

La cellule chlorophyllienne et la photosynthèse

Lue Relue Apprise

Les cellules chlorophylliennes produisent de la matière organique à partir de matière minérale en utilisant l'énergie lumineuse : c'est la photosynthèse.

1 L'activité des cellules chlorophylliennes

A Les chloroplastes, siège de la photosynthèse

Les cellules chlorophylliennes se caractérisent par la présence de **chloroplastes**, les organites de la **photosynthèse**. Placés à la lumière, ils produisent de l'**amidon**.

Lexique

Amidon : macromolécule constituée par l'assemblage d'un grand nombre de molécules de glucose.

- Limités par une double membrane, les chloroplastes renferment de la chlorophylle dans des sortes de sacs, les **thylakoïdes**, eux-mêmes situés dans le **stroma**.
- La photosynthèse se manifeste par des échanges gazeux, **absorption de dioxyde de carbone et dégagement de dioxygène**.

B La chlorophylle et l'absorption de la lumière

Le **spectre d'absorption** de la chlorophylle montre que les radiations rouges (680 nm) et bleues (440 nm) sont les plus absorbées, contrairement aux radiations vertes.

Lexique

Spectre d'absorption : absorption de la lumière en fonction de la longueur d'onde.

Spectre d'action : variation de l'activité en fonction de la longueur d'onde.

- L'intensité de la photosynthèse est élevée en lumière rouge ou bleue, faible en lumière verte. Le **spectre d'action** de la photosynthèse se superpose au spectre d'absorption de la chlorophylle. Les radiations absorbées par la chlorophylle sont donc utilisées pour la photosynthèse.

2 Les réactions de la photosynthèse

A La phase photochimique

La photosynthèse se déroule en deux étapes. L'une est directement dépendante de la lumière : c'est la **phase photochimique**, réalisée dans les **thylakoïdes**.

La lumière captée par la chlorophylle permet le déroulement de réactions d'oxydoréduction :

- les molécules d'eau sont oxydées ;
- un oxydant nommé R, présent dans le stroma, est réduit ;
- le bilan de la réaction est : $2R + 2H_2O \rightarrow 2RH_2 + O_2$

La cellule chlorophyllienne et la photosynthèse

Le **dioxygène dégagé** au cours de la photosynthèse provient de l'oxydation de l'eau. Par ailleurs, l'énergie libérée au cours de ces réactions d'oxydoréduction permet la synthèse d'ATP (une molécule riche en énergie chimique). L'énergie lumineuse est ainsi **convertie en énergie chimique** (ATP et RH_2).

B La phase chimique et la réduction du CO_2

La phase chimique permettant la **synthèse de molécules organiques** à partir du CO_2 se déroule dans le **stroma**. Elle ne nécessite pas directement de lumière mais dépend des **produits de la phase photochimique** : RH_2 et ATP.

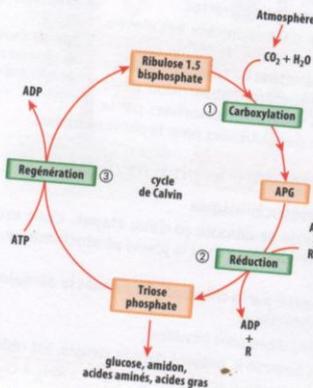
L'utilisation de CO_2 radioactif permet de suivre les étapes successives de la synthèse des molécules organiques. La **fixation du CO_2** sur un composé à **cinq carbones** (le ribulose biphosphate) aboutit à la formation de **deux molécules à trois carbones** (l'acide phosphoglycérique APG).

La **réduction de l'APG** nécessite les **produits de la phase photochimique** (RH_2 et ATP) et donne un composé à trois carbones (triose phosphate).

Les **trioses phosphates** seront utilisés pour la synthèse de glucose, de ribulose diphosphate et celle d'autres molécules organiques (acides gras).

L'ensemble de ces réactions constitue le **cycle de Calvin**.

Doc. Cycle de Calvin



L'ATP, production et utilisation par les cellules

Lue Relue Apprise

La respiration et la fermentation permettent aux cellules de récupérer l'énergie chimique des molécules organiques sous forme de molécules d'ATP.

