
Modélisation floue des variations glycémiques

Rapport de stage

Septembre 2000

Stage de 4^{ème} année - INSA de Rennes - Département Informatique

Auteur :
Franck Sajous

Responsable de stage :
Pierre-Yves Glorennec

Collaborateurs :
Guy Fontaine
Jean-Pierre Hespel

remerciements à

Guy Fontaine
Pierre-Yves Glorennec
Jean-Pierre Hespel

Table des matières

1	Présentation du problème	9
1.1	Le diabète	9
1.1.1	Définitions	9
1.1.2	Facteurs agissant sur la glycémie	9
1.2	L'insulinothérapie	9
1.3	But du logiciel	10
1.4	Historique	11
1.5	Nouvelles modifications du logiciel	11
1.5.1	Modification du type d'injection	11
1.5.2	Partitionnement de la nouvelle entrée	11
1.5.3	Apprentissage	11
1.5.4	Gestion des dates	11
2	Modèle prédictif	13
2.1	SIF utilisés	13
2.2	Relevé glycémique	15
2.3	Prévision de l'activité physique et de la nature du repas	15
2.4	Gestion de l'insuline	15
2.4.1	Heures et doses d'injections	15
2.4.2	Calcul du pouvoir hypoglycémiant	15
2.4.2.1	Pouvoir hypoglycémiant d'une injection	16
2.4.2.2	Résultante de l'ensemble des injections	17
3	Apprentissage	19
3.1	Données prévues et données effectives	19
3.2	Critères déterminant quand doit être réalisé l'apprentissage	19
4	Résultats	21
5	Perspectives	23
A	Règles floues	25
A.1	SIF préprandial	25
A.2	SIF postprandial	26
B	Partitions des domaines de variation des variables floues	27
B.1	SIF préprandial	27
B.2	SIF postprandial	28

C Conclusions après apprentissage	29
C.1 SIF préprandial	29
C.2 SIF postprandial	30
D Relevé	31
E URL	33
E.1 Informations sur le diabète	33
E.2 Utilisation et programmation du Psion	33

Introduction

Le diabète est une maladie touchant 2 à 5% de la population. Malgré les efforts de recherche entrepris depuis plusieurs décennies et l'espoir de traitements radicaux, voire préventifs, cette maladie ne bénéficie encore que de traitements substitutifs aux contraintes quotidiennes, rendant active la participation du patient à son traitement. Celle-ci passe par l'acquisition d'un savoir théorique et d'un savoir faire pratique qui justifie une démarche éducative que l'on nomme désormais "l'éducation diabétique".

Cette éducation vise à mieux faire connaître au diabétique sa maladie, ce qui présente les avantages suivants :

- faire comprendre le choix d'un traitement plutôt que d'un autre ;
- préciser le rôle de la diététique ;
- déterminer la place de l'insulinothérapie¹ ;
- faciliter la communication avec les soignants.

Le diabétique peut alors participer aux décisions thérapeutiques qui le concernent.

Si notre réalisation vise à assister le patient dans son insulinothérapie, son enjeu est également de s'inscrire dans la lignée de cette éducation.

1. La terminologie relative au diabète et à ses traitements sera présentée au chapitre 1

Chapitre 1

Présentation du problème

1.1 Le diabète

1.1.1 Définitions

Dans l'organisme, la glycémie (taux de sucre dans le sang) est régulée, entre autres, par l'insuline, une hormone sécrétée par le pancréas. Celle-ci permet à l'organisme une l'utilisation du glucose, ce qui produit une baisse de la glycémie. Il existe plusieurs types de diabète. Nous nous intéressons ici au diabète de type I, concernant les diabétiques insulino-dépendants (DID). Chez eux, le pancréas ne sécrète plus d'insuline. La glycémie devient alors trop élevée (hyperglycémie). Pour pallier ce phénomène, les DID s'injectent de l'insuline exogène.

Une description plus détaillée, ainsi qu'une indication sur l'état des connaissances médicales pourront être trouvés dans [1], [2] et sur les sites listés en annexe E.

1.1.2 Facteurs agissant sur la glycémie

Nous avons retenu les principaux facteurs agissant sur la variation de la glycémie :

- **l'alimentation** : elle apporte à l'organisme les glucides dont il a besoin ;
- **l'activité physique** : elle entraîne d'une part une consommation de glucose par les muscles, d'autre part une meilleure efficacité de l'insuline, ce qui abaisse la glycémie ;
- **les injections d'insuline** : elles visent à compenser le dysfonctionnement du pancréas.

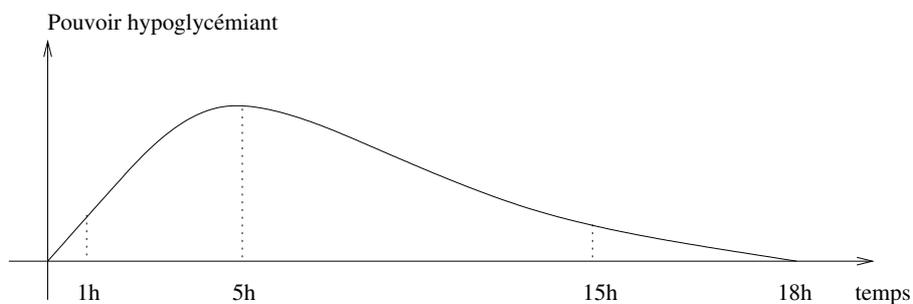
1.2 L'insulinothérapie

Comme nous venons de voir, les DID s'injectent de l'insuline pour pallier le dysfonctionnement du pancréas. Il existe différents modes d'injection et plusieurs types d'insuline. Certains diabétiques ont une perfusion continue réalisé par une pompe, boîtier portable à la ceinture. L'insuline est injectée en permanence à faibles doses par un cathéter. Le *bolus* est une quantité d'insuline ajoutée de manière ponctuelle et offre la possibilité d'augmenter la dose de *base*. D'autres diabétiques s'injectent de l'insuline en utilisant une seringue. Ils ont à leur disposition¹ :

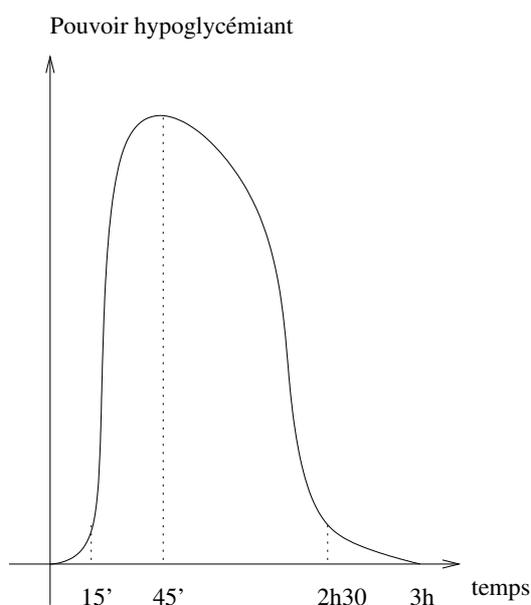
- **de l'insuline lente** : elle a une durée d'action élevée (de 10 à 24 heures) mais un délai d'action important (parfois plusieurs heures) cf. 1.1(a) ;
- **de l'insuline rapide** : inversement, elle agit vite (15 minutes) mais a une faible durée d'action (2 à 6 heures) cf. 1.1(a).

