

**THESE  
POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**Soutenue publiquement le 16 janvier 2024**

**Par M Maillot—Tran-Thi Marc**

---

**Impact de la course à pied sur la prise en charge du  
diabète de type 1 : revue des aspects cliniques,  
thérapeutiques et conseils pratiques.**

---

**Membres du jury :**

**Président** : Gressier Bernard Professeur de Pharmacologie (PU-PH) à la faculté de Pharmacie, Université de Lille, Praticien hospitalier au Centre Hospitalier d'Armentières

**Directeur, conseiller de thèse** : Monsieur Bruno Frimat ; Maître de conférences associé en Pharmacie Clinique, Faculté de Pharmacie, Université de Lille - Pharmacien – Praticien Hospitalier au CH Lens

**Membre extérieur** : Le Blanc Lucie, pharmacien d'officine



## Faculté de Pharmacie de Lille

3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille  
03 20 96 40 40  
<https://pharmacie.univ-lille.fr>

### Université de Lille

Président  
Premier Vice-président  
Vice-présidente Formation  
Vice-président Recherche  
Vice-présidente Réseaux internationaux et européens  
Vice-président Ressources humaines  
Directrice Générale des Services

Régis BORDET  
Etienne PEYRAT  
Christel BEAUCOURT  
Olivier COLOT  
Kathleen O'CONNOR  
Jérôme FONCEL  
Marie-Dominique SAVINA

### UFR3S

Doyen  
Premier Vice-Doyen  
Vice-Doyen Recherche  
Vice-Doyen Finances et Patrimoine  
Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires  
Vice-Doyen RH, SI et Qualité  
Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie  
Vice-Doyen Territoires-Partenariats  
Vice-Doyenne Vie de Campus  
Vice-Doyen International et Communication  
Vice-Doyen étudiant

Dominique LACROIX  
Guillaume PENEL  
Éric BOULANGER  
Damien CUNY  
Sébastien D'HARANCY  
Hervé HUBERT  
Caroline LANIER  
Thomas MORGENROTH  
Claire PINÇON  
Vincent SOBANSKI  
Dorian QUINZAIN

### Faculté de Pharmacie

Doyen  
Premier Assesseur et Assesseur en charge des études  
Assesseur aux Ressources et Personnels :  
Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement  
Assesseur à la Vie de la Faculté  
Responsable des Services  
Représentant étudiant

Delphine ALLORGE  
Benjamin BERTIN  
Stéphanie DELBAERE  
Anne GARAT  
Emmanuelle LIPKA  
Cyrille PORTA  
Honoré GUISE

### Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

### Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique - RMN	85
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	CHAVATTE	Philippe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques	87
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87

Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique - RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bioinorganique	85
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques	87
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie	86
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86
M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHERAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

### Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BLONDIAUX	Nicolas	Bactériologie - Virologie	82
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

### Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	AGOURIDAS	Laurence	Chimie thérapeutique	85
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie	87
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
Mme	BARTHELEMY	Christine	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	85
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie - Virologie	87
M.	BELARBI	Karim-Ali	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87

Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87
Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie	87
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	KARROUT	Youness	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87

Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85
Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations pédagogiques	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

### Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

### Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

### Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	85
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques	85

### Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81

### Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	GEORGE	Fanny	Bactériologie - Virologie / Immunologie	87
Mme	N'GUESSAN	Cécilia	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	RUEZ	Richard	Hématologie	87
M.	SAIED	Tarak	Biophysique - RMN	85
M.	SIEROCKI	Pierre	Chimie bioinorganique	85

### Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière

## Faculté de Pharmacie de Lille

3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille  
03 20 96 40 40  
<https://pharmacie.univ-lille.fr>

**L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs**

## Remerciements

Tout d'abord, je suis reconnaissant envers mon directeur de thèse, Monsieur Bruno Frimat pour ses conseils éclairés, ses remarques constructives ont été des éléments clefs dans l'aboutissement de ce projet.

À Monsieur le Professeur Bernard Gressier qui me fait l'honneur de présider mon jury de thèse. Merci pour votre sens de la pédagogie durant toutes ces années et votre bienveillance.

Je suis profondément reconnaissant envers ma famille pour leur soutien depuis toutes ces années et particulièrement au cours de mon cursus universitaire.

Merci à tous mes amis pour ses bons moments passés, présents et futurs.

Merci à Lucie Le Blanc d'avoir accepté d'être jury à ma thèse et de d'avoir été un soutien du début jusqu'à la fin de l'écriture de la thèse.

## Table des matières

I.	Le diabète de type 1 en revue et la technologie au service des patients.....	22
A.	Clinique, diabète.....	22
1.	Épidémiologie et définition :.....	22
2.	Rappel des différentes formes de diabètes :.....	23
3.	Physiopathologie.....	24
4.	Clinique.....	27
5.	Diagnostic.....	31
B.	Prise en charge thérapeutique.....	31
1.	Principes généraux :.....	31
2.	Autosurveillance glycémique :.....	32
3.	Surveillance.....	33
4.	Insulinothérapie.....	34
5.	Les vecteurs :.....	41
C.	Prise en charge alternative :.....	48
1.	Non thérapeutique.....	48
2.	Télé médecine.....	52
II.	Activité physique et diabète : impacts, risques et stratégies de prévention.....	55
A.	Intérêt de l'activité physique chez le diabète.....	55
1.	Bénéfices sur le contrôle glycémique :.....	55
2.	Bénéfices sur les complications cardiovasculaires.....	56
3.	Autres.....	57

B.	Particularités métaboliques.....	57
1.	Risques hypoglycémie :.....	57
2.	Risque hyperglycémique.....	60
3.	Particularités cardiorespiratoires et musculaires.....	61
4.	Conséquences sur les performances à l'exercice aérobique, et la force musculaire.....	63
C.	Prévention du risque d'hypoglycémie et de variabilité glycémique induite par l'exercice.....	65
1.	Education préalable et évaluation de la condition physique.....	65
2.	Planification progressive de l'entraînement.....	68
3.	Modulation de l'insuline :.....	70
4.	Alimentation :.....	76
5.	Gestion des hypoglycémies simple, sévère, hyperglycémie avec cétone, et des hyperglycémies.....	83
6.	Matériel pour la compétition (hydratation, alimentation, surveillance glycémique, insuline.....)	84
7.	Récupération après un effort long.....	85
III.	Application des recommandations pratiques : Cas pratique et accompagnement thérapeutique.....	87
A.	Cas pratique.....	87
1.	Comment se prépare un sportif diabétique de type 1 en pratique ?.....	87
2.	Quelle est la stratégie d'un sportif diabétique de type 1 le jour de la compétition ?.....	88
3.	Comment gère un sportif diabétique de type 1 la période post-compétition ?	89
4.	Conclusion :.....	89

B.	Conseil à l'officine : Accompagnement thérapeutique et pratique.....	90
1.	Recommandations pharmaco-thérapeutiques et matériels :.....	90
3.	Conseils podologiques.....	95
4.	Conseils nutritionnels.....	96
5.	Conseils hydratation.....	98
6.	Orienter le patient vers des associations :.....	99
IV.	Conclusions :.....	100

## Table des illustrations :

Figure 1 différentes causes du diabète de type 1 (5).....	22
Figure 2 Mécanismes immunitaires du diabète de type 1 selon l'INSERM (6).....	23
Figure 3 Anticorps (11).....	24
Figure 4 : Histoire naturelle du diabète de type 1 .....	26
Figure 5 Symptômes annonciateurs d'une hypoglycémie et leur incidence (18). .....	29
Figure 6 complications microangiopathiques (21).....	30
Figure 7 exemple de modèle de surveillance glycémique (28).....	32
Figure 8 représentation de l'insuline (32).....	34
Figure 9 graphe représentant les différents profils d'activité des insulines en fonction du temps. Les insulines biphasiques ne sont pas représentées (35). .....	35
Figure 10 Graphe représentant l'action d'une insuline mixte (31). .....	37
Figure 11 Tableau des insulines (37). .....	39
Figure 12 schéma d'un traitement insulinique (37).....	40
Figure 13 les sites d'injections (41).....	42
Figure 14 les différents tissus (45).....	44
Figure 15 pompe à insuline(50). .....	45
Figure 16 exemple de stylo connecté, le Novo Pen 6(56).....	47
Figure 17 Courbe de Howald (64). .....	51
Figure 18 Arbre décisionnelle à la prescription d'activité physique.....	70
Figure 19 Tableau récapitulatif des modifications de doses d'insulines pour des activités physiques de courtes durées (<1h).....	75

Figure 20 Recommandations diététiques pour la pratique d'une activité physique long (>1 heure) (111). .....	78
Figure 21 Recommandation d'apports glucidiques quotidien pour les athlètes en endurance (119,126). .....	80
Figure 22 Stratégies d'apports en glucides intenses pour les athlètes (126). .....	81
Figure 23 Résumé de la nutrition pendant les différentes courses (127,128,130). ....	83
Figure 24 Spray adhésif Cavillon® (139). .....	91
Figure 25 film tegaderm® (140). .....	91
Figure 26 Brassard de capteur freestyle Abbott (141). .....	92
Figure 27 GlucaGen kit® et son schéma explicatif d'administration (147). .....	94
Figure 28 Administration du Baqsimi® (147). .....	95

## Liste des abréviations :

ADA : American Diabetes Association

ADP : Adénosine Diphosphate

ALD : Affection Longue Durée

AP : Activité Physique

APA : Activité Physique Adapté

ATP : Adénosine Triphosphate

AMP : Adénosine monophosphate

CMH : Complexe Majeur d'Histocompatibilité

C : Celsius

CI : Contre-Indication

CL : Centilitre

COVID19 : CoronaVirus Diseases 2019

CV : Cardiovasculaire

DB : Débit de Base

DT1 : Diabétique de Type 1

DM : Dispositif Médical

ECG : électrocardiogramme

FFD : Fédération Française des Diabétiques

g/L : Gramme par Litre

GAD : Décarboxylase de l'Acide Glutamique

HAS : Haute Autorité de Santé

HDL : High Density Lipoproteins ou Lipoprotéines de haute densité

H : Heure

HLA : Human Leucocyte Antigen

IA2 : Islet Antigen Number 2

IG : Index Glycémique

J : jour

H : heure

HGPO : Hyperglycémie Provoquée par Per OS

HbA1c : Hémoglobine glyquée A1c

Kg : Kilogramme

Km : kilomètre

LDL : Low Density lipoproteins

L : Litre

mg/dL : Milligramme par Décilitre

MII : Multiple Insulin Injection

ML : millilitre

mmhg : millimètre de mercure

mmol/L : Millimole par Litre

NFC : New Fiel Communication

NO : Monoxyde d'Azote

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PC : Phosphocréatine

GLUT4 : glucose transporter type 4

S/C : Sous Cutané

SNC : Système Nerveux Centrale

UI : Unité Internationale

VO2 max : Volume d'Oxygene maximal

VMA : Vitesse Maximale Aérobie

ZnT8 : Zinc Transporter Type 8

## Introduction

Le diabète est une pathologie très répandue, touchant à peu près 3,7 millions de personnes rien qu'en France, on considère que 10% des personnes atteintes de diabète sont de type 1. Cette maladie auto-immune bien décrite à ce jour, a une prévalence qui ne cesse d'augmenter.

Le siècle dernier a connu un essor exceptionnel dans la découverte et le développement du traitement et de la prise en charge du diabète de type 1. Les malades ont une espérance de vie nettement améliorée et une qualité de vie bien meilleure. Malgré les avancés, il est nécessaire d'avoir une adhésion importante aux traitements et une bonne hygiène de vie pour promouvoir sa bonne santé cardiovasculaire. Associé traitement et activité physique sont deux aspects de la gestion du diabète, bien qu'il existe un accompagnement spécialisé dans cette maladie. Pratiquer une activité régulière et adaptée avec la maladie améliore la santé cardiométabolique et allonge l'espérance de vie.

Tout individu peut s'adonner à une activité physique, allant du niveau le plus simple jusqu'à la compétition sportive. Cependant, l'effort physique suscite la nécessité de gérer sa glycémie avant, pendant et après l'exercice, en contrôlant son taux d'insuline et en ajustant son régime alimentaire. Dans cet exposé, nous examinerons plus particulièrement l'impact de la course à pied sur les personnes atteintes de diabète.

Nous aborderons d'abord la physiopathologie du diabète, les traitements et les prises en charges actuelles, puis nous détaillerons les bénéfices liés à l'activité physique, le métabolisme particulier des diabétiques de type 1 et les modalités de gestion de l'insuline et de l'alimentation pour prévenir les variations glycémiques du sportif lors des entraînements ou des jours de compétitions. Enfin, nous illustrerons ces préceptes en détaillant le comportement des sportifs en pratique

## I. Le diabète de type 1 en revue et la technologie au service des patients.

### A. Clinique, diabète.

#### 1. Épidémiologie et définition :

Le diabète de type 1 est une maladie assez répandue. La France compte 3,7 millions de cas, sans compter les diabétiques qui s'ignorent. Cette pathologie présente une incidence d'environ 15 cas pour 100 000 habitants. Parmi la totalité des patients atteints de diabète, le type 1 correspond à 10% des malades. C'est une maladie déclarée souvent jeune car un cas sur deux se révèle avant les 20 ans. (1,2) Il existe un gradient Nord-Sud, enfin le sex-ratio est proche de 1 (3).

Cette pathologie est liée au dysfonctionnement de lymphocytes T, les cellules du système immunitaire, identifiant nos cellules bêta des îlots de Langerhans comme étrangères, provoquant ainsi leur élimination et ayant comme conséquences l'absence de production d'insuline. C'est donc une maladie auto-immune, avec une susceptibilité génétique que nous verrons après, puis déclenchée par un facteur environnementale inconnu à ce jour (4).

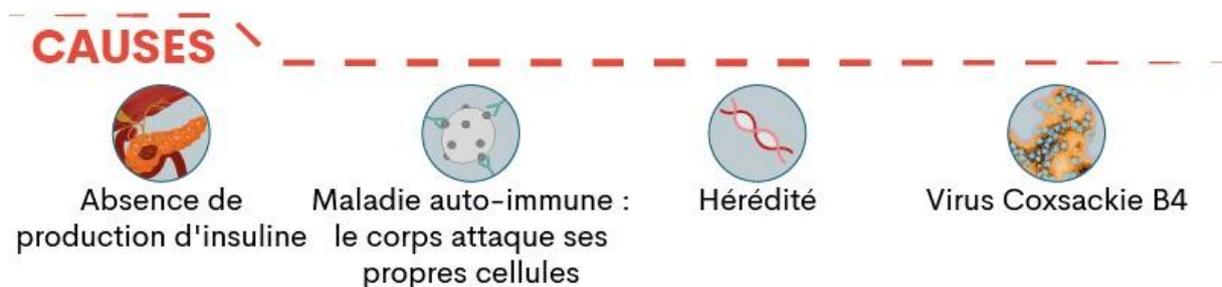


Figure 1 Différentes causes du diabète de type 1 (5)

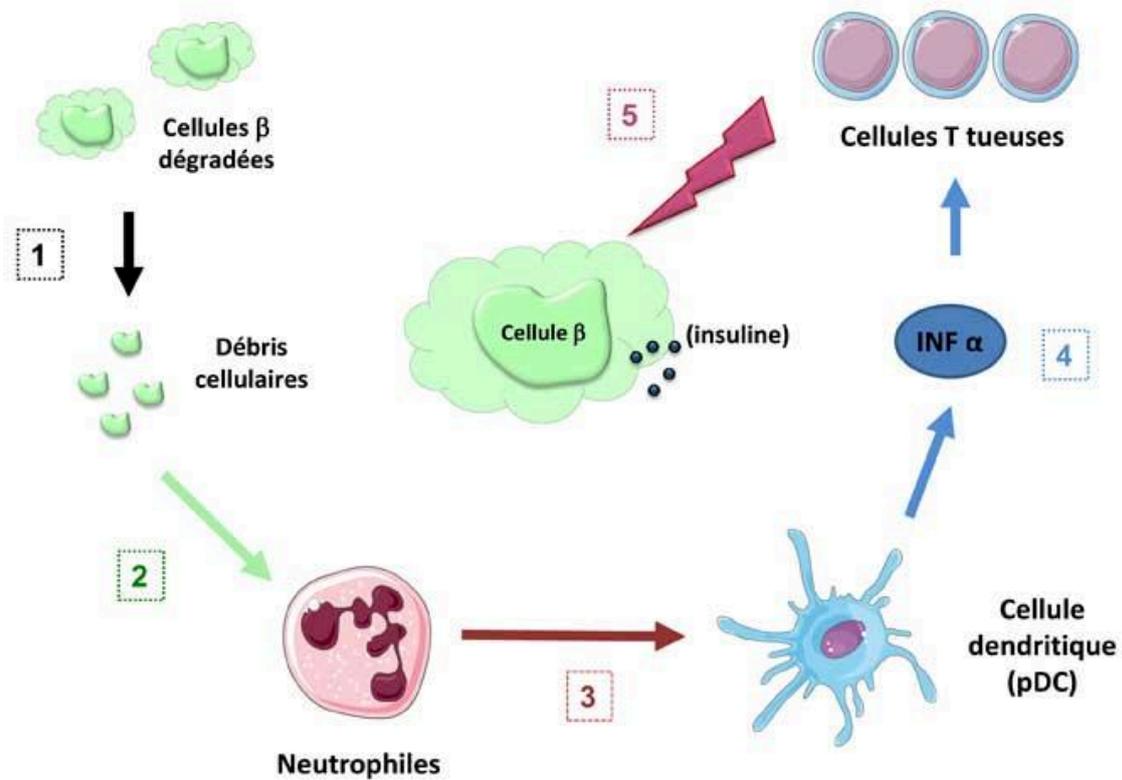


Figure 2 Mécanismes immunitaires du diabète de type 1 selon l'INSERM (6)

## 2. Rappel des différentes formes de diabètes :

**Diabète de type 1 classique :** Il s'agit de la forme la plus courante de diabète de type 1 et touche généralement les enfants et les jeunes adultes. Elle se caractérise par l'apparition rapide de symptômes tels qu'une augmentation de la soif et de la miction, une perte de poids et de la fatigue. C'est cette pathologie que nous détaillerons plus en profondeur (7).

