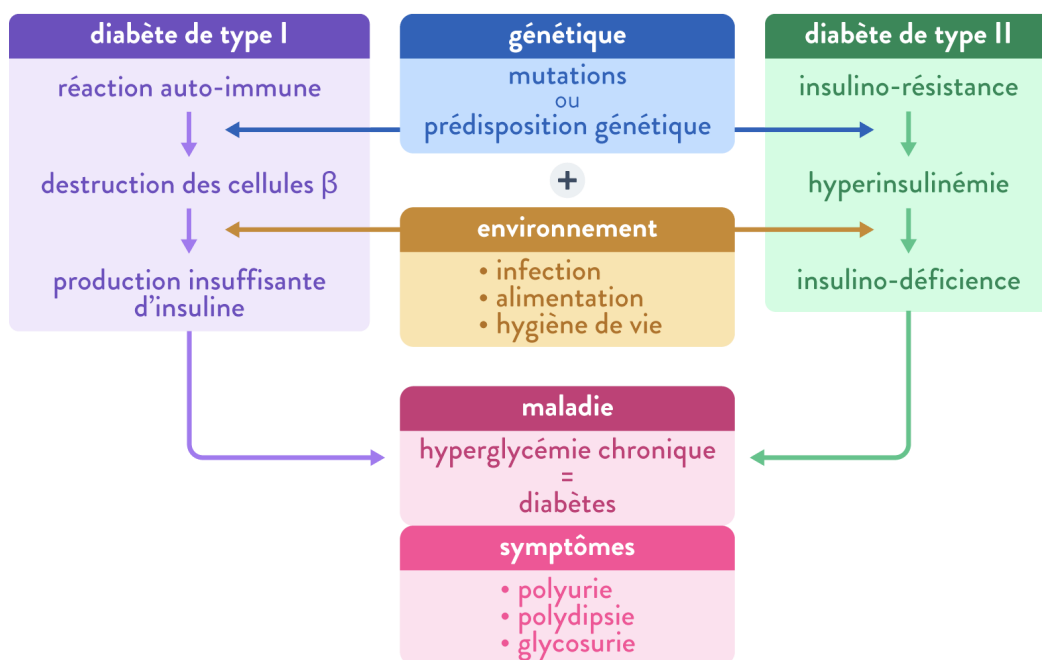


→ Les cellules  $\beta$  sont détruites par les lymphocytes du sujet diabétique de type 1 : on parle d'une maladie **auto-immune**.

Les traitements existants permettent aux personnes atteintes de vivre en limitant les symptômes et en empêchant la survenue de complications. Il n'est cependant pas possible de guérir le diabète à l'heure actuelle.

	diabète de type 1 DID	diabète de type 2 DNID
fréquence	6 % des diabètes	92 % des diabètes
apparition des premiers symptômes	enfant à jeune adulte	généralement après 40 ans dans la plupart des cas
symptômes	hyperglycémie chronique  soif intense  urines abondantes  amaigrissement rapide	hyperglycémie chronique    surpoids
insuline	absente  destruction des cellules $\beta$ par l'organisme (maladie auto- immune)	synthèse insuffisante  insulinorésistance (l'insuline n'agit pas correctement)
causes	prédisposition génétique  environnement	maladie héréditaire  manque d'activité physique

		alimentation déséquilibrée
traitements		régime équilibré à base d'aliments à index glycémique bas (leur glucose n'est libéré que progressivement dans le sang lors de la digestion, cela évite les décharges insuliniques)
	apport d'insuline par injection  pompe	activité physique  médicaments hypoglycémiants puis insuline



© SCHOOLMOUV

 À retenir

- Le diabète est un trouble entraînant une hyperglycémie chronique.
- Le diabète de type 1 (DID) est un trouble associé à une absence de sécrétion d'insuline à cause d'une destruction des cellules  $\beta$  par l'organisme. Il s'agit d'une maladie auto-immune.

- Le diabète de type 2 (DNID) est un trouble associé à un mauvais fonctionnement de l'insuline (insulinorésistance). Il s'agit d'une maladie héréditaire aggravée par une mauvaise hygiène de vie.

### Conclusion :

Pour permettre de satisfaire les besoins variables des muscles en énergie lors d'un effort, des mécanismes adaptatifs vont être mis en place par l'organisme :

- la circulation sanguine s'adapte afin de favoriser l'apport des nutriments et de l' $O_2$  aux muscles (vasodilatation et pression artérielle) ;
- la glycémie est régulée et maintenue à environ  $1\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  par des hormones pancréatiques agissant sur des organes effecteurs que sont le foie et les cellules musculaires.

En cas de perturbation de la glycémie, le pancréas sécrète de l'insuline ou du glucagon, qui sont des hormones respectivement hypoglycémiantes et hyperglycémiantes. Elles agissent sur les organes effecteurs.

Une mauvaise régulation de la glycémie entraîne des troubles graves. Les différents types de diabètes notamment sont des troubles d'hyperglycémies chroniques.