1 La respiration

A Une dégradation du glucose en milieu aérobie

Placées en présence de dioxygène et de glucose, les cellules de levures **rejetent du dioxyde de carbone et absorbent le dioxygène**. Les échanges gazeux sont la manifestation de la **respiration**.

Au cours de la respiration, le **glucose consommé est entièrement dégradé** c'est-à-dire transformé en molécules minérales : H_2O et CO_2 . Cette dégradation **libère de l'énergie** permettant la multiplication des levures.

Contrairement aux levures placées en milieu anaérobie (absence de dioxygène), celles placées en aérobie présentent de nombreuses mitochondries : ce sont les **organites de la respiration**.

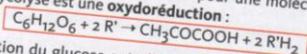
B La glycolyse, première étape de la dégradation du glucose

Les mitochondries, incapables d'utiliser directement le glucose, consomment du **pyruvate** en présence de dioxygène.

Le pyruvate provient de la transformation du glucose hors de la mitochondrie, dans le **cytoplasme** : c'est la **glycolyse**.

Au cours de la glycolyse, l'**oxydation d'une molécule de glucose** aboutit à la formation de deux molécules à trois carbones : l'acide pyruvique (pyruvate) $CH_3-CO-COOH$. L'oxydation du glucose est **couplée à la réduction d'un oxydant, R**, en $R'H_2$.

Deux molécules de $R'H_2$ sont formées pour une molécule de glucose oxydée. La glycolyse est une **oxydoréduction** :



La dégradation du glucose entraîne une libération d'énergie, utilisée pour la **synthèse de deux ATP** à partir de l'ADP.

C Les réactions mitochondriales

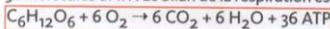
Dans la **matrice**, le pyruvate est **décarboxylé et oxydé** par des enzymes. Du dioxyde de carbone est libéré et, pour un glucose, dix molécules $R'H_2$ et deux molécules d'ATP sont formées.

Ces $R'H_2$ ainsi que ceux provenant de la glycolyse (douze au total) sont **oxydés au niveau de la membrane interne**. La réaction est **couplée** à la réduction de dioxygène en molécule d'eau.

L'ATP, production et utilisation par les cellules

Des **protons** ainsi que des **électrons** sont transférés par l'intermédiaire d'une série de **transporteurs** intégrés dans la **membrane interne mitochondriale**, depuis les $R'H_2$ jusqu'au dioxygène (accepteur final).

L'ensemble des réactions se déroulant dans la membrane interne conduit à la formation de 32 molécules d'ATP. Le bilan de la respiration est :



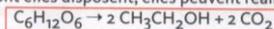
remarque

Dans la mitochondrie, la membrane interne se replie en crêtes mitochondriales et sépare deux compartiments, l'espace intermembranaire et la matrice.

Les 36 ATP correspondent à : 2 (glycolyse) + 2 (matrice) + 32 (membrane interne).

2 La fermentation

En **anaérobiose**, les cellules dégradent le glucose par la fermentation. Selon les enzymes dont elles disposent, elles peuvent réaliser la **fermentation alcoolique** :



ou la fermentation lactique avec formation d'acide lactique.

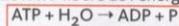
La fermentation est une dégradation incomplète du glucose. Elle libère moins d'énergie que la respiration.

Comme la respiration, la fermentation débute par la glycolyse, le glucose est oxydé pour donner du pyruvate (avec formation de 2 ATP par molécule de glucose). Les $R'H_2$ formés sont à leur tour réoxydés lors de la réduction du pyruvate (en éthanol ou en acide lactique).

Ainsi, la production d'ATP est limitée à la glycolyse (2 ATP pour un glucose), ce qui explique le faible rendement de la fermentation par rapport à la respiration.

3 L'utilisation de l'ATP par les cellules

L'**hydrolyse de l'ATP** libère de l'énergie (30 kJ), c'est une **réaction exoénergétique** :



Elle peut être **couplée** aux réactions de synthèse ou à la contraction musculaire, consommatrices d'énergie.

La fibre musculaire est constituée par la répétition d'**unités contractiles**, les **sarcomères**, qui se raccourcissent pendant la contraction musculaire.