**Diabète fulminant de type 1 :** Il s'agit d'une forme rare de diabète de type 1 qui survient soudainement et sévèrement, avec des symptômes qui se développent au fil des heures ou des jours. Elle est plus fréquente chez les Asiatiques et se caractérise par une perte soudaine de cellules productrices d'insuline et une grave inflammation du pancréas (8).

**Diabète auto-immun latent chez l'adulte (LADA Latent Autoimmune Diabetes in Adults) :** Le LADA est une forme de diabète qui survient chez les adultes de plus de

30 ans et est souvent diagnostiqué à tort comme un diabète de type 2. Elle se caractérise par une apparition et une progression lentes des symptômes et la présence d'auto-anticorps qui attaquent les cellules productrices d'insuline (9).

Diabète idiopathique de type 1 : Il s'agit d'une forme rare de diabète de type 1 qui survient chez des personnes sans marqueurs auto-immuns connus ni autres facteurs de risque. Elle est souvent diagnostiquée à l'âge adulte et se caractérise par une perte progressive des cellules productrices d'insuline (10).

Dans l'ensemble, le diabète de type 1 est une maladie complexe et à multiples facettes qui peut se présenter sous diverses formes, et il est important d'être suivi par un spécialiste pour diagnostiquer et gérer correctement la maladie. Le contexte éducationnel est omniprésent dans le « quotidien » de cette pathologie chronique mais aux conséquences graves et aiguës encore trop répandues et pourtant évitables.

### 3. Physiopathologie. a) Immunologie :

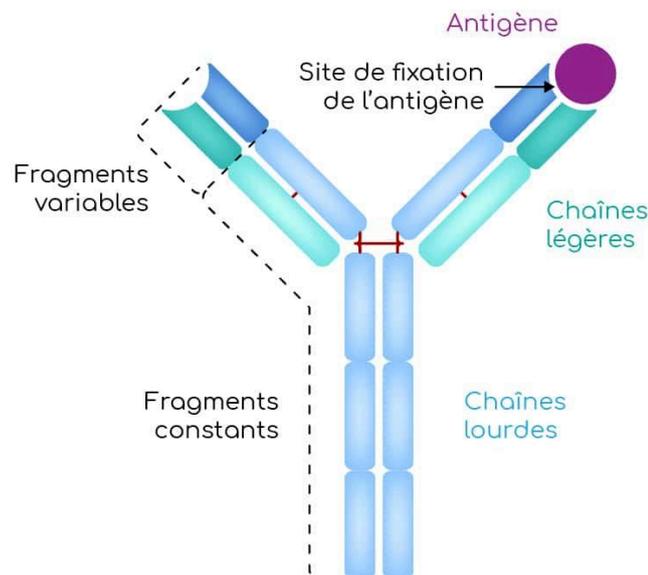


Figure 3 Anticorps (11).

Le diabète de type 1 est une maladie chronique auto-immune dans 90% des cas, et 10% idiopathiques, caractérisé par une carence absolue en insuline. Une maladie auto-immune est un type de maladie où le système immunitaire identifie par erreur

les tissus sains comme des envahisseurs étrangers et les attaque par la production d'auto-anticorps. Cette absence d'insuline est liée comme dit précédemment par une destruction spécifique des cellules bêta des îlots de Langerhans, sans atteinte d'autres cellules telles que les cellules alpha par exemple, responsable de la synthèse du glucagon. Le diagnostic repose logiquement sur la présence d'autoanticorps spécifiques qui seront les marqueurs de la pathologie (3,4).

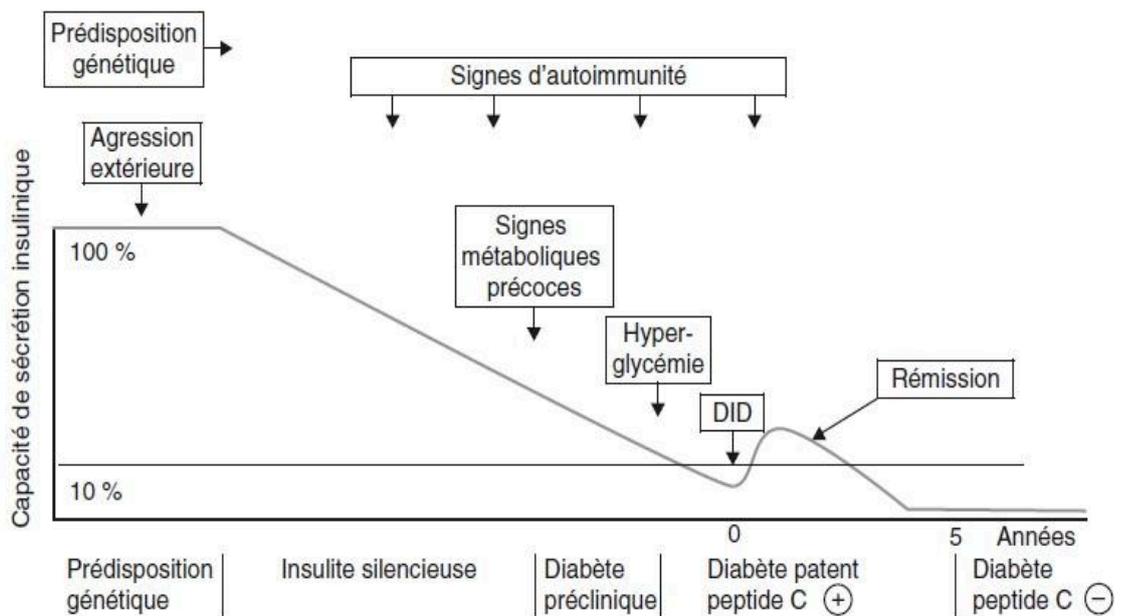
Ces autoanticorps ont pour cibles antigéniques :

- L'insuline et la proinsuline
- La décarboxylase de l'acide glutamique ou GAD
- L'Islet Antigen Number 2 ou l'IA2

Lors du diagnostic, on retrouve dans 97% l'un des autoanticorps témoins ciblant l'une de ces cibles, soit les autoanticorps :

- Anti-îlots
- Anti-GAD
- Anti-IA2
- Anti-insuline
- Anti-ZnT8 (transporteur du zinc de la cellule bêta)

Malgré un diagnostic possible, il n'y a aucun traitement possible pour stopper, ou ralentir la progression de la maladie. Ces autoanticorps sont des témoins de la réponse immune, des témoins d'une lésion des cellules situées dans le pancréas, aboutissant progressivement à l'arrêt de la production d'insuline en 3 étapes, et finalement à ses nombreuses conséquences (3).



La figure 1 (12) représente les 3 stades de l'évolution du diabète de type 1, ainsi, on reconnaît :

- Stade 1 : une activation du système immunitaire. L'individu restant asymptomatique car il y a toujours une synthèse d'insuline répondant aux besoins. C'est une insulite silencieuse, c'est-à-dire une cascade immunitaire conduisant à la destruction des cellules bêta sans bruit malgré l'apparition de marqueurs biologiques.
- Stade 2 : Les premiers signes peuvent être trouvés par des examens biologiques spécifiques, révélant alors l'altération de la fonction pancréatique
- Stade 3 : la maladie, les symptômes d'hyperglycémies

### *b) Génétique :*

Cette pathologie a une composante génétique, cela signifie qu'elle a tendance à se manifester chez les membres d'une même famille. Cependant, il ne s'agit pas d'une maladie héréditaire au sens strict du terme. Statistiquement il y a un risque dans la population générale de 0,4% de risque de développer un diabète de type 1, qui augmente à 10% s'il existe un membre de la famille apparenté de 1<sup>er</sup> degré, et de 30 à 50% si un jumeau monozygote déclenche la pathologie (13).

Parmi les gènes possibles, on retrouve principalement dans le système HLA (Human Leucocyte Antigen), le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) du chromosome 6 des antigènes DR3 et DR4 prédisposant à la pathologie. On retrouve d'autres

gènes étudiés qui s'avèrent jouer un rôle à la maladie, parmi elles : le PTPN22, l'interleukine IL22RA et de nombreux autres encore à l'étude (7).

### c) *Environnement :*

S'il existe une susceptibilité génétique, il se peut qu'on ne déclenche pas la maladie, il faut alors un facteur environnemental pour provoquer ce processus. L'existence de facteurs environnementaux est évoquée par le fait que les jumeaux monozygotes ne déclenchent pas tous cette affection : sont évoqués le rôle d'une infection à certains virus, l'alimentation « industrielle » (lait de vache, introduction précoce de céréales etc..) une modification de la flore intestinale. En somme, la pathologie est un processus multifactoriel, et le facteur environnemental est encore mal cerné à ce jour (3).

## 4. Clinique.

### a) *Symptômes :*

Le diagnostic du diabète de type 1 est le plus souvent posé lors d'une décompensation aiguë. En effet, le patient est asymptomatique lors de la première phase de la maladie, c'est-à-dire tant qu'il y a encore suffisamment encore de cellules pour produire de l'insuline. Puis se révèle le syndrome cardinal, soit :

- Polyuro-polydipsie : signifiant un dépassement du seuil de réabsorption du glucose par le rein. Indiquant une hyperglycémie franche, ce qui est commun à toute forme de diabète.
- Amaigrissement.
- Polyphagie.

Avec ce syndrome, nous aurons des troubles visuels transitoires, une fonte musculaire autant qu'adipeuse, expliquant une asthénie, des signes d'acidose, une hyperglycémie souvent élevée permettant le diagnostic (3).

### b) *Complications.*

(1) A court terme.

(a) L'acidocétose diabétique :

La décompensation aiguë est souvent appelée acidocétose inaugurale, apparaissant quelques semaines après les premiers symptômes du diabète chez l'enfant. Nous

sommes dans le dernier stade de l'évolution de la maladie, lorsqu'il y a une carence en insuline ne permettant plus de répondre à nos besoins. Notre corps cherche alors à subvenir à ses besoins par d'autres réserves énergétiques, tel que les muscles et les acides gras, entraînant la production de substances acides nommés corps cétoniques, expliquant l'amaigrissement, et le symptôme caractéristique d'haleine à l'odeur cétonique.

L'accumulation de substances acides provoque divers symptômes : nausées, vomissements, maux de ventre, difficultés à parler, à respirer, confusion et coma. Nécessitant une hospitalisation et un traitement par insuline (3,14).

#### (b) Coma hyperosmolaire :

Plus présent chez le diabète de type 2, on peut le retrouver chez le diabète de type 1. Résultante d'une hyperglycémie majeure donc d'une concentration de sucre dans le sang très élevée, et d'un facteur déclenchant représenté par un état de stress, ou une agression importante telle qu'une intervention chirurgicale, infection etc...

Les symptômes sont une déshydratation intense, une chute de la pression artérielle, une confusion, une tachycardie, allant jusqu'au coma hyperosmolaire, nécessitant une hospitalisation et une réhydratation d'urgence (14,15).

#### (c) Hypoglycémie :

L'hypoglycémie se définit par une glycémie excessivement basse de l'ordre d'un taux inférieur à 0.6 g/l soit 3,3 mmol/L (16), s'accordant avec une manifestation clinique reconnaissable et qu'il est nécessaire à chaque patient d'identifier pour pouvoir réagir au plus vite. L'hypoglycémie sévère est définie par une crise nécessitant l'assistance d'une tierce personne pour aider le malade à se resucrer. Elle survient lorsque la glycémie est inférieure à 0,5 g/L ou 2,8 mmol/L. Souvent lié chez le diabétique de type 1 à un taux circulant d'insuline trop élevé, on peut suspecter une alimentation inadaptée (repas sauté, insuffisant, trop retardé...) ou une activité physique non prévue, non réfléchie (17).

Les symptômes sont un signal d'alarme par la stimulation du système sympathique, reconnaissable par : des fringales, une sudation, des tremblements, troubles de l'attention, faiblesse, nervosité, peau froide et moite, vertige, palpitation... (14) ces symptômes peuvent passer inaperçus chez certaines personnes si leur durée est brève, ne laissant pas le temps à l'organisme de répondre. Peuvent alors apparaître des symptômes de neuroglucopénie : diplopie, lenteur d'idéation, trouble de la conscience et jusqu'au coma.

Symptôme	Incidence (Estimation générale)
Tremblements	Environ 70-80%
Transpiration excessive	Environ 65-75%
Palpitations	Environ 60-70%
Sensation de faim	Environ 60-70%
Étourdissements	Environ 50-60%
Fatigue	Environ 50-60%
Irritabilité	Environ 45-55%
Vision floue	Environ 35-45%
Pâleur	Environ 30-40%
Engourdissement des lèvres ou de la langue	Environ 20-30%
Maux de tête	Environ 15-25%
Confusion	Environ 10-20%
Convulsions	Moins de 5%

Figure 5 : Symptômes annonciateurs d'une hypoglycémie et leur incidence (18).

Ces pourcentages sont basés sur des données générales et peuvent varier d'une personne à l'autre.

Une crise d'hypoglycémie est de survenue brutale, pouvant aller jusqu'au coma grave. La peur de l'hypoglycémie est un frein à l'obtention d'un équilibre glycémique correcte nécessaire au contrôle des complications micro et microangiopathiques que nous détaillerons. L'éducation du patient et de son entourage est alors primordiale (19).

## (2) A long terme.

### (a) Microangiopathie :

Ce type de complications se développe après plusieurs années, et est donc observé chez les adultes. Le risque de développer une complication est lié à la durée et à la sévérité des hyperglycémies. Ici, les difficultés se localisent dans la micro-vascularisation, ou les petits vaisseaux, elles atteignent alors différents organes, induisant :

- La rétinopathie diabétique, et la cataracte diabétique
- Une néphropathie, le diabète est la première cause de mise sous dialyse
- Les neuropathies, par perte de sensibilité, décharge électrique, douleur. Lésant les nerfs des pieds, jambes

- Ralentit la cicatrisation et laisse passer les infections plus fréquemment, notamment celles de la bouche, d'où les gingivites, parodontites à répétition (14,20).

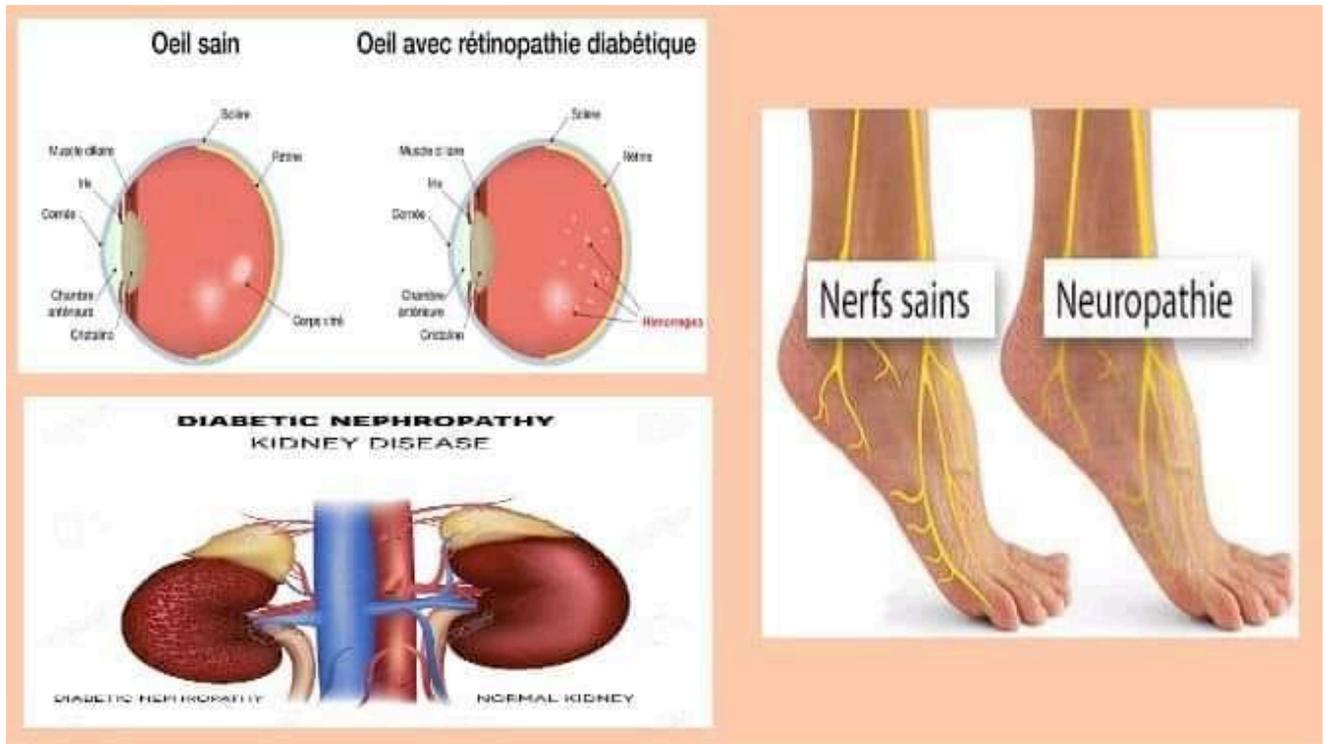


Figure 6 complications microangiopathiques (21).

#### (b) Macro-angiopathie :

Ici on touche les artères principales qui subissent un rétrécissement tout au long du corps. Résultant d'une athérosclérose provoquée par une inflammation chronique et des lésions des parois artérielles. En réponse aux lésions de l'endothélium et de l'inflammation, les lipides oxydés des particules LDL s'accumulent dans la paroi endothéliale, de plus, l'angiotensine II favorise l'oxydation de certaines particules, les monocytes jouent également un rôle en s'infiltrant dans la paroi artérielle, se différencient en macrophages qui accumuleront des lipides oxydés pour former une mousse cellulaire. Tout ceci crée une plaque d'athérome, dont la rupture mènera à l'infarctus vasculaire. En clair, les personnes souffrant de cette affection sont plus à risque d'accident vasculaire cérébral, d'infarctus, et artérite des membres inférieurs (22).