1. il existe en réalité plusieurs types d'insuline lente et rapide et également des insulines intermédiaires. Nous nous intéressons ici aux caractéristiques générales, les durées et délais d'action pouvant être configurés à volonté.

Ces deux types d'insuline s'utilisent conjointement. L'insuline lente est injectée à heures relativement fixes, et le nombre d'injections par jour ne varie pas. Par exemple une injection à 7h00 et une autre à 20h30. L'insuline rapide s'ajoute à l'insuline lente en prévision par exemple de la hausse de la glycémie due au repas. Le nombre d'injections et les heures de celles-ci varient au cours des jours.



(a) Insuline lente



(b) Insuline rapide

FIG. 1.1 – *Différents type d'insuline*

1.3 But du logiciel

Le logiciel se propose d'assister le patient dans la recherche d'une bonne auto-régulation de sa glycémie. En prévoyant la glycémie future selon les critères énoncés section 1.1.2, le diabétique peut adapter ceux-ci en conséquence. De plus, chaque relevé est mémorisé et pourra être consulté par le médecin et le diabétique lui-même, éventuellement de concert.

1.4 Historique

Une première version du logiciel [2] s'adressait à des diabétiques utilisant une pompe à insuline. Le SIF comportait six entrées, et un apprentissage supervisé était réalisé une fois pour toutes à partir des relevés effectués par des diabétiques sur des carnets. Les six entrées n'étant pas actives simultanément, elles augmentaient inutilement le nombre de règles, nuisant ainsi à l'interprétabilité du système.

Une deuxième version fut alors réalisée, faisant intervenir deux SIF, l'un préprandial (avant le repas), l'autre postprandial (après le repas). Chaque SIF comporte trois entrées. Le nombre de règles passe alors de 64 à 24. Une fonctionnalité fut également ajoutée afin de permettre un apprentissage en ligne : à chaque relevé, les variations glycémiques prévue et réelle sont comparées et une descente de gradient effectuée. Ainsi, le modèle s'adapte continuellement au patient.

1.5 Nouvelles modifications du logiciel

1.5.1 Modification du type d'injection

Le patient avec lequel nous travaillons ne réalise pas ses injections par pompe mais par seringue. Le modèle d'injection *base + bolus* est remplacé par un modèle prenant en compte les injections d'insuline lente et rapide. L'entrée précédente **BaBo** [2] était fonction de la base et du bolus. Cette entrée est désormais remplacée par une entrée **Ins**, fonction des injections d'insuline lente et d'insuline rapide. Un système de notification des heures, types et doses d'injections a donc du être réalisé. D'autre part, un calcul permettant de quantifier le pouvoir hypogycémiant résultant des injections a du être mis en œuvre. Ces deux aspects sont développés à la section 2.4.

1.5.2 Partitionnement de la nouvelle entrée

Le nombre de sous-ensembles flous formant la partition de la nouvelle variable **Ins** a été réduite à deux (contre trois pour **BaBo**). Cette décision est motivée par la réduction du nombre de règles qui en découle (passage de 24 à 16), ce qui facilite l'interprétabilité. Etant donné, de plus, l'imprécision du modèle inhérente à l'incapacité à quantifier de manière exacte les valeurs des entrées **nature du repas prévue** et **activité physique prévue**, cette réduction du nombre de sous-ensembles flous ne réduit pas la justesse des SIF. Cette modification se fait simplement en remplaçant dans les fichiers **part_h.txt** et **part_r.txt** (cf. annexe B) les lignes :

```
BaBo1: (0,0) (2,2) (4,4)
BaBo2: (1,1) (3,3) (5,5)
```

par :

```
Ins: (0, 0) (200, 200)
```

Enfin, il faut remplacer dans les fichiers **regle_h.txt** et **regle_r.txt** (cf. annexe A) **BaBo**_[1|2](**_**) par **Ins**(**_**), et supprimer les huit règles dont la prémisse comportait **BaBo**_[1|2](**Normale**).

1.5.3 Apprentissage

Une modification du processus d'apprentissage est présentée au chapitre 3.

1.5.4 Gestion des dates

Enfin, une modification (mineure) a du être apportée afin que le logiciel gère les dates postérieures au 1^{er} janvier 2000, ce qui n'était pas le cas, alors que le Psion en offre la possibilité d'un point de vue matériel.

Chapitre 2

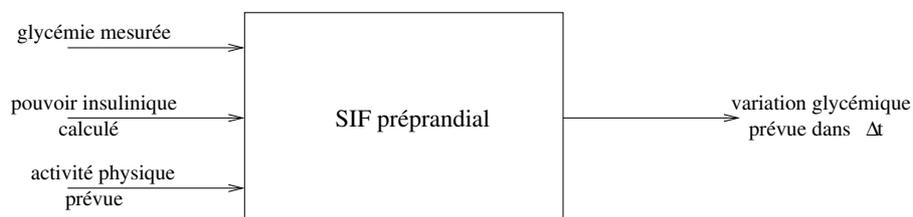
Modèle prédictif

2.1 SIF utilisés

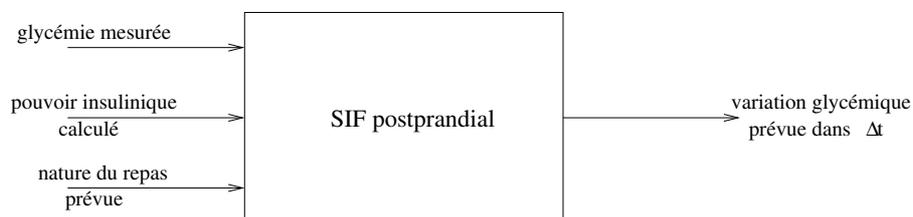
Les SIF préprandial (figure 2.1(a)) et postprandial (figure 2.1(b)) prennent tous deux en entrée :

- la glycémie, mesurée par le patient au moment de la prédiction ;
- le pouvoir insulinique résultant des injections d’insuline lente et rapide passées, calculé par le programme.

