

Vensim PLE

Outil de simulation (modèle à construire)

Une étude de la régulation de la glycémie

1. Créer un modèle de régulation de la glycémie

- [1.1. Créer un stock d'insuline](#)
- [1.2. Créer un flux de sortie d'insuline](#)
- [1.3. Flux d'entrée d'insuline](#)
- [1.4. Insérer un graphe et un curseur](#)
- [1.5. Le stock de glucose](#)
- [1.6. Les flux de glucose](#)
- [1.7. L'arrivée du glucose](#)
- [1.8. Le départ du glucose](#)
- [1.9. Influence de la glycémie sur l'arrivée d'insuline](#)

2. Test et amélioration du modèle

- [2.1. Premier test du modèle](#)
- [2.2. Recherche de valeurs numériques pour ajuster le modèle](#)

3. Modifier le modèle initial : Test d'hyperglycémie provoquée

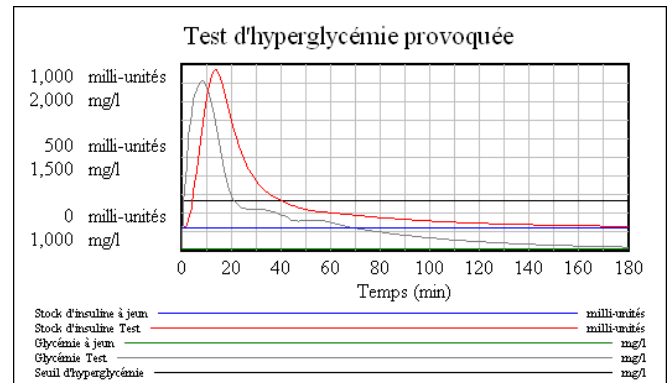
- [3.1. Créer une nouvelle page](#)
- [3.2. Ajouter un apport de glucose](#)

4. Modifier le modèle initial : Diabète

5. L'interface utilisateur

Source : [Tutoriel sous Stella](#)
réalisé par [J-L CORDONNIER](#)

Traduction pour Vensim : J-M PLAIS



1. Créer un modèle de régulation de la glycémie.

L'objectif de ce didacticiel est de permettre de construire un modèle utilisable par les élèves, pour expliquer ce qu'est une rétroaction hormonale.


Le but premier est de construire une modélisation des interactions entre la glycémie et l'insulinémie. L'objectif de la modélisation est la réalisation d'une expérimentation proche de la réalité, tout en occultant à l'élève (au moins dans un premier temps) tous les détails inutiles pour lui permettre de se concentrer sur le phénomène important.

Le second but de ce chapitre, puisque c'est un didacticiel, est de permettre au lecteur de se familiariser avec les possibilités de Vensim.

1.1. Créer un stock d'insuline

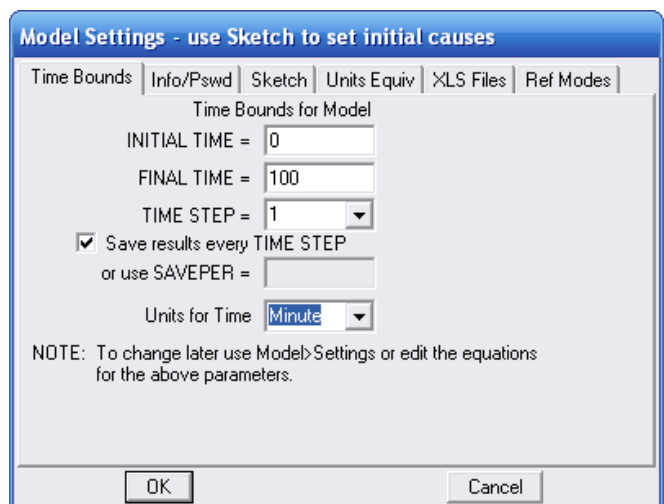
Un stock, ou un réservoir est un "récipient" qui contient quelque chose : cela sera ici le sang qui contient du glucose, mais dans d'autres modèles cela sera une quantité d'énergie (en Joules), un nombre de campagnols, et dans d'autres disciplines, cela pourrait être une somme d'argent (en francs), une charge électrique...

1 Lancer Vensim PLE.


Créer un nouveau modèle (icone  ou menu **File / New model**).


Dans la fenêtre qui s'ouvre, paramétrer pour un temps de 0 à 100 minutes avec un pas de 1 minute.

Il sera possible de modifier ces valeurs ultérieurement par le menu **Model / Settings**.



2 Créer un stock d'insuline

Sélectionner l'icône  puis cliquer sur la page et taper le nom voulu (Nommons-le Insuline)

En cliquant sur l'icône , le stock d'insuline se colore en noir : il requiert une valeur initiale.

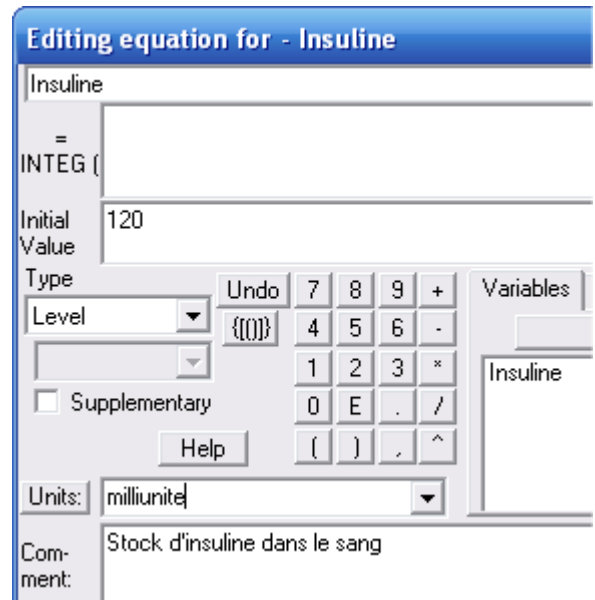
Pour la valeur initiale, le précis de physiologie de Hermann et Cier, Masson 1976 indique que l'insulinémie normale chez l'homme à jeun se situe vers 20 micro-unités d'insuline par ml de plasma. Soit 120 milliunités pour 6 litres de sang. Pour l'instant, nous allons négliger l'influence des hormones hyperglycémiantes, glucagon et adrénaline ; leur influence est moindre et nous verrons qu'on obtient une première approximation intéressante en s'en passant.