5. Diagnostic.  
a) *Glycémie à jeun :*

La glycémie est une mesure permettant le dépistage du diabète, selon différents contextes, symptômes (23,24) :

- Une glycémie normale est située entre 0,70g/l à 1,10g/l soit une concentration comprise dans l'intervalle [3,90 ; 5,90] mmol/L, et <1,40g/L soit <7,80 mmol/L si elle est réalisée 1h30 après un repas.
- Une hyperglycémie modérée est supérieure à 1,10g/l (5,90 mmol/L) jusqu'à 1,26g/l (6,99 mmol/L).
- On évoquera un diabète sucré à 1,26g/l et au-delà (soit >6,99 mmol/L).

b) *Hyperglycémie provoquée :*

Ce moyen de diagnostic nécessite l'absorption de 75g de glucose en 10 minutes, c'est l'HGPO (Hyperglycémie provoquée par voie orale). Ce dernier est préconisé lorsque la glycémie à jeun se situe entre 1,10g/l et 1,26 g/l, soit dans l'intervalle [5,90 ; 6,99] mmol/L. On mesure le taux de glucose dans le sang 2 heures après la charge orale, le diagnostic de diabète sera posé si la glycémie est égale ou supérieur à 2g/l (11,00 mmol/L) à noter qu'entre 1,40g/l et 2,0g/l ( [7,80 ; 11,10] mmol/L) on parlera d'intolérance au glucose (3).

c) *Diagnostic dans un contexte d'urgence :*

Dans un contexte d'urgence, on retrouvera alors le syndrome cardinal détaillé plus haut, avec une glycémie supérieure ou égale à 2,0g/l (11,10 mmol/L) à n'importe quel moment de la journée (3).

B. *Prise en charge thérapeutique.*

1. *Principes généraux :*

L'objectif est de prévenir les complications à long terme, étant une maladie chronique avec de nombreuses complications métaboliques, l'adhésion du patient et son implication seront primordiales puisqu'il doit assurer lui-même les contrôles glycémiques, les injections d'insuline, et adapter son alimentation, ses activités quotidiennes à son nouveau statut, afin de ralentir sa pathologie. Les objectifs seront évalués par l'hémoglobine glyquée HbA1c, à moduler par le spécialiste selon l'évolution de la maladie, en prenant en compte le risque d'hypoglycémie. En moyenne, on la fixe à moins de 7,5%, qu'on considère comme bien équilibrée (25,26).

## 2. Autosurveillance glycémique :

La mesure du glucose est essentielle dans l'intention d'adapter ses doses d'insuline. Les objectifs sont alors un meilleur suivi de son diabète, et de pouvoir gérer les situations d'urgences. La surveillance a longtemps reposé sur des mesures de glycémiques contraignantes, sur sang capillaire par piqûre du doigt plusieurs fois par jour. Ce modèle était loin d'être parfait car en ne donnant que la glycémie instantanée, on pouvait obtenir des résultats rassurants sur le moment, et cachait en réalité des périodes d'hypoglycémies, et/ou d'hyperglycémies. Depuis quelques années, l'autosurveillance a fortement évolué avec l'arrivée de dispositifs innovants : les systèmes de mesure du glucose en continu, ces derniers ont permis un meilleur contrôle glycémique, et ainsi, de diminuer l'HbA1c, anticiper les hypoglycémies même non ressenties, d'améliorer la qualité de vie, et réduire les admissions à l'hôpital pour complications aiguës (27).



Figure 7 exemple de modèle de surveillance glycémique (28).

Il existe plusieurs modèles :

- Les systèmes transmettant en continu les données au capteur.

Ce système utilise un capteur placé sous la peau pour mesurer les niveaux de glucose dans le liquide interstitiel. Il mesure la glycémie à une fréquence courte de quelques minutes et envoie les données sans fil à un récepteur ou sur l'application pour smartphone. La lecture de la glycémie en temps réel peut aider les malades à prendre de meilleures décisions concernant l'alimentation, l'activité physique et leur dose d'insuline.

- Les systèmes affichant les données rétroactivement par scan du capteur (29).

Le système flash permet de connaître sa glycémie uniquement après avoir scanné son capteur.

### 3. Surveillance

#### a) *Hémoglobine glyquée :*

L'hémoglobine glyquée ou HbA1c, est une hémoglobine qui a subi une glycation, c'est une réaction non enzymatique et irréversible dépendant de la glycémie et du temps d'exposition au glucose. Il existe différents types d'hémoglobine glyquée (HbA1a, HbA1b... dépendant de leur temps de migration à l'électrophorèse) mais l'HbA1c est le plus représentatif du taux de glycémie moyen. La demi-vie d'un érythrocyte étant longue, en moyenne 120 jours, l'hémoglobine glyquée est un bon marqueur de la glycémie moyenne sur la période (30).

L'objectif couramment recommandée est une hémoglobine glyquée (HbA1c) inférieure à 7% selon (31), cependant, il faut noter que l'objectif spécifique peut être ajusté en fonction de la situation clinique et des besoins individuels.

#### b) *Autres surveillances :*

Les patients diabétiques nécessitent un suivi très complet, du fait des nombreux organes pouvant être atteints par les complications de micro et macro-angiopathies. Ainsi, il est conseillé de voir :

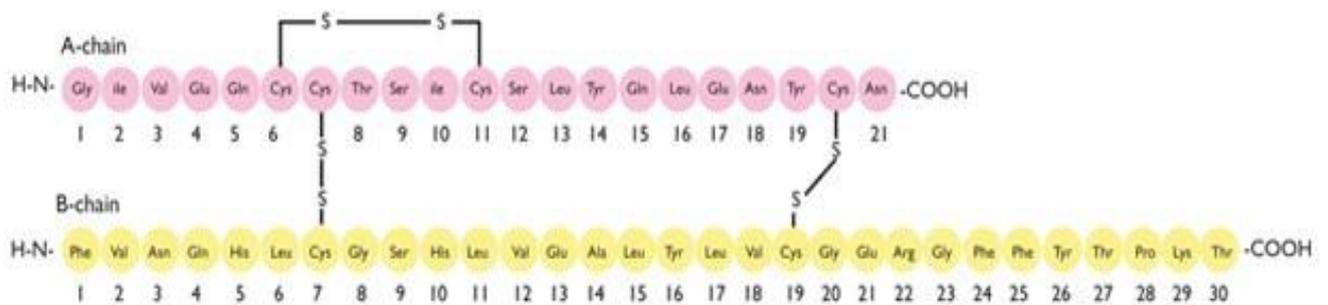
- Un cardiologue une fois par an si le patient est âgé, fragile, de longue durée etc...
- Un dentiste une fois par an.

- Un podologue une fois par an pour un contrôle et évaluation du risque de plaie du pied avec évaluation neurologique.
- Voir son endocrinologue 3 à 4 fois par an pour un bilan complet.
- Faire une prise de sang pour un bilan complet lipidique, rénale, etc...
- Un ophtalmologue minimum une fois par an selon l'appréciation du spécialiste (3).

#### 4. Insulinothérapie.

##### a) Structure de l'insuline :

L'insuline est un complexe, composé de deux chaînes polypeptidiques A et B reliées par deux ponts disulfures auxquels s'ajoute un pont disulfure intra-chaîne.



©ABPI 2005

Figure 8 représentation de l'insuline (32).

La figure précédente est une molécule d'insuline, reliée par des ponts disulfures, les deux chaînes sont allongées pour un souci de clarté, mais en réalité les ponts disulfures sont de même taille, et la molécule est repliée.

L'insuline est spécifique à chaque espèce, mais l'insuline porcine, et bovine, sont très proches de celle humaine :

- L'insuline bovine a une différence de 3 acides aminés, dont deux sur la chaîne A en position 8 et 10, et un sur la chaîne B en position 30.
- L'insuline porcine diffère uniquement sur 1 acide aminé en position 30 de la chaîne B (33).

C'est la forme monomérique de l'insuline qui est active, mais dans certaines conditions, l'insuline forme des dimères, parfois des hexamères, ce qui entraîne des

cristaux de stockage et entraînant alors un retard de diffusion. Cette propriété est utilisée pour :

- Avoir une libération lente et continue pour satisfaire le besoin basal en insuline, on cherchera à avoir une forme hexamérique, la diffusion sera ralentie car il faudra dissocier l'hexamère en monomère. C'est l'insuline lente.
- Avoir une libération rapide, un pic pour un besoin rapide, lors des repas. Il faut une forme monomérique, c'est l'insuline rapide (34).

b) Variétés d'insulines :

Le traitement par insuline est un traitement palliatif de remplacement hormonal pour la vie entière. Les grands progrès ont permis de rendre l'imprégnation à l'insuline la plus physiologique possible, c'est-à-dire d'avoir des pics d'insuline rapide calqués sur les pics glycémiques prandiaux et de pouvoir couvrir une journée complète avec l'insuline lente.

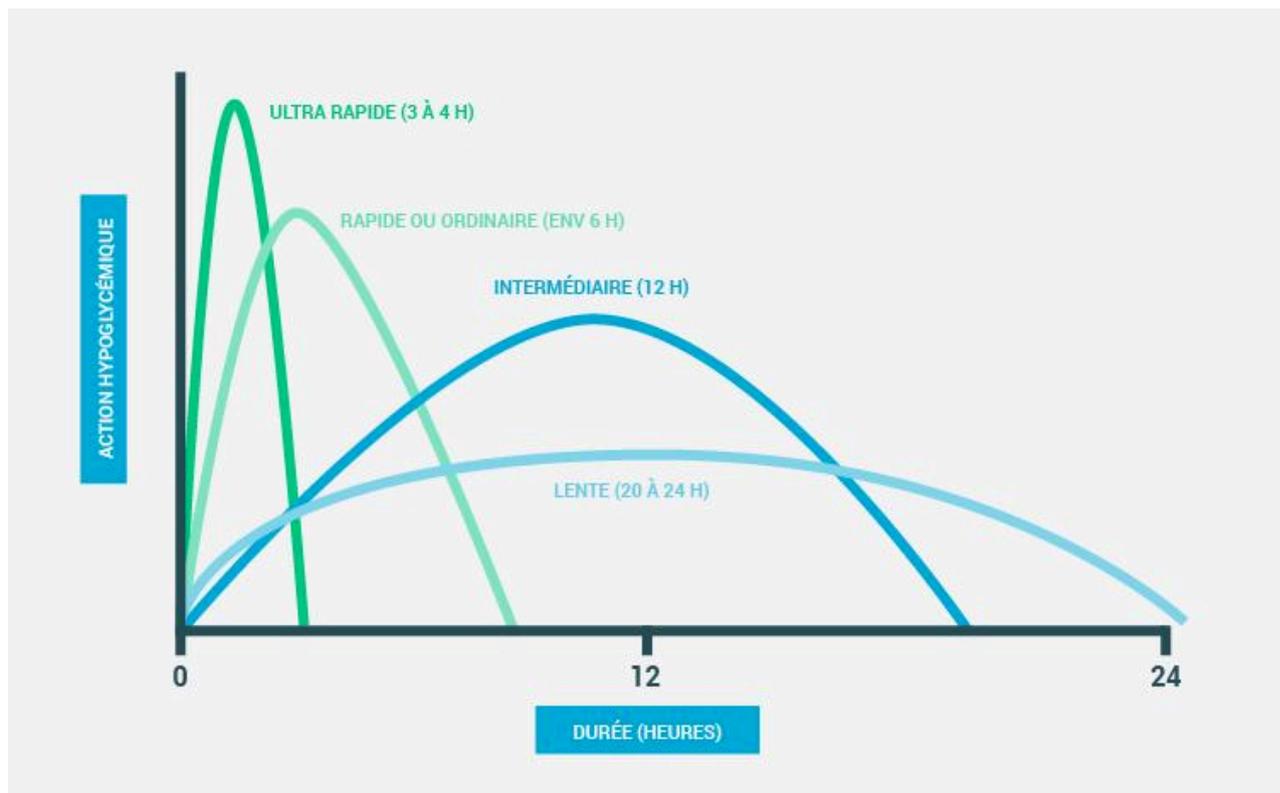


Figure 9 graphe représentant les différents profils d'activité des insulines en fonction du temps. Les insulines biphasiques ne sont pas représentées (35).

Nous détaillerons ci-après chaque profil d'insuline.

### (1) Insuline humaine recombinante ou biogénétique :

L'insuline humaine recombinante est une insuline rigoureusement identique à l'insuline humaine. Leur temps de latence est d'environ 30 à 45 minutes pour un pic d'activité à environ 2 à 3 heures. Ce qui fait alors qu'elles sont moins utilisées que les insulines rapides, qui réduiront le risque d'hypoglycémie à distance des repas. Les insulines disponibles sont : Actrapid®, Umuline® rapide, Insuman® qui n'est plus commercialisée.

### (2) Insuline rapide :

Les analogues rapides de l'insuline sont des molécules à haute affinité pour le récepteur de l'insuline pour être absorbé le plus vite possible. L'objectif est d'améliorer le contrôle des variations glycémiques postprandiales donc l'hyperglycémie. Les bénéfices sont : d'être rapidement actif (en environ 15 minutes, pour un pic en 30 à 90 minutes, et une action de 4 à 6 heures) au moment de la prise alimentaire et de ne pas persister dans la phase interprandiale.

Les analogues disponibles sont : Humalog® (lispro), Novorapid® (aspart), Apidra® (glulisine) et peuvent être utilisés en voie intraveineuse, intramusculaire, et sous-cutané. De nouvelles insulines encore plus rapides sont arrivées au nom de Fiasp®, et Lyumjev® (3,34).

### (3) Insuline lente :

Les analogues lents ou analogues de l'insuline basale. On a constaté que chez les personnes non diabétiques, l'homéostasie glucidique entre les repas et durant la nuit est finement contrôlée par une faible production d'insuline en continue. Une insuline lente efficace et physiologique est donc indispensable.

On retrouve les insulines glargine (Lantus®, Abasaglar®, Toujeo®) ayant un profil plat, et prolongé, leur effet dure environ 24 heures. Cela permet une diminution des hypoglycémies, surtout nocturnes, et des variations de la glycémie.

L'insuline detemir (Levemir®) à une durée d'action plus variable, entre 12 et 20 heures. Et peut s'utiliser une à deux fois par jour (36).

(4) Insuline à durée d'action biphasique :

Ces insulines sont le mélange entre un analogue rapide et une insuline NPH, qui est un complexe d'insuline humaine en tampon phosphate et d'une protéine, la protamine et le zinc afin de ralentir l'absorption et fait d'elle une insuline dite intermédiaire. Elles sont appelées préparations injectables d'insuline isophane biphasique, à agiter avant utilisation pour homogénéiser. Leur durée d'action commence à environ 30 min à 1 heure, avec un maximum entre 1,5 et 4 heures, pour une durée entre 11 et 24h. elle limite le nombre d'injection dans la journée (34).

Les spécialités sont : l'Umuline®, et Insulatard®

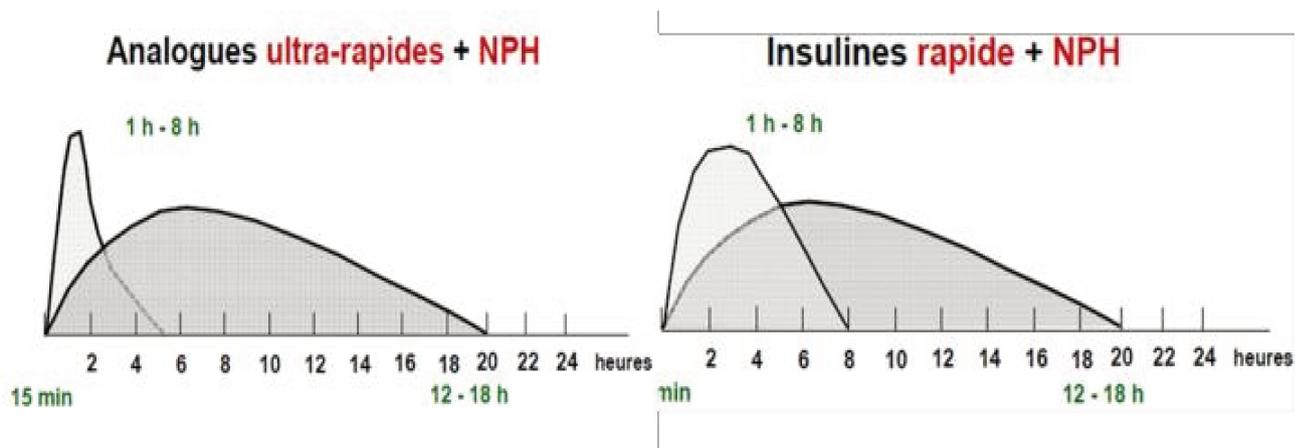


Figure 10 Graphe représentant l'action d'une insuline mixte (31).