Le SIF postprandial prend en entrée une indication sur la teneur en sucre prévue du repas ; le SIF préprandial prend en entrée une indication sur l’activité physique prévue. Ces deux SIF calculent en sortie la variation glycémique dans un délai Δt ¹. Les sous-ensembles flous constituant les partitions des entrées et de la conclusion sont représentés figure 2.2. Les fichiers de configuration correspondant sont donnés dans l’annexe A.



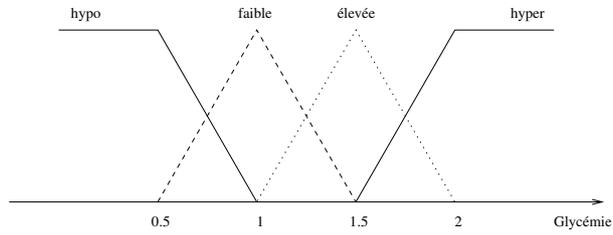
(a) SIF préprandial



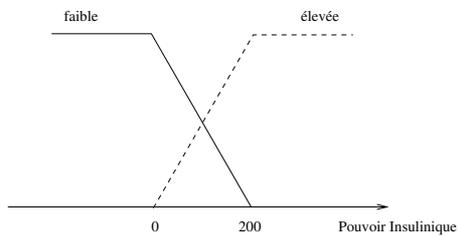
(b) SIF postprandial

FIG. 2.1 – *SIF utilisés*

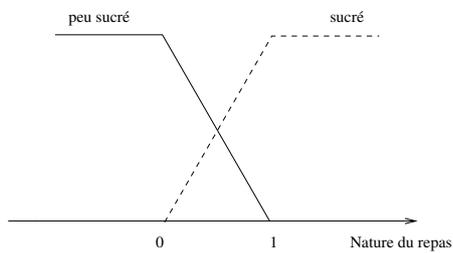
1. Ce délai, paramétrable, a été choisi avec une valeur de 2 heures au cours de l’expérience



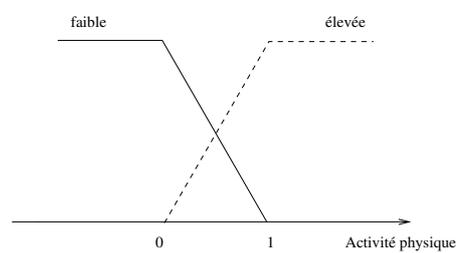
(a) Glycémie



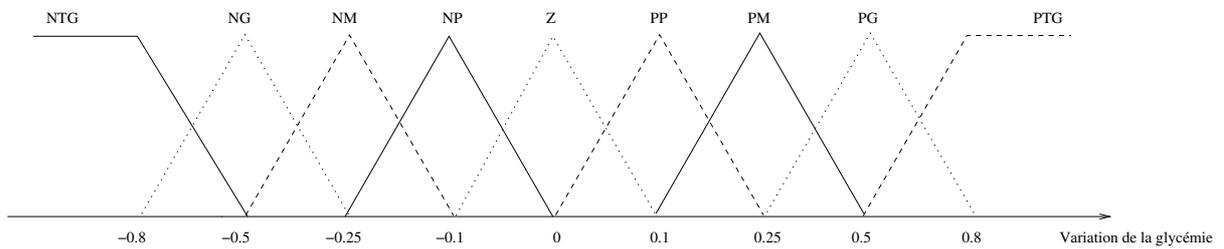
(b) Pouvoir insulinique



(c) Nature du repas



(d) Activité physique



(e) Variation de la glycémie

FIG. 2.2 – Partitions des entrées et de la conclusion

2.2 Relevé glycémique

L'autosurveillance glycémique est pratiquée par les diabétiques traités ou non à l'insuline. Il s'agit de prélever une goutte de sang avec un autopiqueur, qu'un lecteur analysera afin de donner la valeur de la glycémie. Cette variable constitue l'entrée la plus précise du SIF.

2.3 Prévision de l'activité physique et de la nature du repas

Ces deux paramètres interviennent dans le choix du dosage d'une injection : le patient choisira par exemple un dosage faible s'il a prévu une activité physique intense, et un dosage plus fort s'il doit prendre un repas riche en glucides.

2.4 Gestion de l'insuline

Les courbes de la figure 1.1, section 1.2, sont approximées de manière interne de façon relativement grossière comme représenté figure 2.3. Une approximation plus précise est inutile en raison des incertitudes qui existent par ailleurs. La signification des différents paramètres relatifs aux temps et délais d'action des courbes du pouvoir hypoglycémiant de l'insuline lente et rapide, ainsi que leur configuration sont décrites dans le manuel utilisateur [5], chapitre ??.

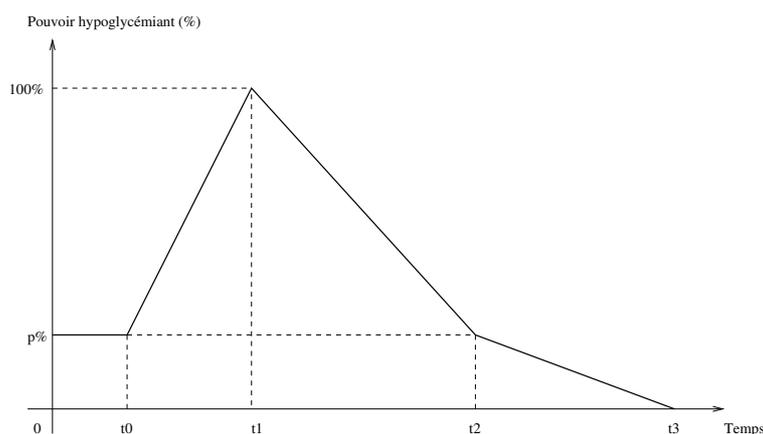


FIG. 2.3 – *Pouvoir hypoglycémiant de l'insuline au cours du temps*

2.4.1 Heures et doses d'injections

Les heures d'injections d'insuline lente au cours d'une journée sont mémorisées, ainsi que les doses injectées. Pour l'insuline rapide, les heures et doses des deux dernières injections sont également mémorisées. Pour plus de détails, voir [5], chapitre ??.

2.4.2 Calcul du pouvoir hypoglycémiant

L'entrée **Ins** reflète la quantité d'insuline injectée. Nous allons détailler dans un premier temps le calcul de la quantité d'insuline apportée par une injection avant de prendre en compte l'ensemble des injections d'insuline.