3 Un clic sur le stock nous ouvre une boîte de dialogue (ci-contre).

4 Il faut indiquer la valeur initiale de l'insuline (120). Saisir l'unité (milliunité). Elle sera mémorisée.

5 Dans la zone "**Comment**", on peut écrire des commentaires. Ceci est particulièrement important lorsque l'on donne des noms courts, ou des abréviations, pour les variables.


6. Penser à sauvegarder régulièrement le modèle !



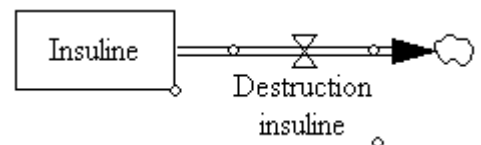
1.2. Créer un flux de sortie d'insuline

Un stock peut être rempli ou vidé par des tuyaux : les campagnols naissent et meurent, l'argent se gagne et se dépense, le glucose arrive par la nutrition et disparaît dans le métabolisme respiratoire ou dans des synthèses biochimiques.

7 Nous allons d'abord créer un flux qui dégrade l'insuline.

Pour cela, il faut choisir l'icône . Cliquer dans le stock d'insuline (c'est le bout de la flèche qui compte), relâcher le bouton, puis cliquer à droite en dehors du stock. On trace ainsi un flux ayant son origine à partir du réservoir d'insuline.

Donnons-lui le nom "Destruction de l'insuline".



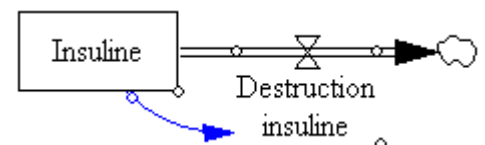
On remarque que le flux se termine par une sorte de petit nuage montrant sa disparition du système.


Pour effacer une construction erronée, sélectionner l'icône  puis cliquer sur l'objet à supprimer.

8 Ce flux requiert une équation pour la disparition de l'insuline. Comment disparaît donc cette molécule ?

Comme de nombreux métabolites, elle disparaît dans une réaction chimique dont la vitesse ne dépend que de la quantité de départ, comme dans le cas de la désintégration des isotopes radioactifs. En d'autres termes, le produit a une durée de demi-vie au terme de laquelle la moitié du produit a disparu ; une durée supplémentaire conduit à une "survie" d'un quart du stock de départ, etc. Autrement dit, la vitesse à laquelle le stock d'insuline se vide n'est pas fixe mais dépend de la quantité.

Pour indiquer cela, nous allons mettre un connecteur entre le stock d'insuline et son flux de sortie.




Ce connecteur se fait avec l'icône . Comme pour les flux, un clic au départ, relâcher le bouton, un clic à l'arrivée.


9 Le manuel de Physiologie de Samson Wright indique qu'après une injection d'insuline, la quantité rémanente au bout de 20 minutes n'est plus que de 10 % de l'injectat. On en tire que la durée de demi-vie est d'environ 6 minutes¹. D'autres sources donnent des valeurs légèrement différentes. Prenons 6 minutes pour l'instant en sachant que nous

¹ L'équation est $A = A_0 \cdot 2^{-t/T}$ où A est la quantité au temps t, A_0 la quantité de départ et T le période de demi-vie.

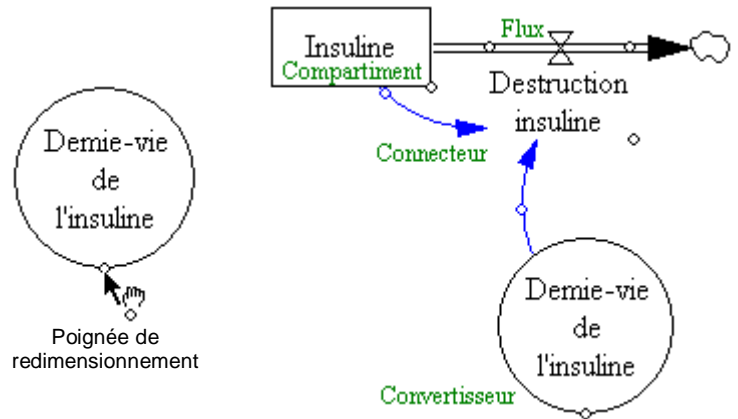
Il en résulte que $A/A_0 = 2^{-t/T}$; en prenant le logarithme décimal de chaque côté, on a $\log(A/A_0) = -t/T \log(2)$, où $A/A_0 = 0.1$ et $t = 20$ minutes. Donc $T = 20 \times \log(2) = 20 \times 0.30103 = 6$ minutes.

pourrons revenir sur cette valeur, pour examiner si elle représente un paramètre sensible du modèle. Cette durée de demi-vie sera mise en mémoire dans un convertisseur (contenant une variable auxiliaire).

L'icône  permet d'insérer le convertisseur. Disposons-le à proximité de la vanne de destruction de l'insuline et nommons-le "Demi-vie de l'insuline" (ou un autre nom, si on le souhaite).


L'icône  puis un clic droit sur le convertisseur donne accès à une fenêtre de formatage du convertisseur :

- Donnons-lui une forme ronde (**Shape / Circle**) afin de ne pas confondre avec un stock.
- Redimensionner le cercle (ou modifier la police) pour le rendre lisible à l'écran.
- Le bouton **Equation** permet d'indiquer sa valeur (6) et l'unité (Minute).



L'icône  permet de relier le convertisseur à la vanne par un connecteur.