Type d'insuline	Délai d'action	Durée d'action	Administration	Exemples	DCI (Substance active)
Insuline rapide : action très rapide	5 min	3 à 4h	Injection à faire au début du repas.  Compatibles avec les pompes portables	Fiasp®	Insuline asparte
	10 min	3 à 4h	Injection à faire au début du repas.	Novorapid®	Insuline asparte

			Compatibles avec les pompes portables	Humalog® Lyumjev®	Insuline lispro
			Sauf humalog Kwikpen	Apidra®	Insuline glulisine
<b>Insuline d'action rapide</b>	20 à 30 min	4 à 6h	Injection à faire 20 à 30 min avant le repas.	Umuline Rapide® Actrapid®	Insuline biogénétique.
<b>Insuline d'action intermédiaire</b>	1h	10 à 12h	Injection au moment du repas soit indépendant des repas.  Insuline laiteuse : à bien agiter avant l'injection	Insulatard Umuline NPH®	Insuline humaine isophane
<b>Analogues d'insuline d'action lente</b>	1h30	Action supérieure à 14h et jusqu'à 24h selon la dose d'insuline et type de diabète  A ne pas mettre en contact avec les autres insulines.		Levemir®	Insuline détémir
<b>Insuline d'action très lente</b>	1h30	Jusqu'à 24h	Injection indépendante des repas mais à heure régulière.	Lantus®	Insuline glargine
		Jusqu'à 36h		Toujeo®	Insuline
		Jusqu'à 24h	Ne pas mettre en contact avec d'autres insulines.	Abasaglar®	Insuline glargine
		Jusqu'à 42h		Tresiba®	Insuline dégludec
<b>Analogues d'insuline rapide</b>  + <b>Insuline de</b>	5 min	Jusqu'à 10 à 12h	Injection au moment des repas.  Agiter l'insuline avant l'injection.	Novomix30®	Insuline asparte 30, 50, 70  =30, 50, 70% d'insuline rapide
				Novomix50®	
				Novomix70®	

<b>durée d'action intermédiaire</b>				Humalog mix 25®  Humalog mix 50®	Insuline lispro 25, 50  =25 ou 50% d'insuline rapide
<b>Insuline rapide</b>  +  <b>Insuline de durée d'action intermédiaire</b>	20 min	Jusqu'à 10 à 12h	Injection 20 à 30 min avant le repas.  Agiter l'insuline avant l'injection.	Mixtard30®  Umluline Profil 30®	Insuline humaine 30 =30% d'insuline rapide

Figure 11 Tableau des insulines (37).

c) *Schéma thérapeutique.*

(1) *Insulinothérapie conventionnelle :*

Les différents schémas de l'insulinothérapie sont des imitations des besoins physiologiques d'insulines d'un individu au cas par cas. Il existe alors différents schémas possibles car il faut répondre à de nombreux facteurs rendant très variable la dose quotidienne nécessaire. Il faudra prendre en compte les individus selon leur âges, poids, stade de la vie, autres pathologies intercurrentes, selon les apports nutritionnels et leur répartition quotidienne, leur niveau d'activité physique... En sachant que la maladie évolue également, il faut alors réévaluer les besoins régulièrement par l'autosurveillance glycémique, et par la mesure de l'hémoglobine glyquée (31).

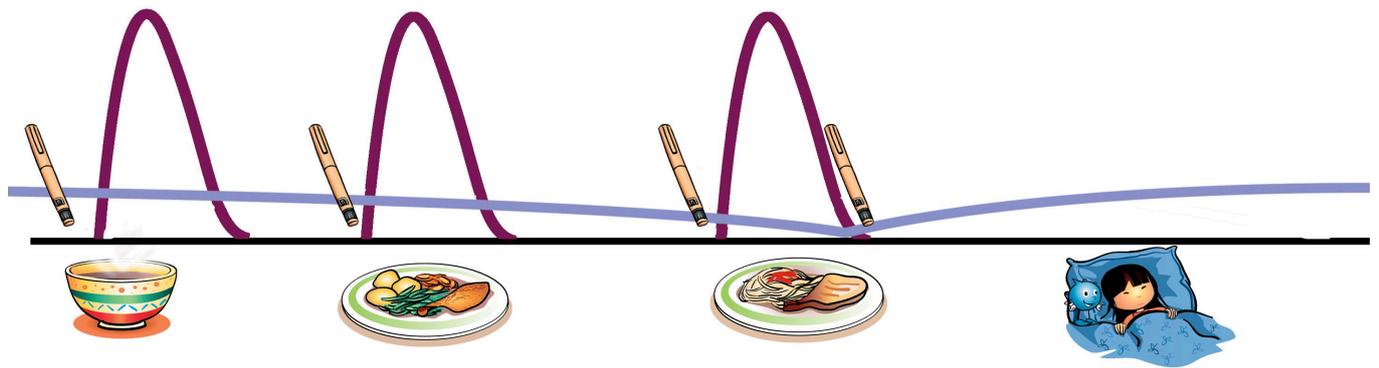


Figure 12 schéma d'un traitement insulinaire (37).

On comprend dans ce schéma l'idée du traitement : on a un analogue de l'insuline d'action rapide « pour manger » (Humalog®, Novorapid®, Apidra®), c'est l'insuline prandiale, l'insuline pour le contrôle des pics glycémiques liés aux différents repas.

Puis on a l'insuline basale, l'insuline « pour vivre », un analogue lent injecté le soir en cas d'une seule injection (Lantus®, Toujeo®, Abasaglar®, Tresiba®) permettant la lipolyse et le métabolisme hépatique du glucose.

Dans le cas où on utilise une insuline intermédiaire, (Levemir®) il est possible de faire une injection le matin, et une autre le soir.

## (2) Insulinothérapie fonctionnelle.

### (a) Définition :

De base, le patient avait un schéma insulinaire choisi par les professionnels de santé, avec un plan alimentaire fixe et une adaptation rétroactive suivant les surveillances glycémiques au lieu d'appliquer une dose d'insuline en fonction de la glycémie du moment, voire des apports glycémiques qui vont suivre.

La technologie permet aujourd'hui de viser un traitement insulinaire le plus physiologique possible. L'insuline fonctionnelle arrive actuellement pour personnaliser au mieux un traitement aux besoins physiologiques propres d'un individu (38,39).

(b) Déterminer la dose d'insuline de base :

On commence par définir les besoins vitaux, la dose nécessaire pour assurer les grandes fonctions vitales quotidiennes. Assurées par les insulines lentes, ou débits de base pour les pompes. Ces besoins sont analysés par une épreuve de jeûne de 24h, avec un contrôle glycémique toutes les 3h (38,39).

(c) Déterminer la dose d'insuline rapide :

Ensuite on détermine quelle dose d'insuline rapide à injecter pour quelle quantité de glucides ingérés pour chaque repas. On apprend à l'individu à calculer la composition en glucide de chaque repas grâce à de nombreux outils, et on détermine la dose d'insuline par portion de 10 grammes de glucides. Donc par exemple 65g de glucides sera couvert par 6,5UI (Unité Internationale) d'insuline. La difficulté est de toujours prévoir ce que l'on va manger afin de toujours évaluer la quantité nécessaire d'insuline (38,40).

(d) Insuline de correction :

Selon la sensibilité de chacun, il faudra évaluer l'efficacité de l'insuline rapide qui permettra de corriger une hyperglycémie. C'est-à-dire savoir pour 1UI d'insuline, de combien la glycémie diminuera-t-elle ? Ainsi, on pourra ajuster avant chaque repas son insuline, en mesurant et constatant son hyperglycémie, on pourra injecter la dose nécessaire au repas, à laquelle on ajoute la dose pour corriger son hyperglycémie (40).

En somme, l'insulinothérapie fonctionnelle permet une liberté alimentaire, mais respecte un équilibre alimentaire, en apprenant à s'adapter au mieux à chaque situation. Tout ceci se traduit par une amélioration de la qualité de vie.

5. Les vecteurs :

La voie sous-cutanée est la plus fréquente dans la prise en charge chronique. Il existe une voie intra-veineuse à l'hôpital dans les soins intensifs. On détaillera différents modes d'injection, les stylos rechargeables ou préremplis, et les pompes à insuline.

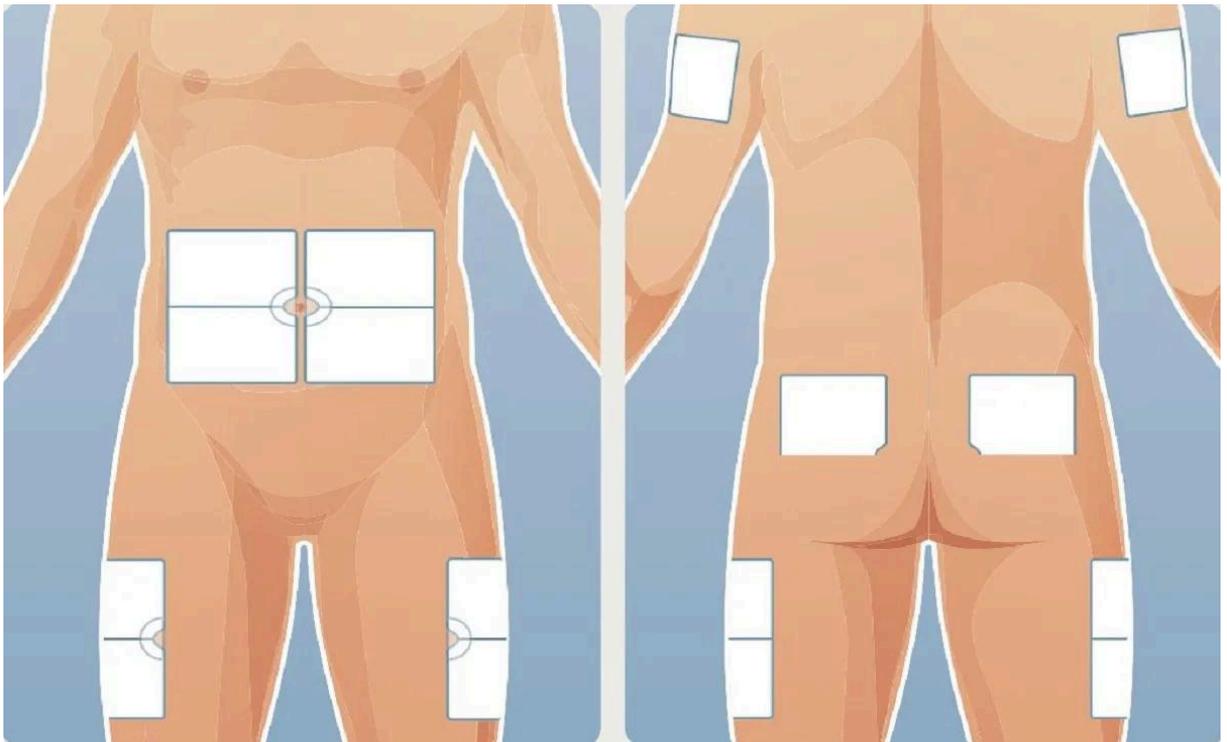
a) *Les stylos :*

Les stylos injecteurs ont été fortement enrichis ces dernières années. Ces dispositifs médicaux sont généralement préremplis, et utilisables directement. Il existe des stylos à cartouche rechargeables. Ce dispositif apporte une autonomie du patient qui pourra s'auto-administrer son traitement en respectant un usage précis pour être le plus efficace. L'usage est simple, et la dose administrée est précise à l'aide d'une bague rotative permettant de sélectionner un nombre d'unité souhaité. Une simple pression permet de faire sortir l'aiguille adaptée à chaque individu pour faire une injection sous-cutanée, et amovible, à jeter après chaque injection.

(1) *Lieu d'injection :*

Chez l'adulte, on recommande de faire l'injection en 4 zones :

- L'abdomen
- Les cuisses
- Le haut des fesses
- L'arrière des bras



*Figure 13 les sites d'injections (41)*

Répéter les injections dans une même zone provoquera un effet indésirable connu, la lipodystrophie (désorganisation de la masse graisseuse). Afin de l'éviter pour continuer d'assurer une qualité d'absorption d'insuline constante, il faut changer les zones d'injections. À noter que dans une même région anatomique, on peut diviser la région en quartiers pour l'abdomen, et en deux parties pour la cuisse (16).

## (2) Facteurs influençant absorption :

A prendre en compte, il existe des facteurs pouvant influencer la vitesse d'absorption, soit en l'accélérant, tels que :

- La zone d'injection, allant du plus rapide au plus lent nous avons : l'abdomen, les bras, les cuisses, et le haut des fesses. On privilégie l'abdomen pour les insulines rapides et le haut des fesses pour les insulines lentes.
- L'activité physique qui accélérera la circulation sanguine et donc l'absorption. Il sera préférable de faire l'injection dans l'abdomen car cette zone est moins sollicitée par l'exercice.
- Masser le lieu d'injection (42).

Il existe des facteurs ralentissant l'absorption, qui sont : une masse graisseuse sous-cutanée importante, ou les lipodystrophies qui sont une désorganisation de la masse graisseuse provoquée par une mauvaise pratique d'injection d'insuline. Cet effet indésirable est très courant chez tous les patients. Il ne faut pas injecter dans une lipodystrophie, elle disparaîtra d'elle-même avec le temps, en fonction de sa taille (43).

## (3) Technique d'injection :

Le rôle du pharmacien est de s'assurer de la bonne administration médicamenteuse. Chez le diabétique, la méthode d'injection d'insuline est primordiale, et il faut nécessairement la contrôler auprès du patient. Pour cela, il faut poser de nombreuses questions et s'adapter au patient.

Nous devons en premier lieu vérifier la bonne taille d'aiguille, l'injection doit se faire en sous-cutané. Elle ne doit pas être trop longue car l'insuline finira en intramusculaire et cela provoquera un raccourcissement du délai et de la durée d'action. Un analogue lent deviendra rapide. L'aiguille ne doit pas être trop courte, ou cela prolongera le délai d'action (44), l'épiderme étant assez fin, des aiguilles courtes allant de 4 à 12 millimètres suffisent.

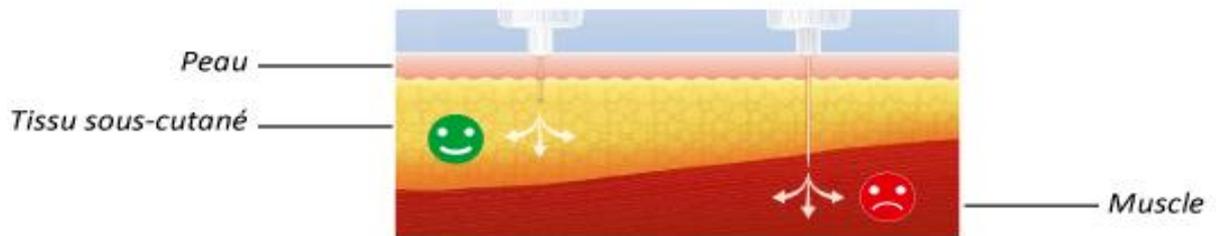


Figure 14 les différents tissus (45).

Les recommandations générales sont : Changer l'aiguille à chaque injection, veiller à ce que l'insuline soit homogène, ou homogénéiser là, on fait un test de sécurité de 2 unités pour vérifier que le stylo soit opérationnel, puis une fois la dose sélectionnée, il nous reste à faire l'injection sur une peau propre, perpendiculairement à la peau, puis à compter 10 secondes pour s'assurer de n'avoir aucune perte d'insuline avant de retirer le stylo, et d'éliminer l'aiguille dans une boîte à aiguille spécifique (46).

*b) Les pompes.*

(1) Règlements.

(a) Prise en charge :

C'est une prise en charge complète, à 100% par la sécurité sociale, au titre de l'ALD (affection longue durée). Ce remboursement comprend la location de la pompe, la formation technique nécessaire à l'origine de la prescription, et le forfait journalier (fourniture, livraison des consommables, accessoires, astreinte technique 24h/24) (47).

(b) Les acteurs :

En premier lieu, c'est toujours le médecin spécialiste, le diabétologue libéral ou hospitalier, qui démarrera les démarches afin de mettre en place la pompe, avec sa formation, sa prise en charge. Ce dernier sera le principal interlocuteur en matière de traitement, recevant toutes les appréciations à chaque formation réalisée par le prestataire.

Autre acteur essentiel, le centre initiateur, passage obligatoire pour se former à l'usage de la pompe, et surtout pour rendre le patient capable de réagir en cas de panne de la pompe. Ce centre formateur réalisera une éducation thérapeutique au travers une équipe pluridisciplinaire, et réévaluera chaque année le bon usage de la pompe dans le traitement du patient.

Enfin, le prestataire de santé, qui a l'obligation d'assurer la formation technique initiale et annuelle, fournir tout le matériel essentiel (pompe et consommables) fournir une assistance technique et une astreinte, intervention à domicile si nécessaire, et dépanner en 24h si besoin (48).

## (2) Description de la pompe :

La pompe est un dispositif électronique actif permettant de diffuser, perfuser continuellement de l'insuline à petite dose au patient pour réaliser un débit de base et maintenir la glycémie entre les repas, et des bolus à chaque repas avec possibilité de rajouter une dose pour couvrir d'autres hyperglycémies, ou faire des réductions en débit de base s'il y a des hypoglycémies. On retrouve dans ce terme trois éléments (49) :

- Le boîtier avec ses composantes électroniques pour contrôler la quantité d'insuline exacte.
- Le réservoir d'insuline rapide.
- La ligne d'administration, une tubulure variant selon les modèles allant du réservoir, finissant sous la peau par une canule, ou une aiguille pour administrer l'insuline en sous-cutané.

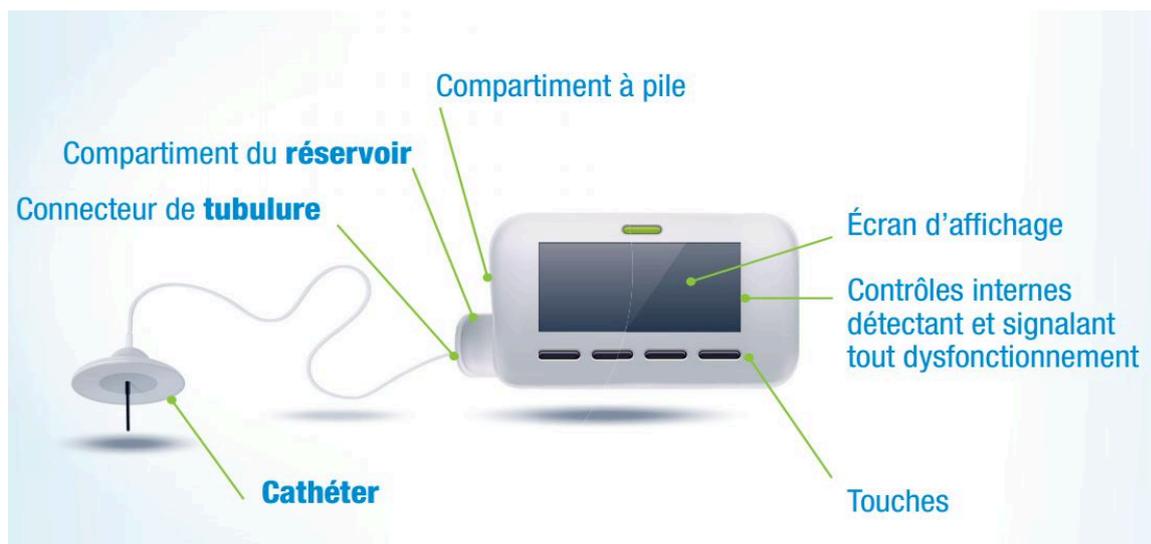


Figure 15 pompe à insuline(50).