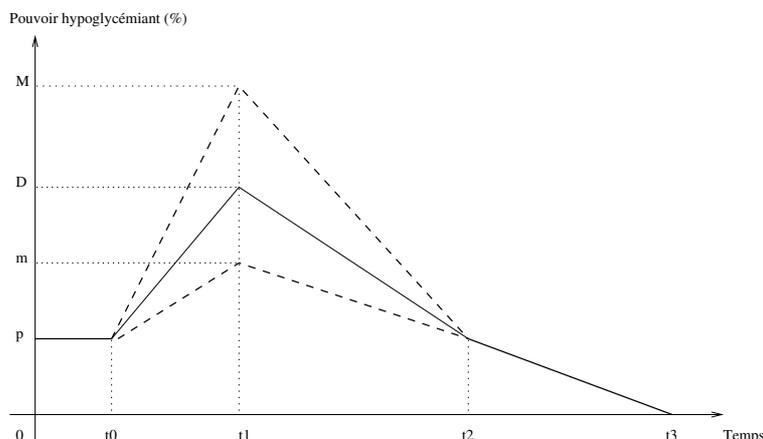


FIG. 2.4 – Influence du dosage

2.4.2.1 Pouvoir hypoglycémiant d'une injection

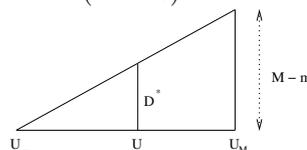
Pour une injection d'un type d'insuline donné, nous cherchons à exprimer le pourcentage du pouvoir hypoglycémiant en fonction du dosage et du temps écoulé depuis cette injection. Considérons le nombre minimal U_m et maximal U_M d'unités d'insuline que le patient peut s'injecter. Les courbes correspondantes sont données figure 2.4.

Au temps t_1 , notons m et M les pouvoirs hypoglycémiant correspondant respectivement à U_m et U_M . Si l'on note U le nombre d'unités injectées ($U_m \leq U \leq U_M$), et p le pouvoir hypoglycémiant aux temps t_0 et t_2 , le pouvoir hypoglycémiant au bout du temps t après l'injection est :

$$PH_t = \begin{cases} p & \text{si } t \leq t_0 \\ \frac{D(t-t_0)-p(t-t_1)}{t_1-t_0} & \text{si } t_0 < t < t_1 \\ \frac{p(t-t_1)-D(t-t_2)}{t_2-t_1} & \text{si } t_1 < t < t_2 \\ \frac{-p(t-t_3)}{t_3-t_2} & \text{si } t_2 < t < t_3 \\ 0 & \text{si } t \geq t_3 \end{cases}$$

avec $D(m \leq D \leq M)$ dépendant de U , exprimé de la manière suivante (Thalès) :

$$\frac{M-m}{U_M-U_m} = \frac{D^*}{U-U_m}$$



et $D = D^* + m$

Par exemple, si pour l'insuline rapide, le nombre minimal d'unités est $U_m = 1$, le nombre maximal $U_M = 6$, et que l'on a choisi pour m et M respectivement 30% et 100%, on a :

$$\frac{100-30}{6-1} = \frac{D^*}{U-1},$$

$$\text{soit } D^* = \frac{70}{5}(U-1) = 14U - 14$$

$$\text{d'où } D = D^* + m = 14U - 14 + 30 = 14U + 16$$

De même, si pour l'insuline lente, on a un nombre d'unités U par injection variant entre $U_m = 9$ et $U_M = 12$, on a :

$$\frac{100-30}{12-9} = \frac{D^*}{U-9}$$

$$\text{soit } D^* = \frac{70}{3}(U-9) = \frac{70}{3}U - 210,$$

$$\text{d'où } D = D^* + m = \frac{70}{3}U - 180$$

2.4.2.2 Résultante de l'ensemble des injections

Nous venons de voir l'apport d'insuline dû à une injection. Hors à un moment donné, l'insuline injectée résulte de plusieurs injections. Deux choses sont à noter :

- d'une part l'additivité des insulines lente et rapide (cf. figure 2.5) ;
- d'autre part, pour un même type d'insuline, la fin de l'action d'une injection peut se prolonger après le début de la suivante (cf. figure 2.6).

Lors du calcul du pouvoir hypoglycémiant global, nous prenons en compte le pouvoir hypoglycémiant partiel (éventuellement nul) des deux dernières injections d'insuline lente et les deux dernières injections d'insuline rapide. Sur la figure 2.7 est représentée la manière dont pourrait se dérouler une journée avec une injection d'insuline lente le matin et le soir, et une injection d'insuline rapide avant chaque repas (collations non prises en compte).

Enfin, il faut garder à l'esprit que des injections d'insuline effectuées avec les mêmes dosages et aux mêmes heures n'auront pas obligatoirement les mêmes conséquences suivant les circonstances.