À l'intérieur des sarcomères, des protéines contractiles, l'**actine** et la **myosine**, glissent les unes sur les autres, seulement en présence d'ATP.

L'hydrolyse de l'ATP permet la fixation de la tête de la myosine sur l'actine et son **pivotement**. Le mouvement provoque le **glissement de l'actine le long de la myosine** et le **raccourcissement du sarcomère**. Le muscle se contracte.

Atmosphère et climat

- Ces phénomènes s'auto-entretiennent et s'amplifient : on parle de **rétroaction positive**.

3 La mise en place d'une atmosphère oxydante

- Dans des gisements sédimentaires âgés de 3,4 Ga, la présence d'**uraninite** (un minéral d'uranium qui se dissout dans les eaux oxygénées) atteste de l'absence de dioxygène dans l'eau (et l'atmosphère) à cette époque. La Terre possédait alors une **atmosphère réductrice**.
- Des gisements de fer oxydé appelés **fer rubané**, datés de -4 à -2 Ma, témoignent d'une libération localisée de dioxygène à cette période. Mais le fer ne peut être transporté qu'à l'état réduit, dans des eaux non oxygénées, sinon il précipite sous forme oxydée. Il n'y a donc pas de dioxygène dans l'atmosphère (sinon les eaux douces auraient été oxygénées) mais il y en a dans l'océan (car du fer y était oxydé).
- À partir de 2 Ma, la disparition du fer rubané et la présence des sols oxydés montrent que **l'atmosphère est devenue oxydante**.

4 Des interactions atmosphère-biosphère

- Le dioxygène terrestre a été produit par l'**activité photosynthétique des êtres vivants**. Les plus vieux gisements de **fer rubané**, témoins du rejet de dioxygène, indiquent **l'apparition de la vie vers -4 Ga**.
- Des constructions calcaires, les **stromatolithes**, datées de 3,5 Ma, témoignent de l'activité de bactéries photosynthétiques, les **cyanobactéries**.
- Le dioxygène dégagé par l'activité photosynthétique est capté par le fer réduit qui s'oxyde alors ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$). Lorsque tous les gisements de fer sont oxydés, le dioxygène peut diffuser d'abord dans l'océan puis dans l'**atmosphère qui devient oxydante**.
- L'**activité photosynthétique consomme du dioxyde de carbone** qui, s'il n'est pas restitué, devient moins abondant dans l'atmosphère. L'effet de serre diminue et la température terrestre aussi.
- Lorsque la teneur en dioxygène est suffisante (vers -1,5 Ga), on constate une « explosion » de la vie : **premières cellules eucaryotes**, avec un **métabolisme respiratoire** (rendement énergétique supérieur à la fermentation).
- Puis vers -400 Ga, la formation d'une couche d'**ozone (O_3)** filtre les rayons ultraviolets et on assiste à la **conquête du milieu aérien** par un certain nombre d'animaux et de végétaux.

remarque

Les premiers êtres vivants, unicellulaires, se sont donc formés dans une hydrosphère dépourvue de dioxygène.

Les variations climatiques du passé

Lue Relue Apprise

L'étude des glaciers et des pollens fossiles permet de reconstituer les variations climatiques passées et d'en rechercher les causes.

1 La reconstitution des climats du passé

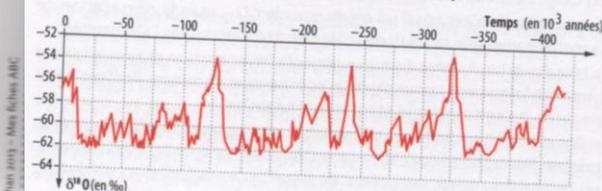
A Les apports de la glaciologie

- Les **calottes polaires**, formées par l'accumulation des précipitations neigeuses, sont accessibles par **forage ou carottage** et la succession de couches de glace d'une « carotte » peut être datée (800 000 ans pour les plus profondes en Antarctique).
- Les **bulles d'air fossiles** ainsi que les **molécules d'eau** constitutives de la glace informent sur la composition en gaz et en polluants de l'atmosphère au moment de la formation de la glace, tout comme sur la température et les conditions climatiques.
- Le rapport des quantités des deux isotopes stables de l'oxygène, ^{18}O « lourd » et ^{16}O « léger », nommé après correction « delta ^{18}O » ($\delta^{18}O$), est utilisé comme thermomètre isotopique. Il permet, à partir des molécules d'eau de la glace, de retrouver les variations de température passées.
- Le « $\delta^{18}O$ » de la glace est d'autant plus faible que la température était basse.