### (3) Intérêt de la pompe.

#### (a) Équilibre glycémique :

Chez le diabétique de type 1, l'arrivée des pompes à insuline marque une légère amélioration de l'équilibre glycémique, appuyant l'intérêt de passer sous pompe. On retrouve une importante documentation scientifique appuyant différents arguments tels que :

- Les hypoglycémies sévères sont nettement réduites chez les patients sous pompes comparés aux patients sous traitements insuliniques intensifs par injection (18,51).
- Le pourcentage d'hémoglobine glyquée est diminué chez les individus passés sous pompes (51,52).
- Une amélioration du contrôle glycémique d'autant plus forte que si l'individu impliqué avait un mauvais contrôle au préalable (52).

#### (b) Qualité de vie :

De nombreuses études montrent une amélioration significative de la qualité de vie que ce soit chez l'enfant, l'adolescent, et l'adulte, induite par la mise en place de la pompe d'insuline. Tout ceci est perçu par :

- Une moindre peur de l'hypoglycémie que ce soit pour le patient lui-même, mais un bénéfice qui s'étend également au soignant en charge de l'enfant (52).
- Une réduction de l'interférence causée par le traitement dans les activités quotidiennes tout en conservant une efficacité clinique (52,53).
- La flexibilité d'administration d'insuline sans douleur et en adaptant la dose, améliorant significativement le style de vie par la possibilité de manger hors de chez soi, modulant les horaires de repas, la composition des repas, en calculant plus facilement la quantité de glucides avec le système de calcul inclus et pouvant s'adapter au sport ou diverses activités (53,54).

#### (4) Les dangers :

L'insulinothérapie par pompe est une grande avancée en santé, dont les avantages sont démontrés, mais si la pompe apporte une perfusion continue, plus précise, elle n'est pas autonome pour autant, ni infaillible. Ce n'est pas un pancréas artificiel, il s'agit pour le patient d'avoir une bonne connaissance de son fonctionnement afin de pouvoir répondre à toutes défaillances de la pompe. C'est pour cela qu'on continue d'avoir un suivi régulier de sa cétonurie, glycémie, cétonémie pour déceler une hyperglycémie inexpliquée.

Il est nécessaire d'être conscient des limites de la pompe pour être capable de réagir. Les cas les plus courants sont des arrêts de la perfusion d'insuline qui ne sont pas détectés, et donc non compensés par des injections manuelles d'insuline, ce qui se traduit par une hyperglycémie, une cétose, et finalement une acidocétose.

Une hypoglycémie par dysfonctionnement de la pompe est beaucoup plus rare. Cela est le plus souvent provoquée par un bolus involontaire, pas d'arrêt de la perfusion rapide après un bolus, ou un sur-débit (55).

#### c) Les stylos connectés.

##### (1) Description :

Les stylos connectés à insuline sont une avancée technologique récente dans la gestion du diabète. Connectés au téléphone, à une tablette, ou autre appareil, ils rendent la vie des diabétiques plus facile pour suivre l'évolution de leur glycémie, de leur dose d'insuline, et d'autres indicateurs de santé.



Figure 16 exemple de stylo connecté, le Novo Pen 6 (56).

Ces stylos possèdent une fonctionnalité Bluetooth ou NFC (Near field communication) qui leur permet de communiquer aux applications de santé sur un smartphone, ou tout autre appareil mobile. Ces applications peuvent aider les utilisateurs à suivre leurs doses d'insuline, à surveiller leur glycémie, et fournir des rappels pour savoir quand faire leurs injections d'insuline.

Il existe des stylos connectés qui recommandent la dose d'insuline à l'utilisateur en fonction de sa glycémie, et de sa sensibilité à l'insuline. Un algorithme personnalisé pour le dosage d'insuline et un suivi automatisé des données peuvent aider les utilisateurs et leurs prestataires dans leur prise en charge leur diabète et à prendre des décisions éclairées avec les meilleures informations possibles (57).

## (2) Avantages :

Une meilleure adhésion et un meilleur contrôle glycémique : un meilleur suivi permet donc de réduire les oublis de dose de bolus, les hyperglycémies et les hypoglycémies, et d'augmenter significativement le temps passé chaque jour dans l'intervalle glycémique normale (58).

De plus, les stylos connectés associés aux mesures continues de la glycémie aident les patients à ajuster leur dose d'insuline lorsqu'ils sont physiquement actifs. En allant plus loin dans l'insulinothérapie fonctionnelle, comme le montre cette étude sur les cyclistes professionnels atteints de diabète de type 1, les stylos connectés leur ont permis d'adapter leur doses de bolus et de basal chaque jour pendant une course de 5 jours, en fonction de leur activité physique et leur apport en macronutriments (59).

## C. Prise en charge alternative :

Les traitements non thérapeutiques du diabète de type 1 font référence aux interventions ne nécessitant ni médicaments ni procédures médicales. Bien que ces traitements n'aient pas pour intention de guérir la maladie, ils offrent de nombreux autres avantages aux patients. Nous parlerons ici de quelques exemples :

1. Non thérapeutique.
  - a) *Gestion du stress :*

Le stress peut avoir un impact négatif sur la glycémie et sur la gestion du diabète. Lors d'une situation de stress, le corps sécrète des hormones du stress, c'est-à-dire les catécholamines (adrénaline, noradrénaline) du cortisol, du glucagon, et de

l'hormone de croissance. En conséquence, la glycémie augmente dans le but de fournir de l'énergie pour réagir physiquement, par exemple pour fuir ou combattre avant un examen, une compétition sportive. Des techniques de maîtrise du stress telles que la méditation, la respiration profonde, etc., peuvent aider les patients diabétiques à réduire leur niveau de stress et améliorer leur bien-être (60).

*b) Diététique et diabète de type 1.*  
*(1) Diététique :*

Le DT1 est une maladie qui nécessite une gestion attentive de l'alimentation. Les aliments que nous consommons ont un impact direct sur la glycémie, et peuvent entraîner des conséquences importantes pour les diabétiques de type 1. La diététique joue un rôle décisif dans l'accompagnement des malades, nécessitant des recommandations diététiques personnalisées pour mieux contrôler leur glycémie. Des études ont montré que la mise en place d'un régime alimentaire adapté aux besoins individuels des patients peut aider à améliorer le contrôle de la glycémie, réduire leurs risques de complications à long terme, et améliorer leur qualité de vie.

- Équilibrer les glucides : ces derniers affectent directement la glycémie, il est donc important de les équilibrer tout au long de la journée. Il est préférable de privilégier les aliments à faible indice glycémique tels que les légumes verts et les légumineuses.
- Choisir des aliments riches en fibres.
- Contrôler la consommation de graisses : Elles ralentissent la digestion et peuvent affecter la glycémie. Il faut choisir des graisses saines comme les noix, les graines, les avocats, les poissons gras et les huiles de colza.
- Consommer des protéines maigres : Légumineuses, viandes blanches, poissons...
- Éviter les sucres ajoutés qui peuvent augmenter rapidement la glycémie. Il faut donc éviter les boissons sucrées et les aliments riches en sucres ajoutés.
- Manger à heures régulières.

*(2) Métabolisme énergétique et performance sportive  
chez le diabétique de type 1.*

Les substrats énergétiques sont les sources d'énergie utilisées par notre corps pour produire de l'adénosine triphosphate (ATP), la molécule qui fournit l'énergie nécessaire à toutes les cellules de notre corps pour fonctionner.

Chez le diabétique de type 1, la production et l'utilisation de l'insuline sont perturbées, ce qui peut affecter leur capacité à utiliser efficacement certains substrats

énergétiques pendant l'exercice. Voici les substrats utilisés pendant l'exercice et leur utilité en fonction de la durée de l'effort.

(a) ATP phosphocréatine chez les DT1.

L'ATP (Adénosine Triphosphate) est l'élément fournissant de l'énergie dès la contraction musculaire. Cet ATP est produit grâce à une réserve limitée de phosphocréatine (PC), qui sera catabolisée par les lipides et les glucides si l'effort dure au-delà des limites de réserve de PC existantes. Ce duo ATP-PC stocké fournit l'énergie pour un exercice de moins de 10 secondes, les premiers instants d'un effort.

Chez les patients atteints de DT1, en l'absence de néphropathie, les taux d'ATP et de PC sont normaux au repos et après l'exercice (61). Néanmoins, une privation d'insuline et/ou une hyperglycémie soutenue altèrent la fonction mitochondriale dans les muscles, ce qui diminue significativement l'efficacité du couplage et de la production d'ATP dans les mitochondries musculaires. De plus, cela entraîne une augmentation des espèces réactives à l'oxygène qui causent des dégâts oxydatifs aux protéines. Enfin, il a été remarqué que le traitement à l'insuline permet de maintenir le protéome mitochondrial et de l'homéostasie fonctionnelle (62).

(b) Glucides chez les patients atteints de DT1 :

Les glucides sont stockés dans le foie et les muscles sous forme de glycogène, qui peut être rapidement converti en glucose pour fournir de l'énergie par la glycolyse et la gluconéogenèse. Les glucides sont la principale source d'énergie pour les efforts de haute intensité, d'une durée de plus de 10 secondes à environ 2-3 minutes, ce qui peut provoquer une augmentation momentanée de la glycémie. En revanche, un exercice prolongé d'intensité modérée induira une faible baisse transitoire de la glycémie.

Les personnes atteintes de DT1 qui sont correctement alimentées, prennent de l'insuline et contrôlant bien leur glycémie (HbA1c <7,5%) peut avoir des taux normaux de glycogène dans les muscles et le foie, contrairement aux patients moins attentifs. Cependant, le traitement par l'insuline peut perturber le flux de glucose du foie vers les muscles pendant l'exercice, ce qui peut provoquer une hypoglycémie ou une hyperglycémie. Un excès d'insuline empêche l'arrivée du glucose et peut entraîner une hypoglycémie, tandis que des niveaux inadaptés d'insuline peuvent induire une hyperglycémie (61).

(c) Lipides chez les patients atteints de DT1 :

Les lipides sont stockés dans le tissu adipeux et sont utilisés pour fournir de l'énergie pendant les efforts de faible intensité à modérée, d'une durée de plus de 2-3 minutes. Les lipides sont une source d'énergie plus durables que les glucides, mais leur utilisation nécessite plus d'oxygène, ce qui les rend moins efficaces pour les efforts intenses. Ce substrat est principalement utilisé lorsque les individus sont à environ 55 à 60% du taux aérobic maximal, ce qui correspond à environ 60% de la Vitesse maximal aérobic chez les individus peu entraînés, et peut aller jusqu'à 80% chez les athlètes les plus entraînés (63).

Les traitements à l'insuline augmentent les réserves de graisse corporelle et le poids corporel. Il est possible de réduire cet effet par un contrôle alimentaire stricte et/ou un entraînement d'endurance. A noter qu'un excès d'insuline pendant l'effort supprime l'oxydation des graisses (61).

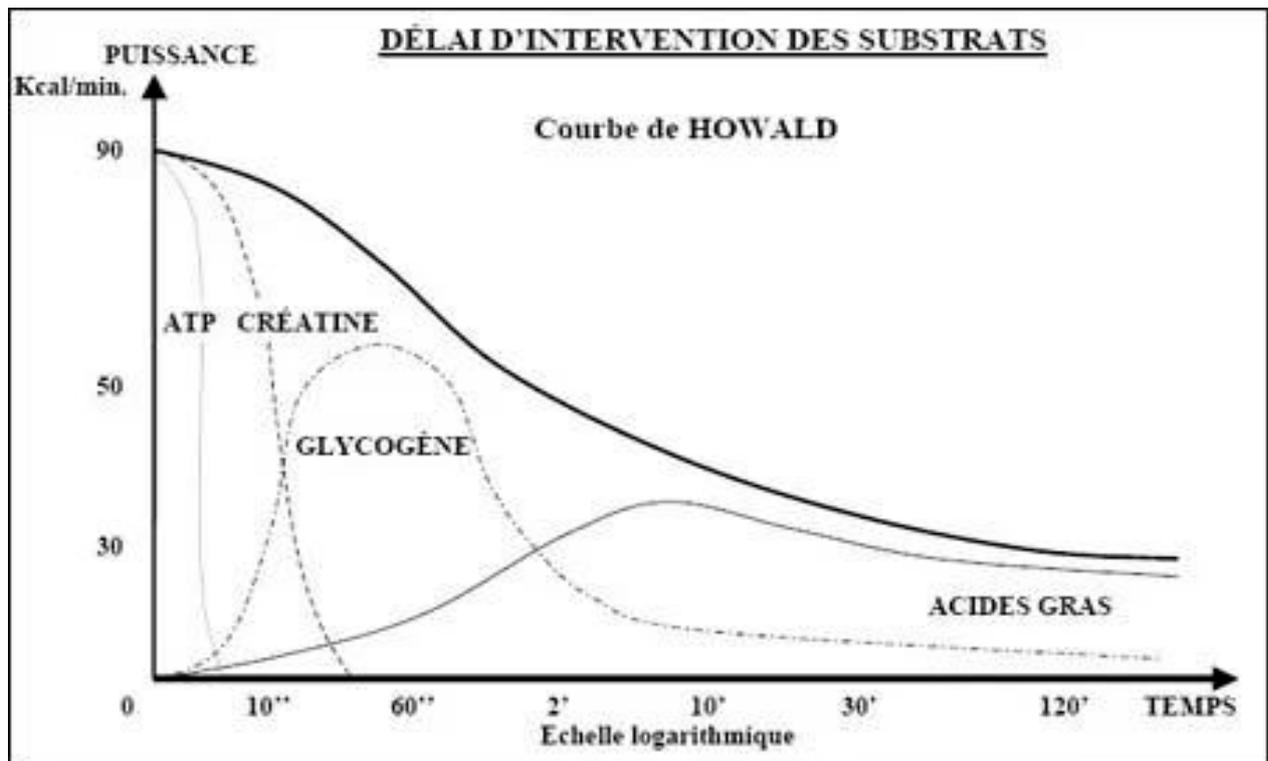


Figure 17 Courbe de Howald (64).

(d) Protéines chez les DT1.

Les protéines ne sont pas utilisées comme substrats énergétiques pendant l'exercice. Elles sont utiles à la synthèse et la réparation des tissus musculaires endommagés après l'effort. Cependant, dans certaines situations de stress énergétique, telles

qu'un jeûne prolongé, les protéines peuvent être utilisées comme source d'énergie (61).

### *c) Exercice physique :*

L'activité physique régulière peut aider les patients atteints de diabète de type 1 à gérer leur glycémie, améliorer leur santé cardiovasculaire sous certaines conditions que nous étudierons plus précisément dans la partie 2. Elle va également aider à réduire le stress et à améliorer l'humeur, ce qui sera bénéfique pour la gestion du diabète.

## 2. Télémédecine.

### *a) Description :*

Selon l'article L.6316-1 du code de santé publique, « tout acte médical réalisé à distance, au moyen d'un dispositif utilisant les technologies de l'information et de la communication, constituent des actes de télémédecine. » (65). Celles qui nous intéressent sont les suivantes :

La téléconsultation : une consultation à distance avec un professionnel de santé.

La télésurveillance : suivi du patient diabétique par des dispositifs médicaux. Le professionnel médical pourra interpréter à distance les données nécessaires au suivi médical.

Télé-expertise : permet aux professionnels de santé de solliciter à distance l'avis d'autres professionnels de santé médicaux pour leurs formations ou compétences précises, améliorant la prise en charge de leur patient.

### *b) Pour qui ?*

Depuis la période du COVID-19 (CoronaVirus Diseases 2019), la télémédecine s'est démocratisée, et a touché un plus grand public. La télésurveillance chez les sujets diabétiques a alors évolué pour atteindre une plus large population. Concernant les diabétiques de type 1, tout patient « âgés de plus 12 ans pour optimiser le contrôle de glycémie ou en cas de déséquilibre glycémique »

A noter qu'il existe des conditions de non-éligibilité :

- « Impossibilité physique ou psychique pour le patient ou l'aideant d'utiliser le DM (Dispositif Médical) numérique de télésurveillance médicale et/ou ses accessoires de collecte selon le jugement du médecin désirant inclure le patient dans le projet de télésurveillance médicale ;
- Refus du patient à la transmission des données nécessaires à la mise en œuvre du contrôle de l'utilisation effective du DM numérique et à l'obtention de résultats individualisés ou nationaux d'utilisation en vie réelle ;
- Refus du patient d'avoir un accompagnement thérapeutique » (66).

### *c) Les attentes des patients :*

La télémédecine dans le diabète réussira en répondant aux attentes des individus qui se résume en différents concepts. Une étude résume en trois concepts les attentes des patients en :

- Un système simple d'utilisation avec des appareils électroniques accessible, de poche.
- Des programmes qui répondent immédiatement à leurs questions. Ce qui explique l'échec des systèmes qui transmettent les données avec un retour différé sur l'adaptation des doses d'insuline.
- Une mise en place de nouveaux outils simples d'utilisation. Par le remplacement des agendas papiers en agendas électroniques, qui proposeront des doses insulines adaptées par des algorithmes (67).