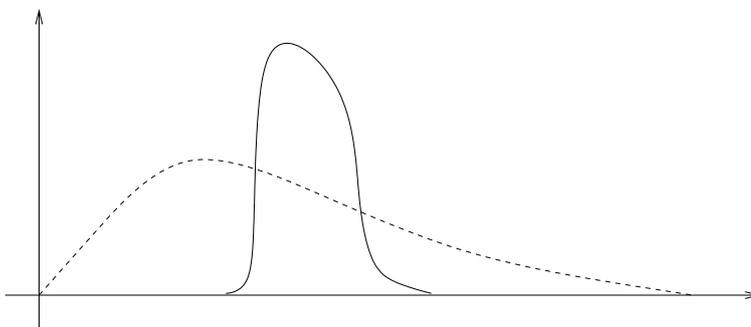


FIG. 2.5 – Additivité des injections d'insuline lente et rapide

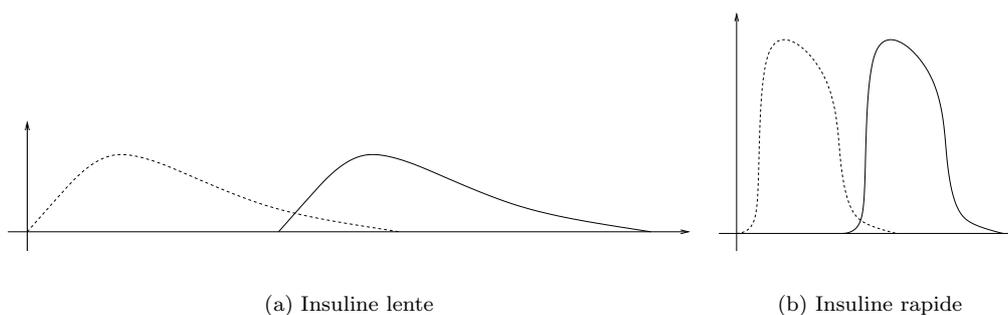


FIG. 2.6 – Recouvrement des injections d'insuline de même type

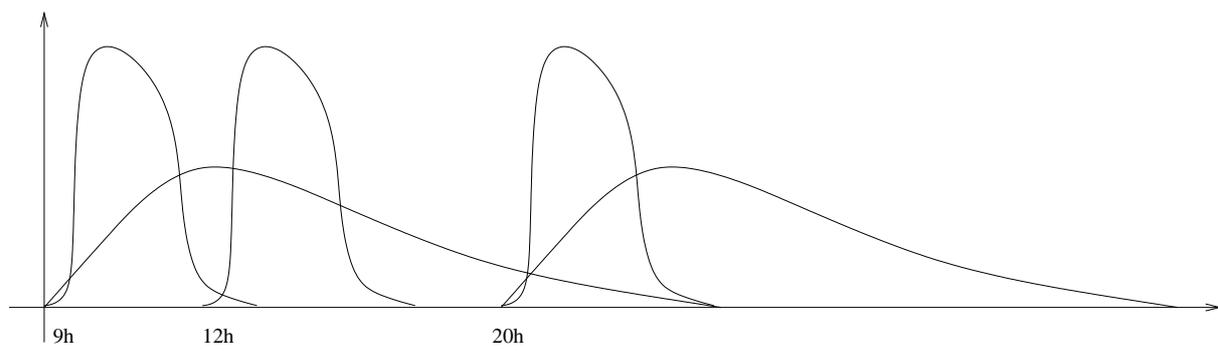


FIG. 2.7 – Schéma de traitement possible au cours d'une journée

Chapitre 3

Apprentissage

3.1 Données prévues et données effectives

Dans la version précédente du logiciel, un apprentissage en ligne avait été ajouté et fonctionnait de la manière suivante : lors d'une prédiction, la valeur de la variation glycémique prévue était mémorisée. Elle était comparée à la variation réelle fournie lors de la prédiction suivante, et une descente de gradient était effectuée en se basant sur les degrés d'activation de chaque règle qui n'avaient pas encore été modifiés. Cet apprentissage n'était pas au plus proche de la réalité car il était basé, pour les entrées **nature du repas prévue** et **activité physique prévue** sur une estimation *a priori* de l'utilisateur, qui ne correspondait pas obligatoirement à la réalité. En effet, un imprévu peut à tout moment contrarier les projets d'une personne. Par exemple, on peut envisager une intention de sport de plein air découragée par l'arrivée de la pluie. L'apprentissage va alors se faire (s'il est demandé) avec une forte activation des règles correspondant à une valeur élevée d'**activité physique**, alors que la variation glycémique réelle correspondra à une activité physique calme.

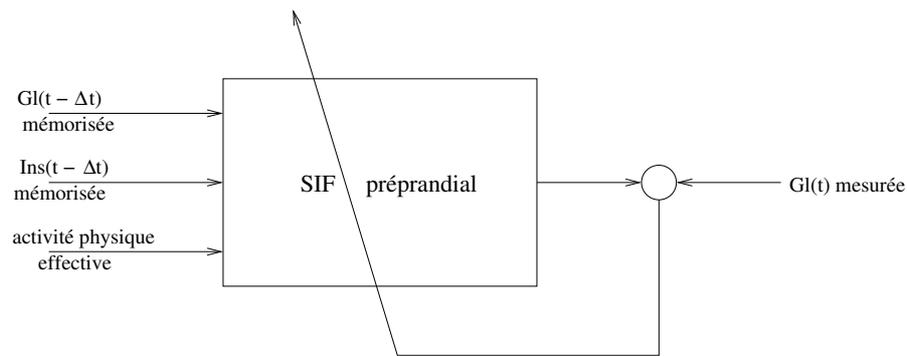
Pour remédier à ce problème, l'apprentissage se déroule désormais de la façon suivante :

1. Lors d'une prédiction, les valeurs de la glycémie mesurée et du pouvoir insulinaire calculé courants sont mémorisées.
2. Avant la prédiction suivante, une indication sur l'activité physique *effectivement* réalisée ou la nature du repas *effectivement* pris est demandée.
3. Les deux premières valeurs mémorisées et cette dernière saisie sont présentées en entrée du SIF.
4. La valeur prédite (mais non indiquée au patient car destinée uniquement à l'apprentissage) à ce moment est comparée avec le relevé glycémique réel.
5. L'apprentissage est alors réalisé.
6. La nouvelle prédiction (celle donnée à l'utilisateur) peut commencer.

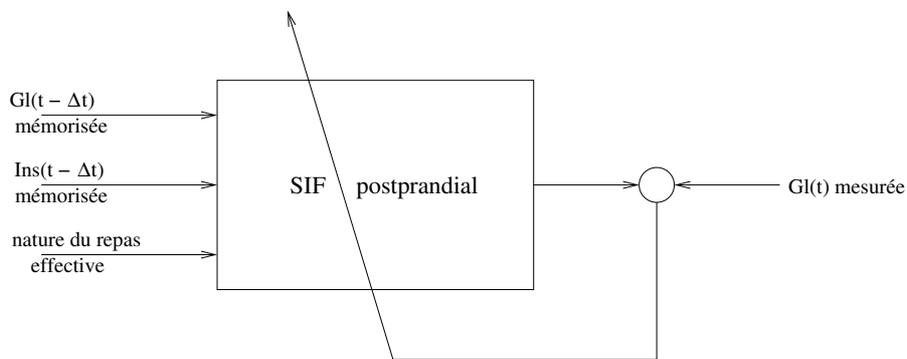
Le nouveau modèle d'apprentissage est représenté figure 3.1 et peut être comparé au modèle prédictif décrit figure 2.1 pour mettre en relief le fait que ce dernier se base sur les données présentes ou prévues, alors que les données servant à l'apprentissage sont présentes ou passées.

3.2 Critères déterminant quand doit être réalisé l'apprentissage

Comme indiqué dans le manuel utilisateur [5], l'apprentissage ne doit pas être réalisé si le délai écoulé entre deux relevés se différencie trop du temps de prédiction. Ce contrôle est désormais effectué par logiciel. Au cours de notre expérience, le temps de prédiction était de deux heures, et le seuil de tolérance était d'une demie-heure. L'apprentissage était donc pris en compte si le deuxième relevé se situait entre 1h30 et 2h30 après le premier. En plus de ce seuil au-delà duquel l'apprentissage n'est pas réalisé, on peut envisager un gain ε qui serait fonction de l'exactitude de la durée écoulée entre les deux prédictions.



(a) Apprentissage préprandial



(b) Apprentissage postprandial

FIG. 3.1 – Apprentissages réalisés

Cette modélisation est certainement délicate car elle demande une étude en profondeur de l'action de l'insuline.