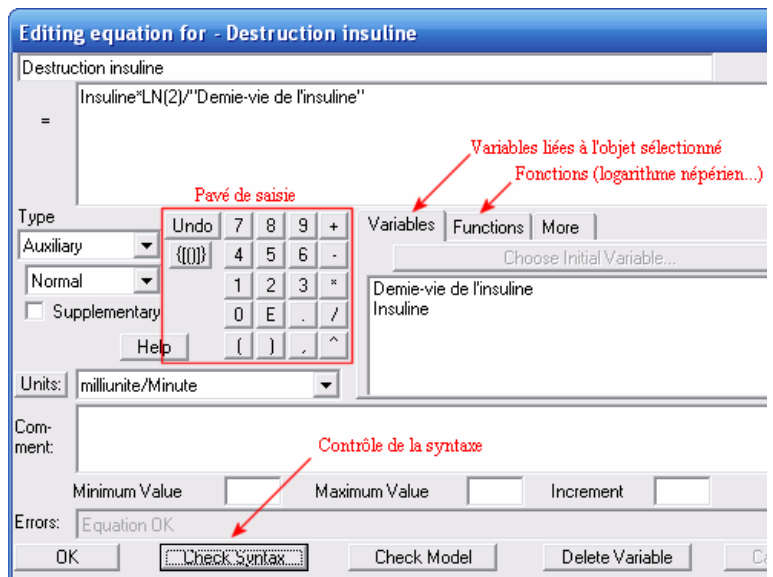
10 Chaque minute, il disparaît une quantité égale à la quantité du stock multipliée par $\text{LN}(2)/T$ (logarithme népérien).

Après avoir sélectionné l'icône , un clic droit sur la vanne du flux de destruction de l'insuline donne accès à la fenêtre de formatage et à l'équation.

L'icône  donne directement accès à l'équation.

On dispose :

- des deux variables liées au flux de destruction de l'insuline
- d'un ensemble de fonctions, dont la fonction LN (logarithme népérien)
- d'un pavé numérique (chiffres, opérateurs, parenthèses...)
- d'un analyseur de syntaxe



Un clic sur une des variables l'inscrit dans le cadre de formule évitant une frappe trop fastidieuse, surtout si l'on a choisi des noms assez longs.

Le pavé numérique permet de rentrer les nombres et les opérateurs (* pour multiplier et ^ pour l'exponentielle). L'onglet **Functions** permet de se servir de fonctions mathématiques toutes prêtes, ici LN (logarithme népérien). On peut également les taper au clavier si on préfère.

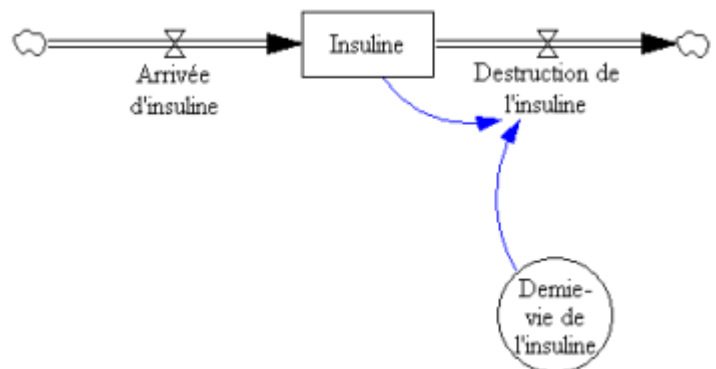
1.3. Le flux d'entrée d'insuline


11 De la même façon que pour le flux de sortie de l'insuline, traçons un flux d'entrée pour l'insuline.

Quelle valeur devons-nous indiquer pour ce flux ? Bien sûr l'arrivée d'insuline n'est pas constante et dépend de la glycémie ; mais quelle doit être sa valeur à l'équilibre ?

Le stock est de 120 milli-unités, la demi-vie de 6 minutes. L'ordre de grandeur du flux entrant doit être vers 15 milli-unités par minute. Retenons 15 comme valeur temporaire d'entrée du flux.

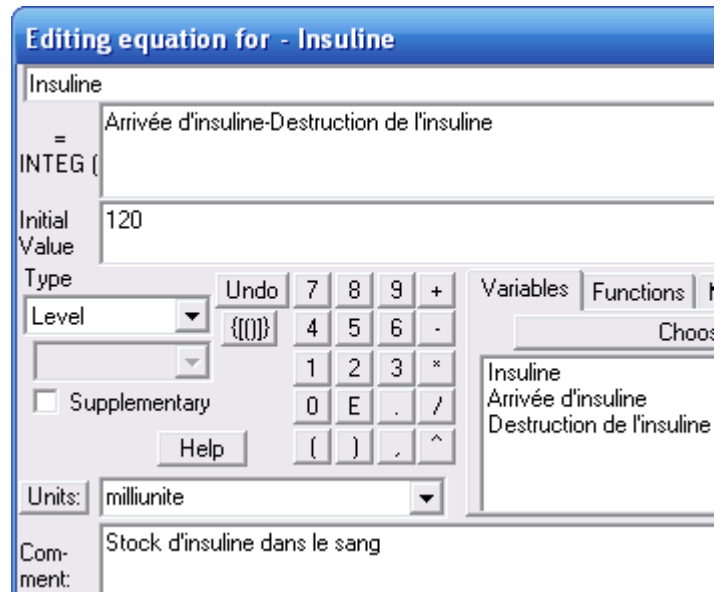
Nom du flux = Arrivée d'insuline
 Valeur = 15
 Unité = milliunite/Minute



12 Un clic sur l'icone  colore en noir le stock d'insuline. Ouvrons la fenêtre d'équation.



Nous avons saisi la valeur initiale (120 milliunite) mais pas la formule de calcul du stock en fonction du temps. Elle est égale à la différence entre les flux d'entrée et de sortie.