### *d) Avantages pour les diabétiques de type 1.*

#### *(1) Prise en charge personnalisée :*

Les patients diabétiques de type 1 peuvent bénéficier d'une prise en charge personnalisée grâce à la télémédecine (68). Les médecins peuvent suivre l'évolution de la glycémie et ajuster le traitement en temps réel, en fonction des besoins du patient. Cette étude montre la possibilité d'optimiser le traitement et de réduire les risques de complications liées au diabète lorsque les patients génèrent des données de santé, examinent les données en ligne et en temps réel. Ces glycémies structurées (par exemple un profil de la glycémie sur 3 jours, vérification par paires, etc...) sont indispensables pour avoir une analyse pertinente et un retour des professionnels de santé permettant un avantage significatif sur l'HbA1c.

## (2) Suivi et soutien à distance :

La télémédecine permet aux patients diabétiques de type 1 de bénéficier d'un suivi à distance et peuvent avoir un accès plus rapide et plus facile à des spécialistes et à des conseils médicaux. Cette étude regroupant de nombreuses études (68) met en avant les bénéfices d'une communication bidirectionnelle avec une boucle de rétroaction sur l'HbA1c. C'est un échange direct entre fournisseurs de soins de santé avec les participants, et des décisions partagées qui ont un avantage sur les études impliquant une communication à sens unique.

## (3) Meilleure qualité de vie :

Grâce à la télémédecine, les patients diabétiques de type 1 peuvent gérer plus efficacement leur maladie et améliorer leur qualité de vie. Ils peuvent bénéficier d'un suivi régulier et être alertés en cas de variation de la glycémie. Cette étude (69) avance une bonne impression générale d'aide aux patients, et ici (70) que les applications augmentent la perception des connaissances des patients sur leurs problèmes de santé.

En revanche, la première étude citée constate que la diminution de l'HbA1c n'est pas significative, et nécessite plus d'études rigoureuses, mais la seconde étude précise que les résultats sur l'HbA1c sont favorables lorsque les applications comportent plus de 2 caractéristiques comme « stockage et rétroaction des données de glycémie », « fonction d'aide aux régimes », « fonction d'aide à la pratique d'exercices physiques », « contrôle de la posologie et de l'observance du traitement médicamenteux », toutes ces fonctions contribuent au bien-être du patient que seront plus sûr d'eux, diminuant leur peur pour faire face aux hypoglycémies, l'accès aux professionnels de santé améliore leur contrôle glycémique.

### e) *Limites et risques de la télémédecine pour le diabétique de type 1.*

#### (1) Résultats insuffisants :

Malgré le potentiel à améliorer les résultats cliniques chez les patients diabétiques, les avantages sont mitigés pour les patients souffrant d'hypertension, et pour ceux atteints de dyslipidémie, les études n'ont montré aucun bénéfice (71).

Dans cette autre étude (67) évaluant la télémédecine à l'échelle mondiale au travers de méta-analyse de plusieurs essais, résume que les bénéfices sur la diminution de l'HbA1c n'est pas significative ni cliniquement, ni statistiquement. La condition fondamentale de la réussite de la télémédecine axé sur le contrôle de la glycémie est l'interaction de qualité entre soignant et malade. En revanche, dans cette étude (71)

des bénéfiques sont plus marqués dans certains sous-groupes d'études, tels que les nouveaux diagnostiqués avec une HbA1c initiale élevée, le sous-groupe avec une intervention inférieur à 6 mois, et les interventions fréquentes et intenses.

## (2) Qualité de prise en charge :

La grande crainte des patients est le manque de qualité de l'entretien, ce qui est réfuté par cette étude (72) qui chiffre une majorité de patient satisfait de la téléconsultation, mais appuie sur le sentiment des patients que la télémédecine est complémentaire à une prise en charge avec une consultation en présentielle. En effet, dans cette étude (73), la majorité des patients ne veulent pas renoncer à une relation directe et physique avec leur spécialiste.

## II. Activité physique et diabète : impacts, risques et stratégies de prévention.

### A. Intérêt de l'activité physique chez le diabète.

#### 1. Bénéfices sur le contrôle glycémique :

De nombreuses études ont été faites sur le contrôle glycémique chez les diabétiques de type 1, la somme des résultats de ces différentes études n'a pas clairement démontré de bénéfice, que ce soit sur la glycémie à jeun ou l'hémoglobine glyquée HbA1c. Dans cette méta-analyse de 13 études (74), 12 suggèrent une diminution de l'hémoglobine glyquée, mais sans que cela soit significatif. Il est supposé qu'une réduction peut être liée à l'activité physique ajoutée à un régime alimentaire contrôlé, ce qui est conclu dans cette étude (75) qui améliore l'HbA1c et la glycémie par un entraînement strict et une nutrition contrôlée dès les premières semaines, mais révèle que ces bénéfices se perdent en quelques semaines si l'effort n'est pas maintenu.

Cependant une étude suggère que l'HbA1c n'est peut-être pas le marqueur le plus approprié (76). En effet, d'autres études prennent d'autres marqueurs à plus court et moyen-termes comme la fructosamine ou la glycémie (75). L'absence de réduction de cet indicateur peut être lié par un ajustement des doses d'insulines lors des exercices par peur de provoquer une hypoglycémie lors de l'exercice. En effet, le risque hypoglycémique est la première crainte du patient, qui réagit souvent en diminuant sa dose d'insuline, ou en augmentant ses apports glucidiques avant l'effort (77), ayant alors pour conséquence une hyperglycémie, et bien sûr, un obstacle à

tout bénéfique sur le contrôle glycémique, l'hémoglobine glyquée, par l'activité physique.

En somme, les études ne font pas l'unanimité mais il en ressort dans des études plus récentes qu'il est possible d'avoir des bénéfices lorsque les patients apprennent à gérer les variations glycémiques liées à une activité sportive (délai entre le dernier repas et l'injection d'insuline, le mode d'administration en pompe ou par multi-injections sous-cutanées, l'absorption de l'insuline, la glycémie initiale ou en fonction de l'heure de la journée...) et ces résultats ressortent à partir d'un minimum de 3 mois, avec un respect des recommandations alimentaires et d'insulinothérapie strictes associés.

## 2. Bénéfices sur les complications cardiovasculaires.

### a) *Mortalité :*

Sur le plan cardiovasculaire, une étude de cohorte évaluant l'activité physique d'individus diabétiques insulino-dépendants et leur mortalité de 1981 à 1988 suggère que les patients sédentaires ont trois fois plus de probabilités de mourir que les hommes actifs. De plus, plus le niveau d'activité est élevé, plus le risque de mortalité sera faible. En comparaison au groupe témoin qui était des membres de la famille non diabétique de chaque individu, et ayant un niveau d'activité similaire, on constate que l'activité peut avoir un effet bénéfique à long terme et n'est pas préjudiciable à la mortalité (78).

Une autre étude démontre qu'à 25 ans de diabète, l'activité physique pratiquée durant la jeunesse, en sport d'équipe chez les hommes, permettait d'avoir trois fois moins de chances de développer une maladie macrovasculaire, et avait également un taux de mortalité inférieur, trois fois inférieurs que ceux n'ayant aucune activité (76). Cette même étude démontre l'importance de l'activité physique pour ses bénéfices en prévention primaire, mais également secondaire sur les maladies cardiovasculaires.

### b) *L'hypertension artérielle :*

En ce qui concerne l'hypertension artérielle, le diabète de type 1 est associé à risque accru d'hypertension artérielle, de haut taux de LDL-Cholestérol, de faible taux de HDL-Cholestérol, et donc de maladie vasculaire. Des méta-analyses (79,80) synthétisant l'effet de pratiques sportives aérobies d'intensité modérée adaptées aux patients montrent que l'exercice a un effet bénéfique significatif sur l'hypertension des patients diabétiques de type 1, comprenant la course, le cross-country, l'athlétisme, le dynamomètre cyclique, la natation.

c) *Le profil lipidique :*

En ce qui concerne le profil lipidique, les études sont plus unanimes et montrent que l'exercice fréquent et sur une longue période permet une diminution significative des LDL-cholestérol et des triglycérides, ainsi qu'une augmentation significative du HDL-cholestérol. (79–81)

3. *Autres.*

a) *Dépression, anxiété :*

En ce qui concerne d'autres aspects, le diabète de type 1 est une maladie chronique qui impacte la vie des individus sur tous les plans. Les patients sont plus fréquemment touchés par des symptômes d'anxiété et de dépression (82). Des études (82,83) montrent un lien significatif entre l'activité physique régulière et une meilleure qualité de vie incluant une gestion améliorée de l'anxiété et de la dépression.

b) *Ostéoporose :*

Concernant l'ostéoporose, la pratique assidue d'une activité physique est déjà reconnue comme bénéfique pour la densité minérale osseuse, non seulement dans le diabète de type 1, mais aussi en général (84).

B. *Particularités métaboliques.*

1. *Risques hypoglycémie :*

Toutes les activités d'endurance exposent à une hypoglycémie, que ce soit chez l'individu sain, ou l'individu malade. Evidemment, les diabétiques de type 1 sont plus à risque d'en subir une. Ces hypoglycémies sont liées à différents mécanismes :

a) *Hypoglycémie due à la consommation du glucose par le muscle.*

(1) Débit sanguin augmenté :

Lors d'une activité physique, le corps a besoin de plus d'énergie pour alimenter les muscles en mouvement. Le débit sanguin augmente localement en direction des muscles, impliquant un apport augmenté d'oxygène, de nutriments, et surtout d'insuline aux muscles, et donc une plus forte translocation des GLUT-4 à la membrane afin d'y apporter le glucose nécessaire. Ce glucose sera pompé depuis les vaisseaux sanguins, diminuant la concentration de glucose dans le sang (85).

(2) Sensibilité du récepteur à l'insuline musculaire liée à l'activité physique :

L'activité physique augmente la sensibilité mais également le nombre de ces récepteurs à l'insuline. Cela signifie simplement que les cellules musculaires peuvent mieux utiliser l'insuline pour absorber le glucose du sang et l'utiliser pour produire de l'énergie. Le glucose est utilisé plus efficacement (85).

(3) La contraction musculaire elle-même :

La contraction musculaire nécessite l'utilisation d'énergie fournie par l'ATP, la dégradant en ADP (Adénosine diphosphate), et conduit également à la formation d'AMP (adénosine monophosphate) dans les cellules musculaires.

Ce rapport ATP/AMP est donc réduit, utilisé comme indicateur de l'état énergétique de la cellule. Plus il est élevé, plus la cellule a d'énergie disponible. Une réduction de ce rapport indique une cellule musculaire dans un état d'énergie faible. Lorsque ces cellules sont dans un état de faible énergie, elles activent une voie de signalisation qui conduit à la translocation des transporteurs de glucose GLUT-4 à la surface de la cellule musculaire.

À cela s'ajoute l'entrée de calcium permettant la contraction, mais le calcium cytoplasmique est également un signal important pour la translocation des GLUT-4. De plus de l'entrée de calcium, la contraction musculaire induit également la production de monoxyde d'azote (NO) dans ces dernières. Le NO étant également une molécule de signalisation qui régule divers processus biologiques, y compris la translocation des transporteurs de GLUT-4 (86).

*b) Hypoglycémie provoquée par le système nerveux sympathique et surrénalien.*

(1) Inadaptation physiologique :

Lors d'un exercice physique chez l'individu sain, l'insulinémie diminuera de façon physiologique en inhibant les cellules bêta du pancréas par la force sympatho-surrénalienne (61,87), limitant ainsi l'abaissement de la glycémie. En conséquence de l'utilisation des lipides et du glucose à partir des réserves en dehors du muscle et d'un apport d'adrénaline, d'une augmentation de la tension artérielle, le corps s'octroie plus de force et de vitesse face à un stress imposé (88). Ce qui est logiquement impossible chez le diabétique de type 1, car son insuline est exogène (stylo, pompe) et donc aucune action inhibitrice physiologique n'est possible une fois la dose injectée.

(2) Débit sanguin augmenté :

Le diabétique de type 1 ne pouvant pas diminuer rapidement son insulinémie au début de l'effort, sera plus à risque de subir une hypoglycémie. Au contraire, la concentration d'insuline va augmenter, probablement à cause d'une augmentation du débit sanguin cutané, impliquant alors une mobilisation rapide de l'insuline. Ce fort taux d'insuline implique un passage plus important du glucose via les transporteurs GLUT4 dont je rappelle que la synthèse est augmentée, et inhibe la néoglucogénèse et la glycogénolyse, induisant une hypoglycémie. D'autre part, l'insuline inhibe la lipolyse et donc favorise la dépendance du muscle à l'usage du glucose (89).

(3) Blocage des réponses physiologiques :

Une hypoglycémie provoque une réaction physiologique chez tout individu sain ou diabétique. Cette réponse d'origine neuroendocrinienne permet de prévenir et de réagir à ce problème. Cependant, il est souligné que des épisodes répétés d'hypoglycémie augmenteraient le risque d'hypoglycémie par un blocage de ces réponses neuroendocriniennes (augmentation des catécholamines, du glucagon) (61,90).

c) *Hypoglycémie post-exercice.*

(1) Augmentation de la sensibilité des récepteurs musculaires à l'insuline :

Comme expliqué ci-dessus, l'effort musculaire implique une meilleure sensibilité des récepteurs musculaires à l'insuline, et donc un risque plus élevé d'hypoglycémie. Cet effet peut durer plus de 24h (87).

(2) Déplétion des réserves de glycogène hépatique :

Plus l'exercice est long et intense, plus le sportif consommera ses réserves de glycogène. L'individu doit fournir de l'énergie aux muscles, puisera ensuite du glucose dans le sang, et si la consommation continue après l'exercice cela entraînera une hypoglycémie (85).

(3) Faible capacité du patient à repérer la diminution glycémique :

La réponse neuroendocrinienne étant atténuée, on remarque que les patients n'ont pas la capacité d'évaluer leur glycémie, ou de ressentir une hypoglycémie pendant et après l'exercice, en l'absence de symptômes tels que la transpiration, la fatigue, ou les étourdissements (87).

2. Risque hyperglycémique.

a) *Définition :*

L'hyperglycémie est définie par une glycémie supérieur ou égal à 1,10 g/L à jeun (91). Cependant, elle n'est pas contre-indiquée à la pratique sportive, car elle est y régulièrement provoquée par différents contextes comme des exercices intenses, explosif comme le fractionné, par un stress comme lors d'une compétition, par un environnement chaud, par la déshydratation, par un mauvais rapport entre l'administration de l'insuline et de glucides (92).

b) *Symptômes :*

L'hyperglycémie varie d'un individu à l'autre mais elle se manifeste le plus souvent par des nausées, une déshydratation une diminution des performances cognitives, des sensations de paresse et une fatigue inhabituelle, une somnolence, une

inattention, une perte d'appétit, une respiration rapide et une haleine fruitée spécifique, et une polyurie, avec polydipsie (93).

### 3. Particularités cardiorespiratoires et musculaires.

Les individus diabétiques sont sujet à une hyperglycémie chronique, impliquant de nombreuses complications à long terme, détaillées dans la partie 1 de cette thèse. Cette hyperglycémie affectera donc le système cardiovasculaire, pulmonaire et aura un impact sur l'apport en oxygène nécessaire au bon fonctionnement du muscle squelettique.

#### a) *Conséquences cardiovasculaires :*

L'hyperglycémie chronique dans tous les types de diabète entraîne des conséquences sur la santé cardiaque, notamment la dysfonction diastolique du ventricule gauche. Ces répercussions ont été étudiées notamment lors de la pratique de l'exercice physique :

La première conséquence notable de l'hyperglycémie chronique est une corrélation inverse significative entre l'hémoglobine glyquée et la relaxation diastolique. Cette étude montre précisément l'impact de l'HbA1c, et non pas la tension artérielle, avec l'âge, la durée du diabète, la masse du ventricule gauche et le poids de l'individu. En altérant la relaxation du ventricule gauche, cela peut entraîner une accumulation de liquide dans les poumons et une insuffisance cardiaque à long terme (94).

Cette hyperglycémie provoque également une hypertrophie ventriculaire gauche, augmentant le risque d'arythmie et d'insuffisance cardiaque. Mais également une augmentation de la rigidité artérielle, ce qui augmentera la charge de travail du cœur, et de la pression artérielle pendant l'exercice (95). Ces risques sont liés à différents mécanismes dont le mécanisme principal établi est la glycation non enzymatique des protéines circulantes et membranaires cellulaires, conduisant à la formation d'espèces réactives de l'oxygène, exerçant un stress oxydatif accru, développant une fibrose et entraînant des dysfonctionnements diastoliques.

#### b) *Conséquences sur les poumons.*

L'hyperglycémie chronique affecte la fonction pulmonaire et limite la capacité d'exercice chez les individus diabétiques. En premier lieu, le point commun à de nombreux organes atteints par cette maladie est la glycation non enzymatique de nombreuses protéines, causant un stress oxydatif qui perturbe de façon irréversible

le tissu pulmonaire par une altération de l'élastine et du collagène. En conséquence, il y a une perte d'élasticité pulmonaire, augmentant l'épaisseur des membranes et de la perméabilité endothéliale, ainsi qu'une diminution du volume capillaire pulmonaire (85).

Une autre étude permet de comprendre que ce mécanisme exerce une influence lors de l'exercice physique. L'effort est essentiel pour comparer la réponse ventilatoire et détecter les différences de la fonction pulmonaire entre une personne saine, et un diabétique non compliqué. Au repos, les capacités utilisées sont similaires, mais durant une activité, la VO<sub>2</sub>max est réduite chez ces individus par rapport aux témoins (96).

### *c) Conséquences musculaires :*

La croissance et le développement musculaires sont altérés, ce qui impacte l'épaisseur de la masse musculaire et la taille des myofibrilles. Ces fibres sont impactées par une modification de la structure musculaire due à une diminution de la capillarisation des muscles et de l'angiogenèse, ce qui impacte la perfusion du muscle. De plus, la régénération musculaire est également affectée (97).