attention

Pendant une période glaciaire, la surface de la Terre n'est pas recouverte de glaciers. Ceux-ci s'étendent un peu plus vers les basses latitudes.

Doc. Les variations du $\delta^{18}O$ de la glace en Antarctique



Les variations climatiques du passé

B Les apports de l'étude des pollens

- Chaque espèce végétale a des préférences écologiques, notamment thermiques. La succession des espèces au cours du temps, établie par l'étude des pollens fossiles, permet de reconstituer des variations climatiques.
- Un **diagramme pollinique** représente l'abondance relative de différentes espèces au cours du temps. Le remplacement des arbres par des **herbacées** témoigne d'un **refroidissement**, et l'inverse, d'un **réchauffement**.

2 Les facteurs des variations climatiques

A L'effet de serre

- L'**albédo** est le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente. Il est plus élevé sur une surface claire.
- Une partie du rayonnement solaire est absorbée par la Terre, puis réémise sous forme de rayons infrarouges riches en énergie thermique.
- Des **gaz atmosphériques** comme le CO_2 piègent les infrarouges. C'est l'**effet de serre**, qui élève la température terrestre de $33^\circ C$ en moyenne.
- Le **bilan radiatif** est la différence entre l'énergie reçue par la Terre et l'énergie réémise (rayonnement solaire réfléchi + rayonnement terrestre infrarouge). Sur une durée de quelques années, ce bilan est nul.

B Une intensification de l'effet de serre

- Depuis un siècle environ, l'augmentation du **taux de CO_2 atmosphérique**, sans doute liée aux **activités humaines** (combustion de l'énergie fossile...), a entraîné une intensification de l'effet de serre et une augmentation de la température d'environ $0,5^\circ C$.
- L'**océan piège le CO_2** : il en absorbe une partie, mais lorsque la température augmente, la **solubilité du gaz** diminue. Le CO_2 s'accumule alors dans l'atmosphère et la température s'élève, ce qui diminue encore la solubilité du CO_2 : c'est une **rétroaction positive**.
- La **végétation est aussi un piège pour le CO_2** , mais la dégradation de la matière végétale ou sa combustion en restituent dans l'atmosphère.
- Une élévation de température augmente l'**évaporation** et ainsi la **teneur atmosphérique en vapeur d'eau**, avec formation de nuages limitant l'effet de serre. Il s'agit alors une **rétroaction négative**.
- D'autres facteurs influencent le climat, comme les **paramètres astronomiques** (excentricité de l'ellipse terrestre, inclinaison de l'axe de rotation...) ou l'activité du soleil, qui varient de façon cyclique. L'interaction de tous ces facteurs rend difficile la réalisation de modèles de prévision.

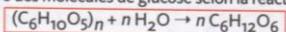
Les enzymes et les glucides alimentaires

Lue Relue Apprise

Après la digestion des aliments, le glucose, principale source d'énergie pour les cellules, leur est délivré par le sang.

1 Les enzymes, des catalyseurs biologiques

Les molécules complexes constitutives des aliments sont **digérées par des enzymes** du tube digestif. Ainsi, l'amidon, une macromolécule constituée d'un enchaînement de molécules de glucose, est découpé en de nombreuses molécules simples au cours d'une réaction chimique, l'**hydrolyse**, qui libère des molécules de glucose selon la réaction :



Lexique

Enzyme : protéine qui augmente la vitesse d'une réaction biologique.

Hydrolyse : coupure d'une molécule sous l'action de l'eau.

Une enzyme, l'**amylase**, catalyse l'hydrolyse de l'**amidon** : elle favorise et accélère le déroulement de la réaction en abaissant l'énergie nécessaire à son déroulement.