En cas d'événement exceptionnel, seul le patient est apte à décider de ne pas demander l'apprentissage.

Chapitre 4

Résultats

Un premier test a été réalisé sur une période de neuf jours, alors qu'aucun contrôle logiciel ne vérifiait le temps écoulé entre une prédiction et la prédiction suivante où l'apprentissage était réalisé. Il arrivait alors que l'utilisateur demande une prédiction, puis en demande une autre immédiatement après car il croyait avoir mal entré les données la première fois. Lorsque l'apprentissage est demandé dans de tels cas, il éloigne complètement le modèle prédictif de la réalité au lieu de l'en rapprocher.

Un deuxième test a été entrepris sur une période de huit jours avec cette nouvelle fonctionnalité. Le relevé correspondant est donné en annexe D. Sur les 33 relevés du SIF préprandial, seulement 10 ont pu donner lieu à un apprentissage. Pour le SIF postprandial, c'est le cas pour 6 des 18 relevés. Les erreurs, lors de l'apprentissage, entre la glycémie prévue et la glycémie réelle sont représentées figure 4.1 pour le SIF postprandial et figure 4.2 pour le SIF préprandial.

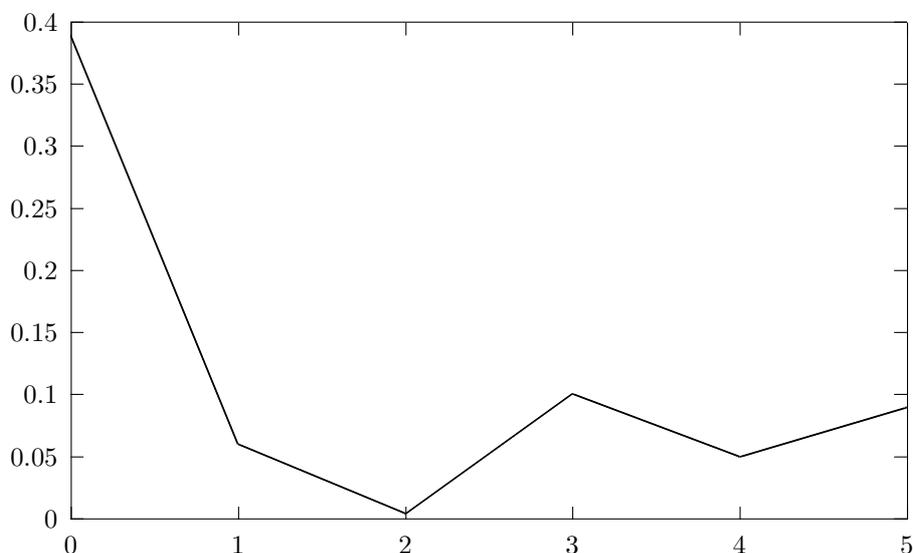


FIG. 4.1 – *Erreur sur les prévisions glycémiques du SIF postprandial*

On peut constater que l'erreur pour le SIF postprandial est très basse, avec une moyenne de 0.06 g/l pour les 5 dernières valeurs. L'erreur pour le SIF préprandial est par contre plus avec une moyenne de 0.35 g/l. Rappelons que la précision d'un gluco-meter est de 0.2 g/l. On ne voit pas la courbe des erreurs de prévision décroître au fur et à mesure de l'apprentissage. Cela est dû à une période de test trop courte.

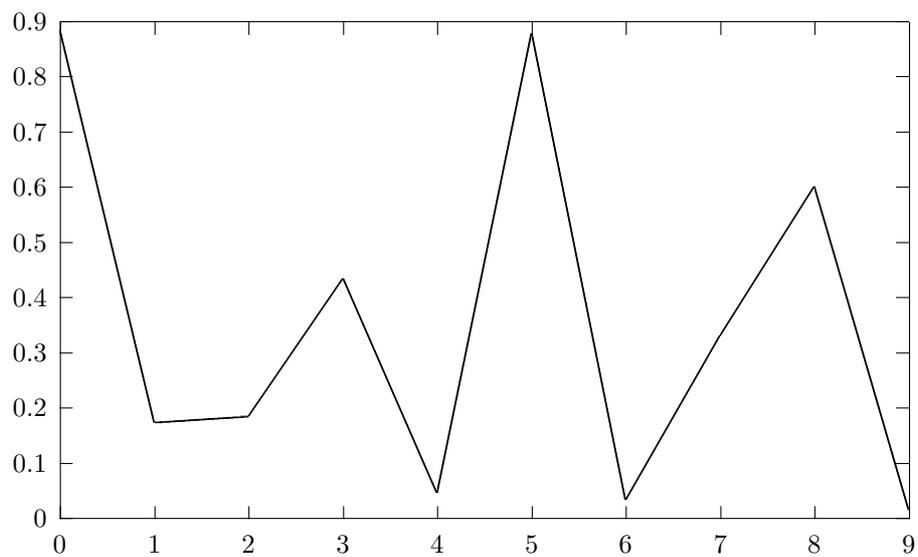


FIG. 4.2 – *Erreur sur les prévisions glycémiques du SIF préprandial*

Un apprentissage supervisé n'ayant pas pu être réalisé avant utilisation, 10 relevés ne peuvent évidemment pas être suffisants pour réaliser un apprentissage "en ligne", même avec un modèle simple (3 entrées, 16 règles). Vu le faible nombre de relevés par jour pouvant intervenir dans l'apprentissage, il sera nécessaire de prolonger les tests sur une durée plus longue.

Chapitre 5

Perspectives

Bon nombre de diabétiques notant leurs relevés sur des carnets, un profit considérable doit pouvoir être tiré d'un apprentissage supervisé initial. On peut envisager dans ce cas que les deux SIF donneront dès le début des résultats corrects, l'apprentissage en ligne venant affiner le modèle prédictif par la suite. Le patient avec lequel nous avons travaillé nous a suggéré deux améliorations possibles. D'une part, une indication précise des apports glucidiques pourrait être demandée au patient. Cela suppose que les diabétiques aient une très bonne maîtrise de leur nutrition. Dans notre cas, le patient était capable d'évaluer à quelques grammes près les aliments de son repas et de déduire, selon leur type, l'apport glucidique avec une certaine exactitude. Cependant, la majorité des patients n'ont probablement pas une telle expérience, et le modèle graphique d'ascenseur semble suffir.

Un autre changement serait de ne pas rendre exclusifs les estimations de la nature du repas et de l'activité physique. En effet, une activité physique peut être envisagée immédiatement après le repas. Inversement, le diabétique peut s'alimenter pendant la pratique de certains sports (par exemple, le cyclisme, la randonnée en montagne...). Dans ce cas, les deux facteurs interviennent simultanément.