#### *(1) Stress oxydatif :*

Le stress oxydatif est directement associé à des concentrations élevées de glucose. Une perturbation de la production de monoxyde d'azote se produit également, favorisant la formation d'espèces réactives d'azote qui accentuent le stress oxydatif. Un déséquilibre entre les espèces pro-oxydantes et antioxydantes est considéré comme impliqué dans la pathogénèse du diabète et de ses complications. Le stress oxydatif peut altérer la régénération des protéines musculaires et entraver la fonction des cellules satellites responsables de la réparation musculaire. De plus, il est suggéré que le stress oxydatif pourrait favoriser la conversion des cellules souches musculaires en cellules adipeuses (97).

#### *(2) Profil inflammatoire chronique à bas bruit :*

Ce profil inflammatoire est associé à une formation augmentée de produits finaux de glycation avancée. Des facteurs pro-inflammatoires (interleukine-6, facteur de nécrose tumorale alpha) sont élevés dans la maladie. Influençant les cellules satellites (97).

#### 4. Conséquences sur les performances à l'exercice aérobie, et la force musculaire.

##### a) *Exercices d'endurances. La VO<sub>2</sub>max :*

La VO<sub>2</sub>max représente la consommation maximale d'oxygène, c'est-à-dire la capacité maximale du corps à utiliser l'oxygène pendant un effort physique intense. C'est le point au-delà duquel la consommation d'oxygène n'augmente plus malgré une intensification de l'effort physique. C'est un indicateur de la condition physique aérobie d'une personne, car elle reflète la capacité maximale du système cardiorespiratoire à fournir de l'oxygène aux muscles et la capacité des muscles à extraire cet oxygène (98).

Lorsque les muscles sont sollicités pendant l'exercice, le besoin en énergie augmente. Pour répondre à cette demande énergétique, la circulation sanguine augmente afin de fournir davantage d'oxygène et de nutriments aux muscles. L'oxygène présent dans le sang est capté par les cellules musculaires et utilisé dans le processus de production d'ATP, la principale source d'énergie pour les contractions musculaires. L'extraction de l'oxygène par les muscles dépend de plusieurs facteurs :

- Un flux sanguin adéquat vers les muscles actifs.
- L'extraction de l'oxygène du sang vers les cellules musculaires et son utilisation efficace.
- La concentration en hémoglobine dans le sang transportant l'oxygène.
- La diffusion alvéolo-capillaire lié à la capacité ventilatoire de l'individu.

Comme vu précédemment, l'hyperglycémie chronique altère à chaque étape l'utilisation de l'oxygène, réduisant en conséquence les capacités du diabétique de type 1 à réussir une performance sur les exercices aérobiques. On retrouve une corrélation négative entre VO<sub>2</sub>max et HbA1c même chez les malades sans complications microvasculaires et macrovasculaires, une faible VO<sub>2</sub>max est également expliqué dans cette étude par une glycémie mal contrôlée, la durée du diabète (96).

##### b) *Muscles.*

###### (1) *Faiblesses des muscles :*

Une revue rassemblant différentes études permet de conclure que la perte de masse musculaire et le déclin de la fonction musculaire qui sont naturelles avec l'âge, sont accélérés et sont constatés plus tôt chez les patients atteints de diabète de type 1. Dans cette revue nous pouvons observer que les malades nouvellement diagnostiqués présentent une atrophie musculaire diffuse par rapport à des

personnes du même âge sans pathologie. De plus, des enfants atteints de DT1 et dont la glycémie est mal contrôlée ont une force de préhension inférieure aux enfants sains, du même âge. Chez les adolescents, la durée de vie avec le diabète était liée à une diminution de la puissance et de la force musculaire. Chez les adultes en bonne santé atteints de DT1, la contraction musculaire maximale diminue plus rapidement après 35 ans, ce qui s'accompagne de changements dans la composition des fibres musculaires (99).

Une autre étude examine la relation entre les mesures de force musculaire du genou (flexion et extension) et les épaisseurs musculaires du quadriceps fémoral, montrant une diminution significative de la force musculaire et des mesures d'architecture musculaire chez les patients atteints de DT1. L'étude mentionne que les facteurs tels que l'hyperglycémie, la glycation des protéines, la diminution de l'insuline et d'autres hormones, ainsi que des modifications des cytokines peuvent jouer un rôle dans le développement de la myopathie du diabétique (100).

### (2) Neuropathie diabétique :

Il est attendu que les personnes atteintes de DT1 diagnostiquées avec cette complication présentent une atrophie musculaire et une diminution de la force musculaire. Des études ont montré que les effets négatifs sur la structure des muscles squelettiques sont plus prononcés chez les patients atteints de DT1 ayant également une neuropathie diabétique. Cependant, des altérations musculaires spécifiques sont observées chez les patients même en l'absence de complications neurologiques, suggérant que des facteurs autres que les lésions nerveuses contribuent au phénotype musculaire altéré associé au DT1 (99).

### (3) Capacité oxydative mitochondriale :

La capacité oxydative mitochondriale altérée, qui est la capacité des mitochondries à produire de l'énergie, pourrait être l'un des mécanismes sous-jacents de la fatigue musculaire observée chez les jeunes adultes atteints de DT1 sans complications, et est associée à une réduction de la capacité d'exercice aérobie et de la santé métabolique (99,101,102). Toutefois, les études montrent qu'on peut améliorer qualitativement et quantitativement les mitochondries par l'entraînement aérobie (101).

c) *Mobilité articulaire réduite :*

On constate que la mobilité articulaire est significativement détériorée chez les DT1 sur une période de 15 ans, comparé à des témoins sains, indiquant alors que cette dégradation est liée à la pathologie, non pas au vieillissement (85,103). L'un des mécanismes expliquant cette détérioration est le changement d'hydratation de la matrice de collagène, et les changements osmotiques induit par l'accumulation métabolique de polyols (85).

C. Prévention du risque d'hypoglycémie et de variabilité glycémique induite par l'exercice.

1. Education préalable et évaluation de la condition physique.

a) *L'évaluation médicale minimale.*

Elle est à réaliser dans notre cas quand le patient est atteint d'une maladie chronique selon le document de l'HAS (Haute Autorité de Santé) concernant la prescription d'activité physique adaptée (104), comprenant les points suivants :

- Estimation de l'intensité de l'activité physique qui sera demandé.
- Estimation du niveau habituel de l'AP du patient et de sa sédentarité selon un questionnaire (exemple le questionnaire Marshall (105)).
- Evaluation du risque de survenue d'un accident cardio-vasculaire potentiellement grave lié à l'AP selon son niveau de risque CV et de son niveau habituel d'AP.
- Estimation des risques à la pratique d'une AP, selon ses CI (Contre-Indications) et limitations à l'AP, et les risques spécifiques à la pratique d'une AP selon la pathologie ciblée, les traitements, l'âge, etc...
- Estimation de l'état de motivation du patient.

b) *À la suite de cette évaluation.*

Le médecin peut être amené à accompagner ou faire évoluer l'état de motivation du patient vis-à-vis de l'AP, de donner les conseils ou une éducation pour la santé sur l'AP et une prescription d'AP, et de compléter cette évaluation par une consultation médicale d'AP et/ou prescrire des examens complémentaire et/ou demander un avis spécialisé

Les conseils du médecin dépendent du niveau d'activité habituel du patient, de sa motivation et des risques associés à l'activité physique choisie avec lui.

- Pour les patients actifs, il est conseillé de continuer une activité d'intensité modérée et de l'augmenter progressivement.
- Pour les patients inactifs, il est recommandé de commencer par une activité de faible intensité (comme la marche) et de progressivement augmenter vers une intensité modérée si bien tolérée.

Si le patient est ouvert à un changement de comportement envers l'activité physique, le médecin l'encourage et fournit des conseils adaptés. Une ordonnance d'activité physique peut être rédigée si nécessaire.

Les patients à risque lors de l'évaluation médicale minimale sont pris en compte. Si le patient inactif manque de motivation pour l'activité physique, le médecin l'informe des avantages et de la nécessité d'accompagnement pour commencer une activité d'intensité modérée.

Si le patient est motivé ou ouvert au changement, le médecin discute des avantages de l'activité physique sur sa pathologie et sa qualité de vie, et envisage une consultation médicale d'activité physique si nécessaire.

### *c) Consultation médicale d'activité physique.*

La consultation médicale d'AP complète l'évaluation médicale minimale, elle n'est pas obligatoire et est en fonction du jugement clinique du médecin. Celle-ci devient nécessaire lorsque le patient est à risque d'évènements CV graves, de risques musculosquelettiques lié à l'AP, et selon les modalités de l'AP choisie et de la pathologie du patient et de son traitement ou état de santé (âge, handicap, surpoids etc...)

Certains patients sont à risque majoré de survenue de blessure cutanée grave à l'AP, tels que les patients diabétiques souffrant de neuropathie des membres inférieurs et qui ont un risque de plaie cutanée au niveau des pieds. Il est aussi essentiel d'évaluer le risque de survenue d'accident CV en lien avec la course à pied qui est une AP d'intensité élevée selon l'HAS (106).

Dans certain cas, le médecin peut être amené à prescrire des examens complémentaires et/ou demander un avis spécialisé selon des indications définies ou selon le contexte et le jugement clinique du médecin prescripteur et/ou du spécialiste sollicité. Dans le cas de la course à pied, des examens complémentaires sont indiqués, tel que l'épreuve d'effort avec avis d'un cardiologue, et ECG. Tout ceci est détaillé dans le guide de l'HAS de prescription d'AP adaptée (107).

A la suite de tous les examens, s'il est décidé que l'AP entraînera un bénéfice au patient, il sera alors possible de prescrire une AP adaptée au patient.

*d) Prescription d'Activité physique adaptée (APA) et limitations liées au DT1 (107) :*

En résumé les conditions de prescription initiale comprennent la démonstration des effets bénéfiques de l'APA, l'absence d'activité physique régulière conforme aux recommandations de l'OMS, l'incapacité à augmenter le niveau d'activité physique de manière autonome et sécuritaire, et l'acceptation du patient de suivre le programme tout en veillant aux limitations majeures liées au risque d'hypoglycémie à la pratique de l'AP tels que :

1. **Cétonémie élevée** : Lorsque le taux de cétones dans le sang est élevé (cétonémie > 0,5 mmol/L) et associé à une hyperglycémie importante (> 3 g/L [16,7 mmol/L]), il est recommandé de ne pas démarrer ou d'arrêter l'activité physique, car cela pourrait aggraver la cétose.
2. **Hypoglycémie récente** : Une hypoglycémie sévère dans les 24 heures précédentes (glycémie  $\leq$  2,8 mmol/l [ $\sim$  50 mg/dL]) est une contre-indication à l'activité physique, car elle augmente le risque de récurrence d'hypoglycémie grave pendant l'exercice. Même une hypoglycémie légère (glycémie 2,9-3,9 mmol/l [ $\sim$  50-70 mg/dL]) dans les dernières 24 heures doivent être prise en compte, en particulier si l'exercice se déroule dans un environnement jugé dangereux.
3. **Complications liées au diabète** : Pour les personnes atteintes de DT1 avec des complications importantes (comme une rétinopathie instable, une dysautonomie sévère, des problèmes rénaux, cardiovasculaires ou une HbA1c élevée), les exercices de forte intensité, la compétition ou le levage de charges lourdes sont déconseillés. Cependant, des activités physiques de faible à modérée intensité restent possibles et bénéfiques pour la santé, même si certaines complications nécessitent une contre-indication temporaire à l'activité physique.

*e) Les contre-indications liées à l'AP (107).*

Il est important de dépister et de considérer les complications du diabète qui pourraient restreindre la pratique de l'activité physique (AP) chez les patients diabétiques souhaitant débuter ou intensifier leur pratique sportive. Les complications spécifiques à prendre en compte sont :

1. **Rétinopathie instable** : En cas de rétinopathie proliférative sévère non stabilisée, les activités physiques nécessitant une forte intensité ou une augmentation importante de la pression artérielle (>180/100 mmHg), en particulier les exercices anaérobies, doivent être évitées en raison du risque

accru de complications oculaires telles que le décollement rétinien et l'hémorragie vitréenne.

2. **Neuropathie autonome** : Cette complication est associée à divers effets indésirables pendant l'activité physique, notamment l'hypoglycémie, l'hypotension orthostatique et la réduction de la régulation thermique.
  
3. **Problèmes podologiques** : La présence d'un mal perforant plantaire constitue une contre-indication temporaire et absolue à la pratique d'une AP au niveau des membres inférieurs, non seulement au niveau du pied lésé, mais également au niveau de l'autre pied. Cependant, les activités physiques des membres supérieurs restent autorisées.
  
4. **Maladie coronarienne et néphropathie** : Bien que la présence de néphropathie ne nécessite pas de restrictions spécifiques pour l'activité physique, il est important de noter que la néphropathie diabétique est reconnue comme un facteur de risque cardiovasculaire.

Malgré les contre-indications liées au DT1, l'activité physique est recommandée pour ces personnes, car les bénéfices pour la santé l'emportent généralement sur les risques associés à l'inactivité. Les activités à faible intensité peuvent être pratiquées par ceux qui ont des complications, offrant des avantages pour la santé avec peu de risques d'événements indésirables.

2. Planification progressive de l'entraînement.
  - a) *Activité physique adaptée.*

L'activité physique adaptée (APA) est définie selon l'HAS (107) comme une thérapie non médicamenteuse validée, mais elle doit se surajouter aux AP ou sportives quotidiennes du patient. Elle se prescrit sous forme de programmes dispensés par un professionnel de l'APA, s'adaptant en fonction de la pathologie et à l'individu, son degré d'autonomie et ses risques associés à la pratique.

### *b) Modalité d'un programme d'APA.*

L'APA se situe au niveau 2 dans la description du guide de l'HAS (104) dans la prescription d'AP, elle se compose de 2 à 3 séances d'AP de 45 à 60 minutes par semaine encadré par des professionnels de l'APA, associant différents exercices dans une durée de 3 mois renouvelable.

Le niveau 3 est une pratique supervisée par un professionnel de l'AP et sportive tel qu'un éducateur sportif formé, et n'est plus considérée comme une thérapie non médicamenteuse, en AP ou sportive. Le niveau 4 est une pratique non supervisée, où le patient atteint une autonomie lui conférant des bénéfices à sa santé.

### *c) Suivi médical de la prescription d'activité physique.*

Le suivi se fera tout au long des différentes consultations de suivi de la pathologie du patient auprès du médecin, à cette occasion le médecin pourra évaluer, réévaluer l'adhésion, sa tolérance, sa motivation, et adapter au besoin la prescription selon l'HAS (107).

Les conditions d'arrêt incluent la réalisation des objectifs du programme, l'interruption par le médecin en cas de déstabilisation de la maladie, le refus du patient, ou d'autres circonstances. Le patient peut être redirigé vers son médecin avec un compte rendu des séances.

Le renouvellement du programme d'APA nécessite le respect des conditions initiales, une impossibilité de passer à une activité physique ordinaire, et des bénéfices prouvés pour la santé du patient. Certains états de santé ne permettent pas un passage à des activités physiques ordinaires, et le médecin décide du renouvellement en évaluant les bénéfices/risques.

Le médecin traitant ou celui ayant prescrit initialement l'APA effectue le renouvellement, mais le masseur-kinésithérapeute peut le faire avec l'accord du médecin. Un compte rendu est transmis au médecin prescripteur, et le patient en reçoit une copie. Le médecin peut orienter le patient vers d'autres professionnels de l'APA selon les besoins lors d'une consultation de suivi.

d) *Résumé :*

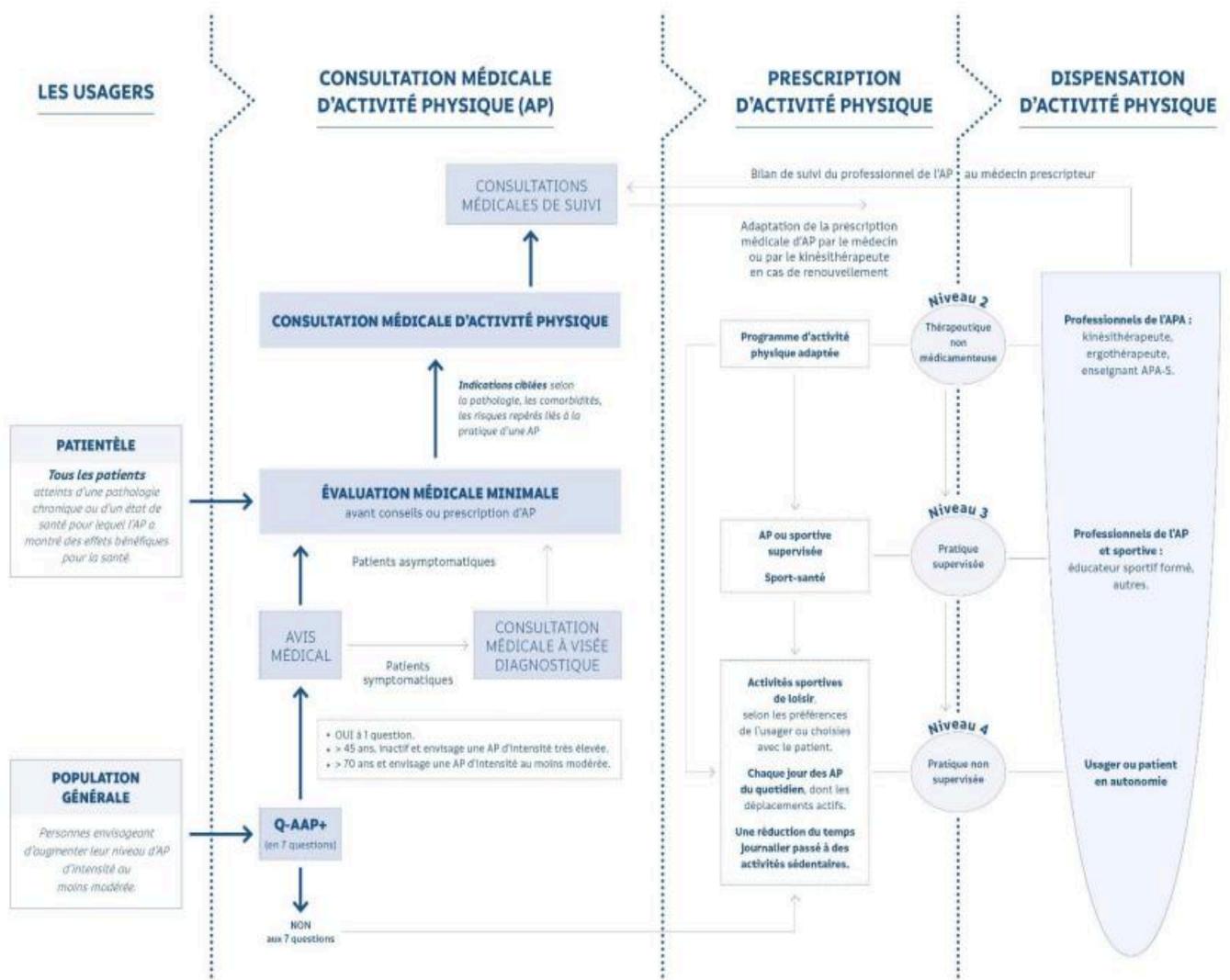


Figure 18 Arbre décisionnelle à la prescription d'activité physique.