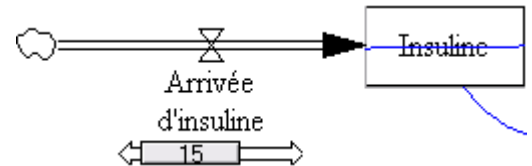
Saisir la formule, tester la syntaxe puis valider.



1.4. Insérer un graphe et un curseur


À ce stade, notre modèle est loin d'être terminé, mais nous pouvons déjà voir comment il se comporte. Utilisons-le pour déterminer une valeur d'arrivée d'insuline permettant de maintenir constant le stock.

13 Il est possible de lancer une simulation en cliquant sur l'icone . Un "mini-graphe" s'incrute sur le stock d'insuline (légèrement croissant). On peut tenter un ajustement à l'aide du curseur "Arrivée d'insuline", mais ce n'est pas très pratique. Arrêter la simulation en cliquant sur .



Nous allons insérer dans notre page un grand graphe et un grand curseur.

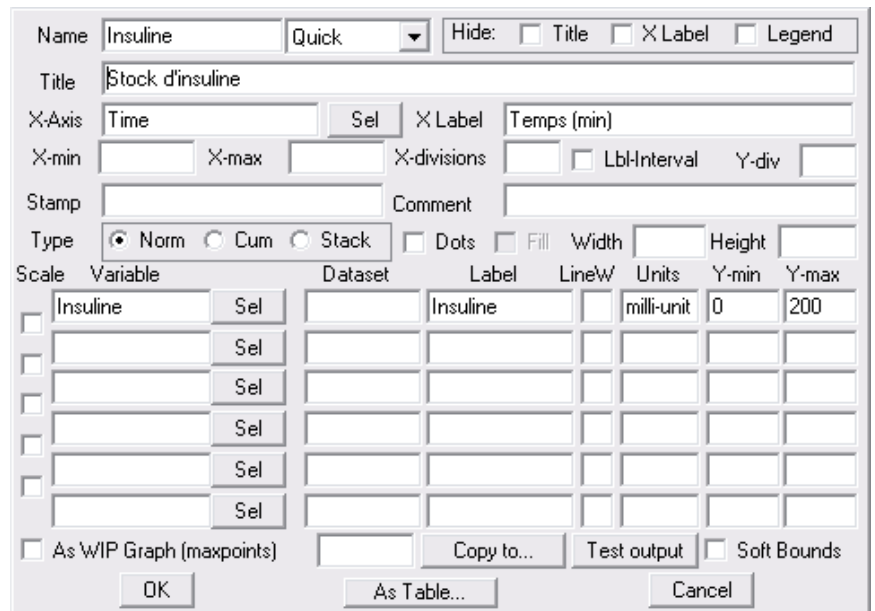
14 Il faut créer le graphe avant de l'insérer dans la page.

Ouvrir le panneau de contrôle (icone ) , Onglet **Graphs**, Bouton **New...**

On souhaite créer un graphe de l'évolution de la quantité d'insuline dans le sang en fonction du temps.

Les boutons **Sel** permettent de sélectionner une variable dans une liste. les autres données doivent être saisies.

La quantité initiale d'insuline étant de 120 milli-unités, on peut fixer les valeurs Y-min et Y-max à 0 et 200.






15 Pour insérer un objet dans la page : icone  puis clic à l'emplacement souhaité :

Graphique Bouton radio "**Output Custom Graph**", puis sélection du graphe dans la liste déroulante.

Curseur Bouton radio "**Input Slider**", Bouton "**Constant...**", sélection de "Arrivée d'insuline" puis intervalle de (**Ranging from**) 0 à 20 avec un pas (**increment**) de 0.1

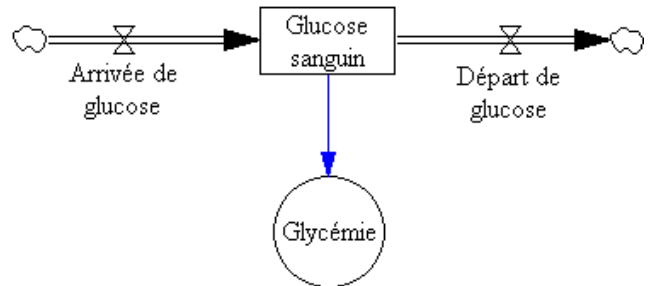
16 Lancer une simulation :

1. Vérifier que l'équation de dégradation de l'insuline est correcte : avec un apport d'insuline = 0, la quantité d'insuline dans le sang doit diminuer de moitié (de 120 à 60 milli-unités) en 6 minutes environ.
2. Rechercher l'apport en insuline qui maintient un taux sanguin constant.
Partir des conditions initiales (icone , 15 milli-unités/Minute). La courbe monte et se stabilise vers 130 milli-unités, soit un peu trop. Pour connaître la valeur exacte du flux d'entrée, il faut procéder par tâtonnement. La simulation doit donner un apport de 13.9 milli-unités/Minute, le calcul précis donnant 13.863.
On peut éventuellement modifier les caractéristiques du graphe (icone , onglet **Graphs**, sélection de "Insuline" puis **Modify...**) en fixant Y-min à 13 et Y-max à 16, puis l'intervalle du curseur et le pas...
3. Arrêter la simulation 

Corriger le flux d'arrivée d'insuline (13.863 au lieu de 15 milli-unités / Minute).

1.5. Le stock de glucose

17 Pour le glucose, nous n'avons accès pour l'instant qu'au glucose total de l'organisme. En ajoutant un convertisseur nommé glycémie, un connecteur allant du stock de glucose à glycémie et la formule glycémie = glucose sanguin/6 {six litres de sang}, nous pouvons avoir accès à un paramètre physiologique plus courant.



1.6. Les flux de glucose

18 Traçons les deux flux manquants pour le glucose:

- Un flux arrivée de glucose
- Un flux départ de glucose

Il faut maintenant réfléchir au rapport entre ce modèle et les phénomènes physiologiques réels.