Une enzyme est **spécifique** : elle n'agit que sur un substrat, pour un seul type de réaction.

La **température** influe sur l'**activité enzymatique**. Celle-ci est maximale autour de 40 °C. Les basses températures inactivent de façon réversible les enzymes, tandis que les hautes températures les détruisent.

Le **pH** conditionne également l'activité des enzymes. Certaines ont une activité maximale à pH acide, d'autres à pH basique.

Les **enzymes sont des catalyseurs biologiques** : elles n'agissent que dans des conditions compatibles avec la vie. Actives à faible dose, elles se retrouvent intactes à la fin de la réaction.

elles se retrouvent intactes à la fin de la réaction.

2 Le mode d'action des enzymes

La **vitesse d'une réaction enzymatique** se mesure par la quantité de produit formé ou celle de substrat consommé au cours du temps.

Elle augmente avec la quantité d'enzyme comme avec celle de substrat jusqu'à une certaine limite. Au-delà, elle tend à devenir constante, l'enzyme est alors saturée. Cette saturation suggère la formation d'un **complexe entre l'enzyme et le substrat**. Après la formation du produit, l'enzyme est libérée et peut à nouveau agir sur une nouvelle molécule de substrat. Ce complexe enzyme-substrat, réversible, explique que l'enzyme agisse à dose réduite et se retrouve intacte en fin de réaction.

attention

La réaction catalysée par l'amylase donne d'abord du maltose, association de deux molécules de glucose, qui est lui-même hydrolysé par une autre enzyme (la maltase) pour former du glucose.

La régulation de la glycémie

Lue Relue Apprise

La glycémie (concentration de glucose dans le sang) est maintenue constante grâce à une régulation hormonale. Ainsi, les cellules sont correctement approvisionnées.

1 Les variations de glycémie corrigées

La **glycémie** conserve une valeur constante, comprise entre 0,8 et 1 g·L⁻¹ de glucose dans le sang, malgré des apports irréguliers (repas) ou des périodes de consommation élevée (activité physique).

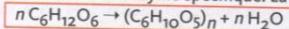
Après l'ingestion d'une forte quantité de glucose (test d'hyperglycémie provoquée), la glycémie retrouve sa valeur normale.

Ces résultats montrent que la **glycémie est régulée**.

2 Des organes effecteurs

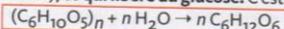
Quand la **glycémie s'élève** (hyperglycémie), le foie et les muscles stockent le glucose sous forme de **glycogène**, une macromolécule de formule (C₆H₁₀O₅)_n. Ce sont des **organes effecteurs**.

La **synthèse de glycogène** (glycogénogenèse) dépend de l'activité d'une enzyme spécifique. La réaction s'écrit :



Le foie reçoit directement par la veine porte hépatique le glucose provenant de l'intestin. Cette position stratégique favorise le stockage. Les **cellules adipeuses**, dotées d'enzymes différentes, mettent en réserve le glucose sous forme de graisse (triglycérides).

Quand la **glycémie baisse** (hypoglycémie), le **glycogène est hydrolysé** (dans le foie et le muscle), ce qui libère du glucose. C'est la **glycogénolyse** :



Seul l'**équipement enzymatique du foie** permet de délivrer le glucose dans la circulation sanguine. La glycémie tend alors à retrouver une valeur normale.

Dans les **cellules musculaires**, le glucose est utilisé sur place mais ne participe pas à la régulation de la glycémie.

L'**hydrolyse des graisses** dans les cellules adipeuses libère du glycérol. En cas d'hypoglycémie prolongée, il est transformé, avec d'autres, en glucose par le foie. C'est la **néoglucogenèse**.

Lexique

Organes effecteurs : organes qui, dans le cas de la régulation de glycémie, stockent ou libèrent le glucose.

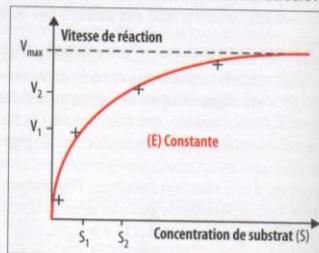
Lexique

Cellule adipeuse : cellule qui stocke les graisses.