A plus long terme, on peut envisager qu'un patient puisse envoyer ses relevés à un médecin par internet, soit par mail, soit par l'intermédiaire d'un site Web. On peut également envisager le portage de cette application sur un téléphone mobile, qui offrirait également cette possibilité.

Annexe A

Règles floues

A.1 SIF préprandial

```
// Fichier M:\DIAB\REGLE_R.TXT
//
// Description des regles du systeme flou
// dans le cadre de la prise de repas
//
// date de mise a jour 16/07/00

// Regles du second systeme d'inference : repas
// On considere les entrees Glycemie(t), Insuline, Activite(t)

0:G1(Hypo)      *Ins(Faible) *Nr(NonSucre) :PG
1:G1(Hypo)      *Ins(Faible) *Nr(Sucre)    :PG
2:G1(Hypo)      *Ins(Elevee) *Nr(NonSucre) :PG
3:G1(Hypo)      *Ins(Elevee) *Nr(Sucre)    :PM
4:G1(Normale)   *Ins(Faible) *Nr(NonSucre) :PM
5:G1(Normale)   *Ins(Faible) *Nr(Sucre)    :PG
6:G1(Normale)   *Ins(Elevee) *Nr(NonSucre) :PM
7:G1(Normale)   *Ins(Elevee) *Nr(Sucre)    :PP
8:G1(Elevee)    *Ins(Faible) *Nr(NonSucre) :PM
9:G1(Elevee)    *Ins(Faible) *Nr(Sucre)    :PG
10:G1(Elevee)   *Ins(Elevee) *Nr(NonSucre) :PM
11:G1(Elevee)   *Ins(Elevee) *Nr(Sucre)    :PG
12:G1(Hyper)    *Ins(Faible) *Nr(NonSucre) :PP
13:G1(Hyper)    *Ins(Faible) *Nr(Sucre)    :Z
14:G1(Hyper)    *Ins(Elevee) *Nr(NonSucre) :NM
15:G1(Hyper)    *Ins(Elevee) *Nr(Sucre)    :Z
```

A.2 SIF postprandial

```
// Fichier M:\DIAB\REGLE_HORS.TXT
//
// Description des regles du systeme flou
// pour la situation hors-repas
//
// date de mise a jour 16/07/00

// Regles du premier systeme d'inference : hors-repas
// On considere les entrees Glycemie(t), Insuline(t), Activite(t)
0:G1(Hypo)      *Ins(Faible) *Ac(Calme) :PP
1:G1(Hypo)      *Ins(Faible) *Ac(Elevee) :Z
2:G1(Hypo)      *Ins(Elevee) *Ac(Calme) :NM
3:G1(Hypo)      *Ins(Elevee) *Ac(Elevee) :NG
4:G1(Normale)   *Ins(Faible) *Ac(Calme) :PM
5:G1(Normale)   *Ins(Faible) *Ac(Elevee) :Z
6:G1(Normale)   *Ins(Elevee) *Ac(Calme) :NG
7:G1(Normale)   *Ins(Elevee) *Ac(Elevee) :NG
8:G1(Elevee)    *Ins(Faible) *Ac(Calme) :PP
9:G1(Elevee)    *Ins(Faible) *Ac(Elevee) :Z
10:G1(Elevee)   *Ins(Elevee) *Ac(Calme) :NG
11:G1(Elevee)   *Ins(Elevee) *Ac(Elevee) :NG
12:G1(Hyper)    *Ins(Faible) *Ac(Calme) :PG
13:G1(Hyper)    *Ins(Faible) *Ac(Elevee) :Z
14:G1(Hyper)    *Ins(Elevee) *Ac(Calme) :NTG
15:G1(Hyper)    *Ins(Elevee) *Ac(Elevee) :NTG
```

Annexe B

Partitions des domaines de variation des variables floues

B.1 SIF préprandial

```
// Fichier M:\DIAB\PART_REP.TXT
//
// Situation: prise d'un repas
//
// Partition des variables floues
//
// Date de mise a jour : 16/07/00

// Glycemie
Gl: (0.5,0.5) (1.0,1.0) (1.5,1.5) (2.0,2.0)

// Insuline
Ins: (0,0) (200,200)

// Nature du repas
Nr: (0,0) (1,1)

// Sortie : Variation de la glycemie
Cl: -.8, -.5, -.25, -.1, 0, .1, .25, .5, .8
```

B.2 SIF postprandial

```
// Fichier M:\DIAB\PART_HORS.TXT
//
// Situation:hors-repas
//
// Partition des variables floues
//
// Date de mise a jour : 16/07/00

// Glycemie
Gl: (0.5,0.5) (1.0,1.0) (1.5,1.5) (2.0,2.0)

// Insuline
Ins: (0,0) (200,200)

// Activite
Ac: (0,0) (1,1)

// Sortie : Variation de la glycemie
Cl: -.8, -.5, -.25, -.1, 0, .1, .25, .5, .8
```

Annexe C

Conclusions après apprentissage

C.1 SIF préprandial

```
// Fichier M:\DIAB\CONCL_R.TXT  
// Nom du patient: GUY  
// Temps de prediction : 2h
```

```
0:0.46121  
1:0.46142  
2:0.48548  
3:0.23556  
4:0.18035  
5:0.43035  
6:0.20815  
7:0.05815  
8:0.24198  
9:0.49198  
10:0.2448  
11:0.4948  
12:0.1  
13:0  
14:-0.25  
15:0
```

C.2 SIF postprandial

```
// Fichier M:\DIAB\CONCL_H.TXT  
// Nom du patient: GUY  
// Temps de prediction : 2h
```

```
0:0.0958  
1:-0.0042  
2:-0.251  
3:-0.501  
4:0.24217  
5:-0.0078  
6:-0.4997  
7:-0.4997  
8:0.1  
9:0  
10:-0.5  
11:-0.5  
12:0.5  
13:0  
14:-0.8  
15:-0.8
```

Annexe D

Relevé

// Fichier M:\DIAB\PATIENT.TXT
// Nom du patient: GUY
// Temps de prediction : 2h