1.7. L'arrivée du glucose

L'arrivée de glucose dans le sang a deux causes :

1. L'arrivée de glucose d'origine alimentaire, produit de la digestion.
2. Le déstockage du glycogène hépatique (et la fabrication de glucose à partir des lipides).

Pour l'instant, une simplification du modèle conduit à considérer un sujet en période de jeûne. Dans le modèle, le glucose provient d'un petit nuage, c'est à dire d'une source non précisée et par conséquent infinie. Le modèle fonctionnera peut-être correctement à court terme, mais sera pris en défaut sur un jeûne long puisque jamais les réserves de glycogène ou de graisse ne seront épuisées. Au besoin, une correction interviendra plus tardivement.

Tout d'abord la glycogénolyse se produit sous l'influence d'une enzyme présente dans le foie, la phosphorylase. Son action est indépendante de la présence d'insuline comme le montre l'expérience du foie lavé de Claude Bernard. Par ailleurs, cette enzyme existe sous deux formes, la forme inactive étant transformée en forme active par une phosphorylase-phosphatase dont la concentration est d'autant plus importante que la glycémie est basse.

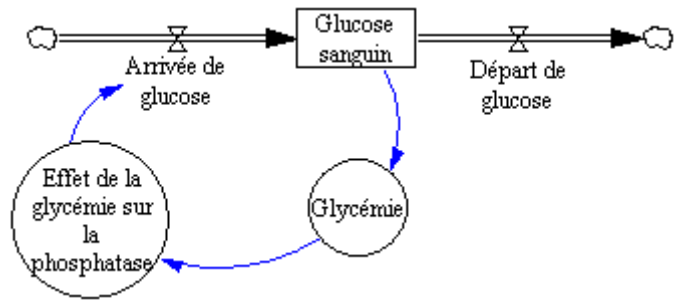
Quelle équation mettre maintenant dans la vanne d'entrée du flux de glucose ?


Il est possible, sans savoir quelles sont les valeurs exactes, d'avoir une idée du fonctionnement :

- Supposons que le métabolisme de base se maintienne à une valeur correspondant à la consommation de 720 grammes de glucose par jour, c'est à dire à 500 mg par minute puisque la journée compte 1440 minutes. Cette valeur correspond à l'ordre de grandeur de la libération de glucose par le foie lorsque la glycémie est voisine de 1 gramme/litre (ou 0,5 mM.L-1).
- Si la glycémie est plus basse, disons 0,6 grammes par litre, la libération du glucose est plus importante. Supposons qu'elle soit de 1000 mg par minute.
- Inversement, une glycémie élevée, après un repas par exemple, amène sans doute à un arrêt de la libération de glucose (la difficulté est que l'on n'a accès en général qu'au bilan, c'est-à-dire la différence entre le stockage et le déstockage). Imaginons qu'au-delà de 1.3 grammes, il n'y ait plus aucun apport extérieur de glucose.

19 Si l'on met un connecteur qui va directement du glucose sanguin vers l'arrivée de glucose provenant des stocks de l'organisme, il va être très difficile de rendre compte de cet effet qui n'est pas linéaire.

Nous allons donc utiliser un convertisseur qui va effectuer précisément la fonction que son nom indique : convertir. On crée donc ce convertisseur que l'on intitule "Effet de la glycémie sur la phosphatase". Ce convertisseur prend comme entrée la glycémie et sort une valeur qui agit sur l'arrivée de glucose. On place donc les connecteurs nécessaires.

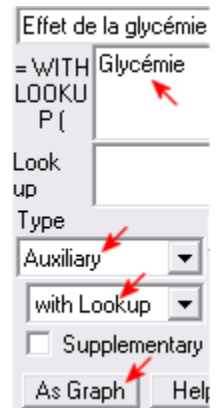


20 Ouvrir la fenêtre d'équation du convertisseur "Effet de la glycémie sur la phosphatase" (icone , puis clic sur le convertisseur).

Saisir "Glycémie" (en cliquant sur la variable) puis sélectionner le Type "Auxiliary with Lookup" et le bouton "As Graph"

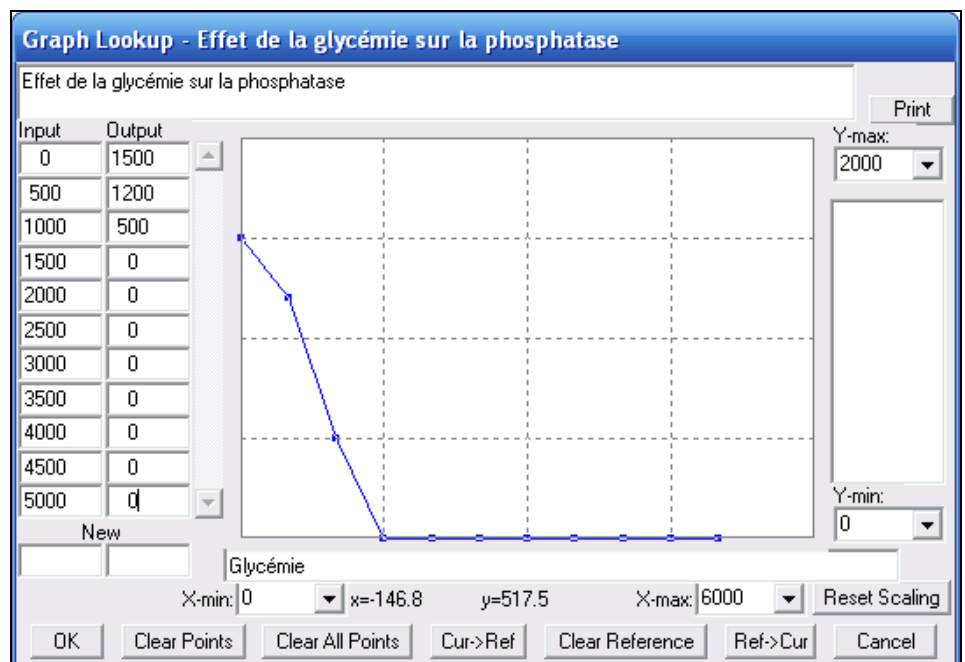
Dans ce cas, les valeurs renvoyées sont prises dans un tableau / graphe (que nous allons saisir) qui réalise la conversion :

Glycémie (en mg / l de sang) → Glucose relâché par le foie (en mg / minute)
 Input → Output



21 Nous sommes maintenant devant un quadrillage qui nous permet de rentrer des points décrivant la courbe représentative de l'effet de la glycémie en abscisse. En ordonnées le nom de notre convertisseur "Effet de ..."; ce sera la valeur de sortie, en milligramme de glucose relâché par minute du foie vers le sang.