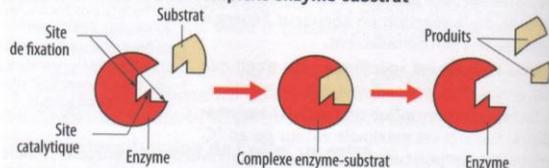
Les enzymes et les glucides alimentaires

Le substrat se lie à un **site de fixation** de l'enzyme et interagit avec une autre région, le **site catalytique**. Site de fixation et site catalytique constituent le **site actif** de l'enzyme.

Doc. Influence de la concentration de substrat sur la vitesse d'une réaction



Doc. La formation d'un complexe enzyme-substrat



3 Les enzymes, des protéines

Les **enzymes sont des protéines**. Leur structure tridimensionnelle dépend de leur séquence en acides aminés, codée par le génome.

En plus des liaisons covalentes entre acides aminés successifs, des **liaisons hydrogène** ou **liaisons faibles** s'établissent entre acides aminés pourtant éloignés dans la chaîne. En effet, lorsque l'enzyme se retrouve dans un milieu riche en eau comme celui d'une cellule, la **chaîne d'acides aminés** prend une forme en 3D : certains acides aminés dits « hydrophobes » (qui « n'aiment pas » l'eau), sont attirés vers le centre, d'autres dits « hydrophiles » (qui « aiment » l'eau), restent en surface.

En déterminant la forme en 3D de l'enzyme, ces acides aminés sont responsables de la **spécificité enzymatique**.

À haute température, l'enzyme perd sa forme en 3D car les liaisons faibles sont détruites. Elles se rigidifient à basse température, ce qui déforme le site de fixation et empêche la formation du complexe enzyme-substrat.

La régulation de la glycémie

3 Un contrôle hormonal des effecteurs

L'ablation du pancréas provoque une hausse de la glycémie. Celle-ci retrouve sa valeur de référence en cas d'injection d'extraits pancréatiques. Le **pancréas régule la glycémie par l'intermédiaire d'hormones**.

Dans le pancréas, les **cellules β des îlots de Langerhans** sécrètent de l'**insuline**, une hormone hypoglycémisante.

Produite lorsque la glycémie s'élève, l'**insuline stimule l'entrée du glucose dans les cellules** des organes effecteurs où elle active la **synthèse de glycogène** (muscle, foie) ou de graisses (cellules adipeuses). En conséquence, la **glycémie baisse**.

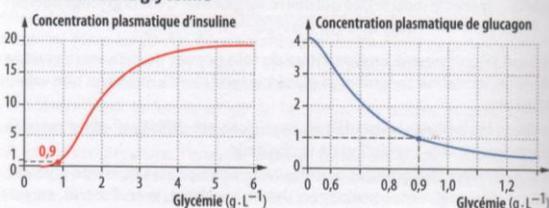
L'insuline se fixe sur les **récepteurs membranaires** des cellules cibles. L'intensité de la réaction dépend de la quantité d'hormone fixée.

Les **cellules α des îlots de Langerhans** sécrètent du **glucagon**, une hormone hyperglycémisante. Le glucagon agit seulement sur les cellules hépatiques. Il stimule l'hydrolyse du glycogène et la synthèse de glucose à partir de molécules non glucidiques. En conséquence, la **glycémie s'élève**.

Insuline et glucagon modifient l'activité de leurs cellules-cibles par l'intermédiaire des **enzymes**. L'insuline active celles de la synthèse du glucose tandis que le glucagon active celles de l'hydrolyse du glycogène et de la néoglucogenèse.

Des **capteurs** dans le pancréas mesurent en permanence la glycémie et modifient la sécrétion des hormones afin que les effecteurs maintiennent la glycémie autour d'une **valeur de consigne**.

Doc. Concentration plasmatique d'insuline et de glucagon en fonction de la glycémie



Lexique

Hormone : messager chimique, transporté par le sang, agissant sur des cellules cibles munies de récepteurs spécifiques.

Îlots de Langerhans : ensemble de cellules regroupées dans le pancréas et sécrétant des hormones.