22/9	09h55	>	hors	1	0	0.5	0.125	0
22/9	07h08	>	repas	1	59.8	0.5	0.315	0
22/9	07h08	>	repas	1	79.51	0.5	0.295	0
22/9	07h09	>	repas	1	79.79	0.5	0.295	-0.59 A
22/9	09h02	>	repas	0.41	90.6	0.5	0.443	0
22/9	09h02	>	repas	0.41	90.6	0.5	0.443	0.27 A
22/9	11h03	>	hors	0.68	66.4	0.5	-0.09	0
22/9	11h03	>	hors	0.68	66.4	0.5	-0.09	0
22/9	11h04	>	hors	0.68	66.2	0.5	-0.09	-0.2
22/9	12h29	>	repas	0.48	49.2	0.5	0.465	0
22/9	12h29	>	repas	0.48	49.2	0.5	0.465	0.28 A
22/9	14h01	>	hors	0.76	30.8	0.5	0.008	0.11
22/9	16h35	>	hors	0.87	5.833	0.5	0.089	-0.3 A
22/9	18h30	>	repas	0.57	36.38	0.5	0.445	0
22/9	18h31	>	repas	0.57	36.19	0.5	0.445	0.01 A
22/9	20h44	>	repas	0.58	28.49	0.5	0.435	0.42
23/9	07h40	>	repas	1	67.52	0.5	0.282	-0.4
23/9	09h08	>	repas	0.6	98.4	0.5	0.387	-0.14
23/9	11h40	>	repas	0.46	68	0.5	0.436	0.39 A
23/9	13h57	>	hors	0.85	40.6	0.5	-0.02	0.04 A
23/9	15h48	>	hors	0.89	18.4	0.5	0.046	0.05 A
23/9	17h37	>	hors	0.94	4.417	0.417	0.111	0.15
23/9	18h52	>	repas	1.09	40.65	0.5	0.32	0
24/9	18h54	>	repas	1.09	80.46	0.5	0.289	-0.59 A
24/9	21h13	>	repas	0.5	56.18	0.5	0.441	0.25
24/9	07h38	>	repas	0.75	70.51	0.5	0.347	-0.38
24/9	09h41	>	repas	0.37	91.8	0.5	0.422	0.1
24/9	11h18	>	hors	0.47	72.4	0.5	-0.11	0.49
24/9	15h31	>	hors	0.96	21.8	0.5	0.042	0.39
24/9	17h23	>	hors	1.35	15.58	0.5	0.025	-0.24
24/9	21h32	>	repas	1.11	100.3	0.5	0.263	-0.22
24/9	21h33	>	repas	0.89	99.33	0.5	0.275	1.07
25/9	07h19	>	repas	1.96	69.11	0.5	0.02	0

25/9 07h20 > repas	1.96	69.26	0.5	0.02	-1.4	
25/9 10h09 > repas	0.56	84.2	0.5	0.405	0.05	
25/9 14h34 > hors	0.61	31.2	0.5	-0.01	0.63	
25/9 20h17 > repas	1.24	69.79	0.5	0.314	0	
26/9 09h11 > repas	1.24	52.6	0.458	0.314	0	
26/9 09h12 > repas	1.24	53.2	0.5	0.321	0	
26/9 09h15 > repas	1.24	55	0.5	0.321	-0.88	
26/9 09h16 > repas	0.36	55.6	0.5	0.442	0	
26/9 09h17 > repas	0.36	56.2	0.458	0.444	0.41	A
26/9 10h55 > repas	0.77	95	0.5	0.322	0.59	
26/9 12h18 > hors	1.36	78.4	0.5	-0.15	-0.36	
26/9 17h22 > hors	1	17.6	0.5	0.059	0.16	A
26/9 19h18 > repas	1.16	52.51	0.5	0.307	0	
26/9 19h19 > repas	1.16	76.04	0.5	0.292	-0.04	A
26/9 21h28 > repas	1.12	55.82	0.5	0.291	0	
26/9 21h28 > repas	1.12	55.82	0.5	0.291	0.52	
27/9 07h11 > repas	1.64	59.46	0.5	0.264	0.28	
27/9 09h54 > hors	1.92	86.2	0.5	-0.2	-1.5	
27/9 13h01 > repas	0.42	48.8	0.5	0.444	0.14	
27/9 15h40 > hors	0.56	17	0.5	0.017	0.22	
27/9 19h46 > repas	0.78	57.52	0.5	0.342	-0.26	A
27/9 21h45 > repas	0.52	58	0.5	0.425	0	
28/9 08h39 > repas	0.52	84.92	0.5	0.411	0.11	
28/9 10h07 > repas	0.63	92.6	0.5	0.365	-0.04	
28/9 12h45 > repas	0.59	61	0.5	0.398	0	
28/9 12h45 > repas	0.59	61	0.5	0.398	-0.08	
28/9 15h51 > hors	0.51	23.8	0.5	-0.00	0.05	A
28/9 18h10 > hors	0.56	4.167	0.5	0.047	-0.11	
28/9 19h09 > repas	0.45	52.46	0.5	0.434	0	
29/9 08h10 > repas	0.45	64	0.5	0.429	0.13	
29/9 09h27 > repas	0.58	96.6	0.5	0.382	-0.01	
29/9 11h30 > hors	0.57	72	0.5	-0.1	-0.19	A
29/9 13h15 > repas	0.38	51	0.5	0.435	0.45	A
29/9 15h21 > hors	0.83	25.8	0.5	0.022	0.22	
29/9 18h27 > repas	1.05	50.19	0.5	0.273	-0.6	
29/9 21h14 > repas	0.45	52.8	0.5	0.435	0.12	

Annexe E

URL

A la bibliographie viennent s'ajouter de nombreuses sources d'informations provenant du Web, dont une sélection seulement est donnée ici.

E.1 Informations sur le diabète

Tous ces sites sont en français :

- <http://www.medisite.fr> *site médical*
- <http://perso.infonie.fr/jomeurisse> *page personnelle*
- <http://home.nordnet.fr/pwesteel> *page personnelle*
- <http://ujf-iab.ujf-grenoble.fr/Serveur-Diabeto/Traitement> *site médical*
- <http://www.infodiabete.com/main/middle.cfm?doc=82> *site médical*

E.2 Utilisation et programmation du Psion

- <http://www.psion.com> *site officiel de Psion*
- <http://www.primate.wisc.edu/people/dubois/psion/oplman> *PSION Programming Reference*
- <http://www.cabuzel.com/psion> *Club Utilisateurs Psion, en français*
- <http://www.geocities.com/SiliconValley/8130/faq.htm> *FAQ*
- <http://p.pellot.free.fr/help3.htm> *page personnelle*

Bibliographie

- [1] Pierre Yves Glorennec. *Algorithmes d'apprentissage pour systèmes d'inférence floue*. Hermès, 1999.
- [2] Equipe Neuro-floue. *Etude de la faisabilité d'un capteur flou de glycémie*. INSA Rennes, Département Informatique, Septembre 1996.
- [3] Psion PLC. *Psion Series 3, Manuel de programmation*, 1991.
- [4] Psion PLC. *Psion OPL/g Software developer*, 1993.
- [5] Franck Sajous. *Modélisation floue des variations glycémiques, Manuel utilisateur*, Septembre 2000.