On peut insérer les valeurs par des clics de souris dans l'aire du graphique ou en tapant les nombres dans le tableau ; et placer les valeurs extrêmes des abscisses et des ordonnées dans les cases prévues.



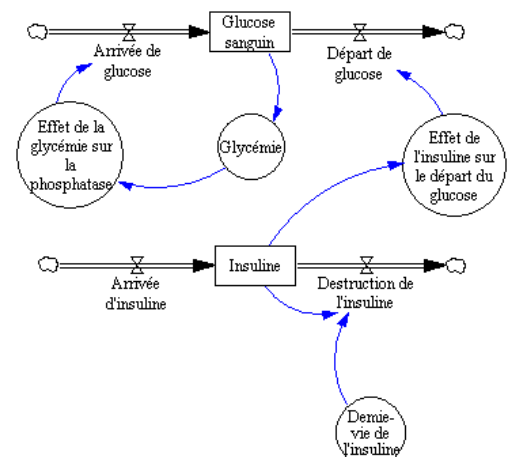
22 Il ne reste plus qu'à saisir la valeur du flux d'arrivée du glucose (= Effet de la glycémie sur la phosphatase) et l'unité (mg/Minute).


1.8. Le départ du glucose

23 Ce flux dépend de la concentration d'insuline, seule hormone hypoglycémisante.

À jeun, nous avons vu que l'arrivée du glucose est des 500 mg par minute. Fixons donc une sortie équivalente lorsque l'insuline est à son niveau de jeûne : 120 mU. Les courbes d'hyperglycémie provoquées montrent que pour une glycémie élevée, on peut avoir une insulinémie jusqu'à 5 à 10 fois plus élevée que celle du sujet à jeun.

Tracer un connecteur du stock d'insuline à un convertisseur "effet de l'insuline sur le départ de glucose" lui même à connecter sur la vanne du départ du glucose,

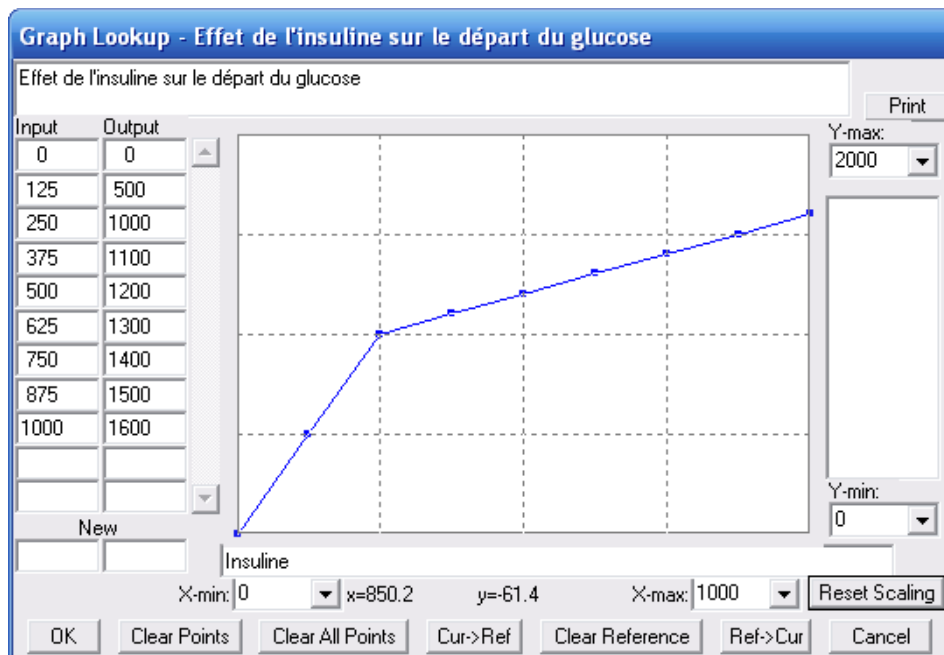


24 Ouvrir la fenêtre d'équation du convertisseur "Effet de l'insuline sur le départ du glucose" (icone , puis clic sur le convertisseur).

Saisir "Insuline" (en cliquant sur la variable) puis sélectionner le Type "Auxiliary with Lookup" et le bouton "As Graph"

Introduire les paramètres dans le convertisseur, en y mettant pour l'instant des valeurs approximatives.