Les diabètes

Lue Relue Apprise

Le diabète est un état d'hyperglycémie chronique dû à des dysfonctionnements de la régulation de la glycémie

1 Le diabète de type 1

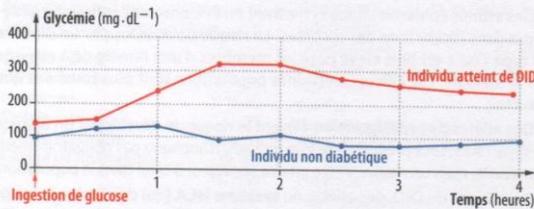
Le diabète se caractérise par une **hyperglycémie chronique** (glycémie supérieure à $1,26 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ à jeun), à l'origine de lésions vasculaires graves. On distingue le **diabète de type 1** et le **diabète de type 2**.

- Le diabète de **type 1** survient généralement chez des **individus jeunes** et s'accompagne de signes tels que : soit intense, amaigrissement, urines abondantes.
- L'hyperglycémie résulte dans ce cas d'une **diminution, voire de l'arrêt de la production d'insuline**. C'est un diabète **insulino-dépendant (DID)**.
- Il est soigné par des injections régulières d'insuline afin de compenser la déficience du pancréas.

Lexique

Hyperglycémie chronique : élévation anormale de la glycémie sur le long terme.

Doc. Test d'hyperglycémie provoquée chez un individu diabétique (DID) ou non



Le **DID est une maladie auto-immune** : le système immunitaire s'attaque aux cellules de l'organisme. Des anticorps et des lymphocytes T se fixent sur les cellules β des îlots de Langerhans et les détruisent.

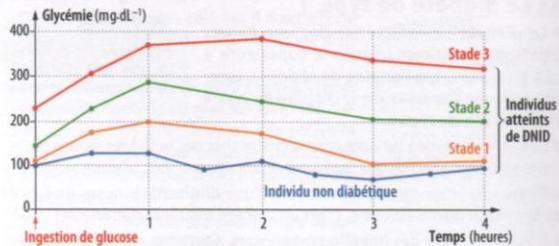
2 Le diabète de type 2

- Le diabète de **type 2** survient chez l'**adulte**, le plus souvent en **surpoids**.
- Dans les premiers stades de la maladie, la **sécrétion d'insuline est normale** ou même plus élevée que chez les non diabétiques. C'est un **diabète non insulino-dépendant (DNID)**.
- Au cours de l'évolution de la maladie, la sécrétion d'insuline devient insuffisante et nécessite des injections, comme dans le cas du DID.

Les diabètes

- Le DNID s'explique par une **insensibilité des cellules cibles** à l'insuline. Elles sont devenues **insulino-résistantes**.

Doc. Test d'hyperglycémie provoquée chez un individu diabétique (DNID) ou non



3 Les facteurs à l'origine du diabète

A Une prédisposition génétique

- Des études épidémiologiques mettent en évidence une **influence génétique** dans l'apparition des diabètes. Le **risque de développer un diabète** de type 1 ou 2 est plus élevé pour les membres d'une famille déjà atteinte par la maladie. Par ailleurs, certaines populations sont plus touchées que d'autres.
- Des allèles de prédisposition** élèvent le risque de développer un diabète de type 1 ou 2. Leur présence chez un individu n'implique pas obligatoirement la maladie, mais un **risque d'être atteint supérieur** à celui dans la population.
- Dans le cas du DID, des allèles du **système HLA** (qui détermine les marqueurs responsables de l'identité cellulaires) codent pour des marqueurs reconnus comme étranger et détruits par le système immunitaire.

B L'importance des facteurs du milieu

- En quelques générations, des populations migrantes (comme les indiens Pimas), en modifiant leur mode de vie et en particulier leur alimentation, sont devenues plus sensibles au diabète de type 2.
- Une alimentation déséquilibrée et une sédentarisation excessive** favorisent l'obésité, qui entraîne souvent le diabète de type 2.
- Pour le diabète de type 1, **des infections virales** seraient responsables de l'activité anormale du système immunitaire, dirigées contre les cellules des îlots de Langerhans.