25 Ouvrir l'équation du flux "Départ du glucose" pour lui affecter "Effet de l'insuline sur le départ de glucose"




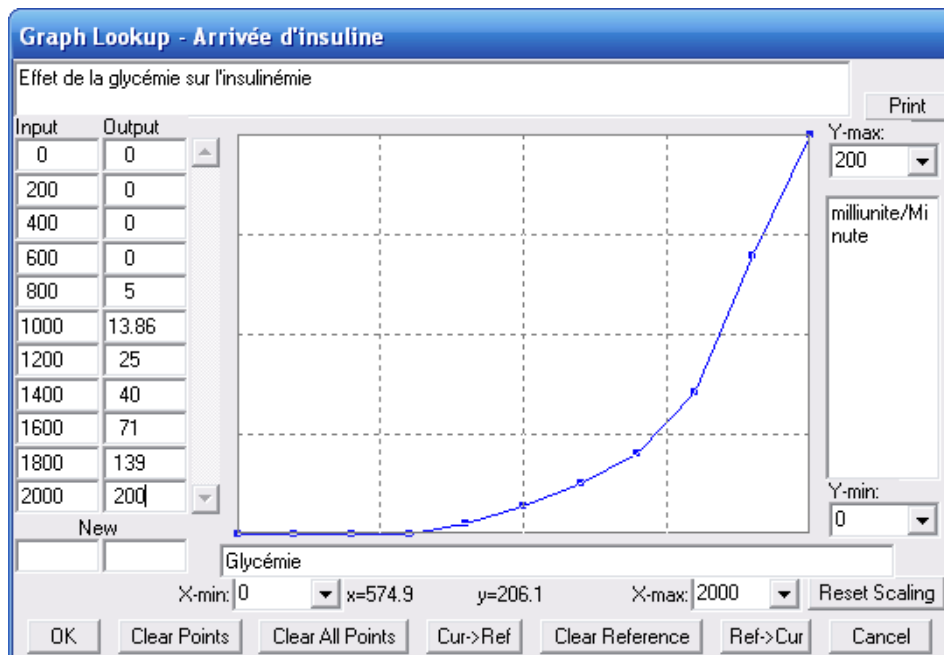
1.9. Influence de la glycémie sur l'arrivée d'insuline

26 Le pancréas relâche plus ou moins d'insuline selon le niveau atteint par la glycémie.

Dans un test d'hyperglycémie provoquée, une glycémie de 1.8 g/l entraîne une insulïnémie 10 fois plus élevée que la valeur de base. Un test analogue au précédent nous permet de voir que pour avoir un niveau d'insuline de 1200, il faut une arrivée d'insuline de 139 mU par minute.

Créons un graphe dans la vanne d'arrivée d'insuline qui tienne compte de ces valeurs.

Supprimer (icone ) le curseur "Arrivée d'insuline" qui n'a plus de raison d'être.




2. Test et amélioration du modèle

2.1. Premier test du modèle

Le modèle est maintenant complet : si tous les paramètres introduits sont conformes à la réalité, il devrait assez bien mimer le comportement réel de la régulation de la glycémie.

Pour ce premier test, on souhaite activer le modèle tel qu'il est en surveillant l'évolution de la glycémie et du stock d'insuline

27 Il faut commencer par modifier le graphe "Insuline" que nous avons créé : Panneau de contrôle , onglet **Graphs**, sélection de "Insuline" puis **Modify...**

Ajouter la courbe Glycémie, modifier le nom du graphe, son titre...

Si on ne précise pas Y-min et Y-max, Vensim proposera un ajustement automatique. Pour en avoir un aperçu, cliquez sur le bouton "Test output". L'échelle n'est pas parfaite, mais suffisante pour repérer les intervalles à afficher. Entrer les valeurs Y-min et Y-max souhaitées pour les deux courbes.

Name: Insuline-Glycémie Quick Hide: Title X Label Legend

Title: Evolution Stock d'insuline et Glycémie

X-Axis: Time Sel X Label: Temps (min)

X-min: X-max: X-divisions: Lbl-Interval: Y-div:


Stamp: Comment:




Type: Norm Cum Stack Dots Fill Width: Height:

Scale	Variable	Dataset	Label	LineW	Units	Y-min	Y-max
<input type="checkbox"/>	Insuline Sel		Stock d'insuline		milli-unit		
<input type="checkbox"/>	Glycémie Sel		Glycémie		mg/l		
<input type="checkbox"/>	Sel						
<input type="checkbox"/>	Sel						
<input type="checkbox"/>	Sel						
<input type="checkbox"/>	Sel						

As WIP Graph (maxpoints) Copy to... Test output Soft Bounds

OK As Table... Cancel

Si le nom du graphe a été changé, il faut aussi changer le nom du graphe appelé sur la page (icone ) puis clic droit sur le graphe...)

 Lancer une simulation. Si le graphe est trop petit, arrêter la simulation , modifier la taille du graphe (icone ) puis poignée en bas à droite du graphe) et relancer la simulation.

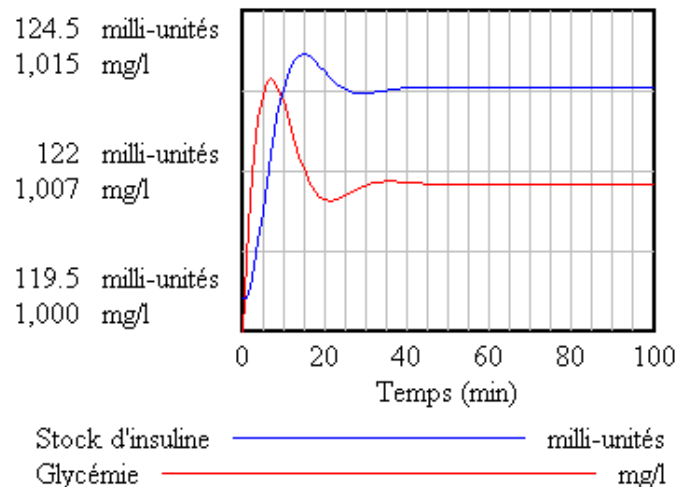
Il y a bien une stabilité au bout de 25 minutes, mais il se produit une sorte de fluctuation au démarrage. C'est une fluctuation de faible ampleur : on peut voir que les échelles des ordonnées sont ajustées pour bien étaler les courbes (ce qui n'est pas forcément souhaité). La glycémie dépasse légèrement 1010 mg/L pour revenir à 1006 mg/L environ.

Comment supprimer ce démarrage inopportun ?


Il y a deux solutions :


- Retoucher certaines valeurs du modèle ; si les fluctuations avaient des valeurs importantes, c'est sans doute ce qu'il faudrait faire, toutefois, ici la glycémie se stabilise à 1,006 gramme par litre ce qui est tout à fait acceptable.
- Utiliser un afficheur numérique pour connaître exactement cette valeur, ainsi que celle de l'insuline.


Evolution Stock d'insuline et Glycémie



2.2. Recherche de valeurs numériques

 Nous avons entré des valeurs initiales approximatives pour le stock de glucose et d'insuline (6000 et 120). Quelles sont les valeurs exactes renvoyées par le modèle ?

Icone  puis sélection du stock de glucose et du stock d'insuline en maintenant la touche Majuscule enfoncée.

L'icone  permet d'afficher la table des valeurs renvoyées par le modèle.

On voit que les valeurs finales sont 123.284 et 6041.18. En plaçant les valeurs dans le modèle à la place de 6000 et 120, mises au début, nous supprimons l'effet de départ.

Table Time Down			
Time (Minute)	Selected	Glucose sanguin	Insuline
92	Variables	6041.18	123.284
93	Runs:	6041.18	123.284
94	Current	6041.18	123.284
95		6041.18	123.284
96		6041.18	123.284
97		6041.18	123.284
98		6041.18	123.284
99		6041.18	123.284
100		6041.18	123.284

Table des valeurs pouvant être imprimée, copiée/collée dans une feuille de tableur ou enregistrée

3. Modifier le modèle initial : Test d'hyperglycémie provoquée

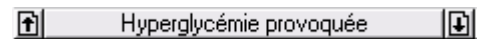
La courbe ne nous montre pour l'instant qu'une chose, c'est que la glycémie et l'insulinémie restent constante, à jeun. Le véritable test, est de réaliser un test d'hyperglycémie provoquée et d'obtenir des résultats conformes à la réalité.

3.1. Créer une nouvelle page

30 Menu **View / New** : Crée une page 2

Menu **View / Rename** : Renomme la page 2, par exemple "Hyperglycémie provoquée"

Afficher la page 1. La-renommer ("A jeun")



Page affichée + flèches de circulation

En page 1 (A jeun), sélectionner le modèle initial (menu **Edit / Select all**), le copier (menu **Edit / Copy**), passer en page 2 (hyperglycémie provoquée) puis coller (menu **Edit / Paste**).

Remarque : Le nom des variables a été modifié (Insuline → Insuline 0, Glycémie → Glycémie 0, ...). Nous en verrons l'intérêt à l'étape 32.

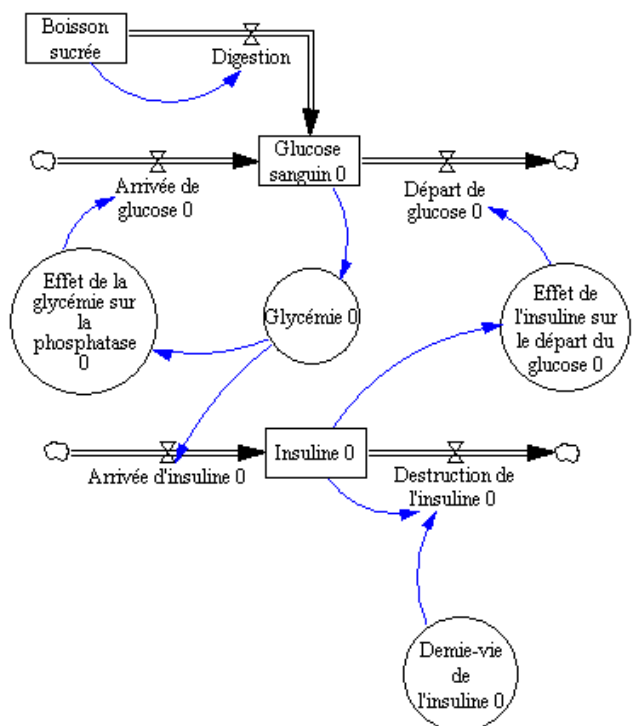
3.2. Ajouter un apport de glucose

31 Principe de ce test : le sujet à jeun depuis une dizaine d'heures boit une boisson sucrée contenant 75 grammes de glucose. On mesure la glycémie au bout de 30 minutes, une heure, deux heures, et trois heures.

Le sujet normal a une glycémie qui revient à sa valeur normale au bout d'une heure environ, en tout cas avant deux heures.

Construire un stock contenant 75000 milligrammes de glucose ; c'est la "Boisson sucrée" pour le test (attention à toujours conserver les même unités, bien sûr ; ici des milligrammes). Un flux "Digestion" permet de le faire se déverser dans le stock glucose sanguin.

La vanne de digestion contient l'équation $\text{Boisson sucrée}/50$, ce qui signifie que chaque minute 1/50 du glucose restant dans le tube digestif passe dans le sang.



32 Le graphe doit être modifié (Panneau de contrôle , onglet **Graphs**, sélection de "Insuline-Glycémie" puis **Modify...**) car il ne comporte que les variables "Glucose sanguin" et "Glycémie" à jeun.

Ajouter les variables "Glucose sanguin 0" et Glycémie 0" correspondant au test d'hyperglycémie. Les lier (case à cocher) pour les rapporter à la même échelle.

Modifier les **labels** pour améliorer la lisibilité du graphe.

Fixer X-min = 0 et X-max = 180 (durée du test d'hyperglycémie).

Fixer éventuellement le nombre de divisions par axe (X-div et Y-div)

Lancer la simulation

Dans ce modèle, une variable de type Constante fixe (**Constant unchangeable**) a été ajoutée pour indiquer le seuil d'hyperglycémie standard (1,26 g / l, soit 1260 mg / l). Elle a été ajoutée au graphe sous forme d'une cinquième courbe.

La courbe obtenue correspond assez bien à celle d'une hyperglycémie provoquée ; le retour à l'euglycémie a lieu une vingtaine de minutes après l'ingestion des 75 g de glucose.