3. Modulation de l'insuline :

Les recommandations théoriques qui vont suivre seront tirées de différentes études allant d'exercices de faibles intensités (environ 25% VO<sub>2</sub> max) à fortes intensités (environ 75% VO<sub>2</sub> max) et de courtes durées (moins d'une heure). Ces études sont majoritairement faites sur des amateurs ayant une pratique occasionnelle, irrégulière, en loisir ou professionnelle. Les conseils ne visent pas à aider les sportifs plus professionnels, qui possèdent un accompagnement personnalisé.

a) *Ajustement en cas d'activité physique à distance d'un repas de plus de 3 heures.*

(1) Pour les patients sous pompe, réduire le DB ou le bolus ?

Comme vu dans la partie 1, les pompes permettent une diffusion d'insuline rapide par un débit de base (DB), ou « insuline pour vivre » c'est-à-dire une petite quantité tout au long de la journée pour maintenir la glycémie, et à cela, s'ajoute les bolus d'insuline afin de prendre en charge l'apport alimentaire et surtout glucidique des repas. Nous pourrions alors ajuster la dose d'insuline avant une activité physique, soit en réduisant le DB, soit en réduisant le bolus.

Les bolus étant réservés à couvrir les apports alimentaires, il est naturel qu'à distance des repas, leur influence soit négligeable. Avant un effort d'endurance par un patient DT1, il faudra alors réduire le DB voire l'arrêter si toutefois l'exercice ne dure pas trop longtemps.

Selon plusieurs études (108,109), réduire, voire stopper le DB avant un exercice physique sans anticipation permet de réduire le risque hypoglycémique mais pas totalement. Il reste crucial de surveiller fréquemment la glycémie pendant l'effort et après également. Enfin, cette étude (108) montre que les hypoglycémies sont plus rares lorsqu'un individu commence un effort avec une glycémie >130 mg/dL, et si le DB était interrompu par arrêt de la pompe. Cependant, si on garde un DB quelle que soit la réduction, on aura une plus importante tendance à l'hypoglycémie, surtout lors de la phase de récupération après l'exercice physique, ce qui s'explique par un taux d'insuline active circulante plus importante, probablement lié à l'activité physique, c'est pourquoi cette étude recommande de plus simplement stopper, ou retirer la pompe pour une durée inférieure à 2 heures (110).

Finalement, si l'ajustement de dose d'insuline n'est pas anticipé, il est recommandé de se resucrer lorsque sa glycémie est <130 mg/dL voire <150mg/dL (111), afin d'anticiper les hypoglycémies précoces lors de l'exercice.

(2) *Anticiper la réduction avant l'effort :*

L'anticipation est particulièrement utile pour réduire les taux d'insuline active circulante dans notre organisme, principale cause d'hypoglycémie. Ces études (109,112) démontrent que quelle que soit les stratégies de réduction du DB, un effort physique entraînera une diminution de la glycémie de 3,6mmol/L soit 65 mg/dL, est que la meilleure stratégie consiste à diminuer son DB de 50% à 80%, et ce, 30 à 60 minutes avant l'exercice afin de limiter le risque d'hypoglycémie, à condition que la glycémie avant l'effort soit supérieure à 130 mg/dL.

S'il est difficile d'anticiper un ajustement de la dose d'insuline 30 à 60 minutes à l'avance, il sera alors nécessaire de contrôler sa glycémie capillaire et éventuellement de consommer des glucides pour faire face à une baisse d'environ 65 mg/dL de la glycémie.

Il convient de noter que toutes ces recommandations découlent d'une étude portant sur un exercice d'endurance modéré, soit environ 50 % de la VO<sub>2</sub> max. Il est important d'adapter ces résultats à la pratique quotidienne.

### (3) Maintenir la réduction après l'effort

#### (a) Chez le patient sous perfusion par pompe à insuline :

Comme dit précédemment, le risque hypoglycémique est maximal lorsque le DB est réduit et non coupé, surtout après l'exercice physique. Il est alors recommandé de maintenir la réduction après l'effort, durant la phase de récupération.

Il n'y a pas de durée standard d'arrêt ou réduction de la pompe à insuline après l'activité physique pour éviter les hypoglycémies. La durée dépend de nombreux facteurs notamment liés à la durée, l'intensité de l'effort, le moment de la journée, la sensibilité individuelle etc...

Selon (112) une réduction du DB durant 3h après l'effort, d'un exercice de 30 min n'a provoquée aucune hypoglycémie ni besoin de resucrage. D'autre part, un exercice à 75% VO<sub>2</sub> max, avec une réduction du DB de 50%, 80%, ou 100% durant les 2h de phase de repos précoce, n'a provoquée aucune hyperglycémie de rebond, ni même durant la nuit.

Une autre étude conseil de réduire son insuline basale de 20% pendant 6h afin de prévenir les hypoglycémies nocturnes (113).

#### (b) Chez le patient sous injection d'insuline :

L'ajustement de dose d'insuline injectable en stylo est un sujet très complexe par la multitude de schéma, et d'insuline différentes. Cependant des études montrent qu'une réduction d'insuline basale associée à une réduction d'insuline prandiale permet de diminuer le risque d'hypoglycémie pendant 24 heures après un effort d'intensité modérée (114), et ce sans hyperglycémie associée.

Réduire la dose d'insuline à action lente est rarement pratiqué car elle est considérée comme peu flexible. Cette diminution n'est actuellement pas recommandée car elle expose au risque d'hyperglycémie, mais elle reste une option envisageable, en attendant des études supplémentaires. Cependant, l'étude précédemment citée démontre qu'il est possible, pour un individu régulier dans la pratique sportive, de réduire de 20 % la dose d'insuline lente pour l'insuline glargine et détemir, et de 25 % pour l'insuline dégludec. Cette réduction est réalisable, mais le manque de flexibilité peut se faire ressentir lors d'exercices isolés et irréguliers.

*b) Ajustement en cas d'activité physique peu après un repas.*

*(1) Recommandations pour les patients sous pompe :*

Après un repas, et donc d'un bolus d'insuline, l'insulinémie sera très haut, ainsi que le risque d'hypoglycémie lors de l'activité physique. Il est alors fondamentale d'anticiper la réduction du bolus avant le repas.

- Selon cette étude (112), comparant les risques d'hypoglycémies entre une réduction du bolus, démontre qu'une diminution anticipée de 30 à 50% du bolus d'insuline prandiale suivie d'un effort d'intensité modéré de 30 min à 50% de VO<sub>2</sub> max après le repas permet d'éviter plus efficacement les hypoglycémies que d'abaisser le DB.
- Pour un exercice d'intensité modérée, il sera recommandé de diminuer son bolus de 50 à 75%.
- Pour un exercice de forte intensité, mais d'une durée inférieure à 30 minutes, il faudra diminuer d'au minimum 75% son bolus (111).

Et selon cette étude (115), une combinaison de réduction de DB et du bolus prandial avec une alimentation avec des glucides à faibles index glycémique aidera à diminuer l'hypoglycémie pendant l'activité physique et après durant 24 heures, le tout en évitant les hyperglycémies.

*(2) Recommandations pour les patients sous injection multiple d'insuline :*

Réduire la dose d'injection chez les patients utilisant des stylos pour multiples injections d'insuline est plus délicate en raison de la nature de cette méthode d'administration. En effet, les pompes à insuline délivrent des doses précises et en petites quantités, tandis que les injections sont administrées en doses plus importantes et moins précises. Par conséquent, cette méthode est moins flexible que l'utilisation des pompes à insuline.

Malgré tout, la réduction est inévitable. Une dose prandiale inchangée provoquera d'après cette étude (116) 100% d'hypoglycémie. Ce risque peut être diminué en suivant des recommandations similaires à celles énoncées pour les patients sous pompe d'insuline. L'étude réalisées sur un faible nombre de patients tient compte, après un petit-déjeuner standardisé des instructions en fonction de différentes durées et intensités d'exercice, ainsi, il est conseillé :

- A 25% de VO<sub>2</sub>max pendant 60 min, de réduire sa dose d'insuline préprandiale de 50%.
- A 50% de VO<sub>2</sub>max pendant 30 à 60 min, de réduire sa dose d'insuline de 50 à 75%.
- A 75% de VO<sub>2</sub>max une réduction de 75% de sa dose d'insuline.

L'étude constatera une diminution de 75% d'incidence d'hypoglycémie provoquée par l'activité physique.

c) *En résumé :*

	Repas < 3h	Repas > 3h
	Réduction du bolus	Réduction du débit de base
<b>Pompe à insuline (réduction du bolus ou du DB)</b>	Exercice de faible intensité : baisse de 30 à 50%	Réduction une heure avant de 50 à 80%
	Exercice d'intensité modérée : baisse de 50 à 75%	Ou
	Exercice de forte intensité : baisse d'au moins 75%	En cas de non-anticipation : resucrage préalable et réduction en phase de récupération précoce durant 2h à 3h
	Ou	
	En cas de non-anticipation, glycémie de départ comprise entre 150 et 180 mg/dL	
<b>Multiples injections d'insuline (réduction de l'analogue)</b>	Exercice de faible intensité : baisse du bolus de 30 à 50%	Pas de modification recommandée
	Exercice d'intensité	

	modérée : baisse du bolus de 50 à 75 %	
	Exercice de forte intensité : baisse du bolus d'au moins 75%	
	Ou	
	En cas de non-anticipation, glycémie de départ comprise entre 150 et 180 mg/dL	

Figure 19 Tableau récapitulatif des modifications de doses d'insulines pour des activités physiques de courtes durées (moins d'une heure).

- (1) Eviter les risques hypoglycémiques nocturnes :  
 (a) AP en début de journée :

Il peut être envisagé de réduire la dose d'insuline basale (par exemple de réduire le DB de la pompe S/C de 20%) ou la dose d'insuline prandiale du repas suivant l'activité physique (par exemple, réduire la dose de la pompe S/C de 30%) en fonction de l'heure à laquelle l'activité physique sera réalisée. Cette réduction de dose peut être nécessaire si l'activité physique se prolonge ou devient plus intense.

- (b) AP en fin de journée :

Un effort de courte durée (30 minutes environ) n'entraîne pas d'hypoglycémie tardive, comme démontré par l'étude citée précédemment (112). Le risque existe lors d'un exercice de plus de 1 heure en fin de journée. Afin de réduire ce risque, il sera recommandé de faire une autosurveillance glycémique avant de se coucher et de prendre une collation préventive si la glycémie est inférieure à 150 mg/dL. En outre, il peut être envisagé de réduire la dose de détémir nocturne ou de DB nocturne d'une pompe S/C (par exemple de 10 à 20%). Si un patient est traité avec de l'insuline glargine, ou déglucec, une collation plus importante avant de se coucher devrait être privilégiée si nécessaire.

#### 4. Alimentation :

L'alimentation est le second versant essentiel avec l'insuline pour la maîtrise de la glycémie. Réduire son insuline peut s'avérer insuffisant, il faudra alors y répondre par un apport glucidique, en particulier dans les activités physiques non anticipées, pendant l'effort, et/ou après l'effort. Encore une fois, il est important de souligner qu'au-delà de la théorie, il existe de nombreux facteurs à prendre en compte lors de la pratique, rendant la maîtrise de sa glycémie plus variable, notamment la durée, l'intensité, le moment de l'effort physique, la quantité d'insuline active, et si l'exercice a été anticipé ou non, enfin, avec une certaine variabilité inter-individuelle.

##### a) *Alimentation.*

Pour les athlètes d'endurance, il est crucial d'adopter des approches nutritionnelles qui permettent d'améliorer les réserves de glucides présentes dans les muscles et le foie, afin d'optimiser à la fois l'entraînement et les performances. Ces approches peuvent être regroupées en quatre catégories

- La quantité de calories quotidienne pendant l'entraînement ;
- Le moment optimal d'apport calorique avant l'exercice ;
- L'apport en nutriments pendant l'exercice ;
- Consommation post-exercice ;

##### (1) S'alimenter lors d'un effort anticipé.

(a) L'importance de l'alimentation pour une activité physique en journée réussie :

Pour tout individu malade ou non, qui compte pratiquer une activité d'endurance, il sera recommandé de s'alimenter minimum 3 heures avant l'effort, afin de pouvoir digérer et réduire toutes gênes gastro-intestinales pendant l'exercice. Les repas seront mixtes, équilibrés, comprenant glucides, lipides, protéines, évitant un apport trop important en fibre et les repas trop riches car ils ralentiront la vidange gastrique, et nuiront à la performance (117,118).

De plus, avant l'exercice, il est possible d'optimiser ses réserves de glycogène avec une boisson glucidique de 1 à 2g glucidiques par kilo de poids corporelle, afin de disposer de plus de ressources énergétiques et une meilleure hydratation nécessaire à un exercice d'endurance (118).

(b) Comment adapter son petit-déjeuner pour une activité sportive matinale :

Si l'exercice physique est prévu tôt le matin, il est conseillé de s'alimenter léger, par une collation, ou un repas liquide 1 à 2 heures avant l'entraînement, suivi d'un déjeuner complet après l'effort. Cela permettra d'assurer un apport énergétique suffisant pour optimiser la performance sportive (117).

(2) S'alimenter juste avant le départ d'une activité physique :

Il n'existe pas de consensus clair sur les adaptations à apporter avant de commencer un exercice physique. Il est recommandé de consommer une collation comprenant 15 à 20 grammes de glucides (5 grammes de sucre rapide, une barre de céréales ou 20 centilitres de jus de fruits) si le taux de glucides est inférieur à 150 mg/dL. Il est préférable de privilégier les sucres lents (111). Si la glycémie est comprise entre 5,0 et 6,9 mmol/L (soit entre 90 mg/dL et 125 mg/dL), il suffira de ne prendre que 10 grammes de glucides (119).

(3) S'alimenter pendant l'effort.  
(a) Effort non anticipé :

Lors d'un effort long pour une personne atteinte de diabète, il faut évidemment prendre des mesures afin d'éviter l'hypoglycémie. Voici quelques recommandations alimentaires :

En général, il est conseillé de consommer 1,0 à 1,5 grammes de glucides par kilogramme de poids corporel par heure d'exercice (118). Lorsqu'un apport de glucide est nécessaire, il est préférable de se resucrer par boisson concentrée à 6%, ces boissons seront plus efficaces que les boissons plus sucrées, telles que les jus de fruits ou soda pouvant aller jusqu'à 10% de sucre (120). Cependant, les études de resucrage concernant les boissons de plus de 8% n'ont pas influencées de façon significative et demande plus de recherche pour préciser les lignes directrices pour optimiser le resucrage.

(b) Effort anticipé :

A distance d'un repas et d'une dose de bolus ou d'insuline en prévision de l'exercice, il y aura moins besoin de glucides, soit environ 0,3 à 0,5 grammes par kilogramme de poids de corps par heure d'exercice.

Avant tout, lors d'un exercice anticipé, il faudra diminuer la dose d'insuline comme expliqué plus tôt. La prise de glucides est à adapter à chaque individu, et ne sera pas forcément nécessaire.

(4) Comment ajuster son alimentation pour une récupération optimale après une activité d'endurance :

Les activités physiques d'endurance entraînent une meilleure sensibilité à l'insuline, et ce de manière prolongée. Ainsi, il est nécessaire de reconstituer rapidement les réserves de glucides afin de prévenir les hypoglycémies précoces et tardives (nocturnes). Pour éviter cela, il est recommandé de prendre une collation. Pour prévenir les hypoglycémies tardives, l'apport de glucides complexes est bénéfique, tout comme une collation mixte comprenant des lipides et des protéines (référence 121).

b) En résumé :

Repas 3-4h avant	Repas 1h avant	Au départ de l'exercice	Durant l'effort	Après l'effort
Repas mixte associé aux doses usuelles d'insuline	Boisson glucidique associée à une demi-dose d'insuline	Collation de 15 à 20 g de glucides à IG moyen ou faible	Boisson concentrée à 5-6% de glucides à IG élevé	Prise glucidique recommandée pendant les 2h suivant l'exercice

Figure 20 Recommandations diététiques pour la pratique d'une activité physique long (>1 heure) (111).

c) Corriger une hypoglycémie :

Une hypoglycémie simple est caractérisée par une glycémie inférieure à 70 mg/dL (3,9 mmol/L) accompagnée de symptômes décrits dans la partie 1. L'hypoglycémie

modérée se situe entre 40 et 60 mg/dL, et l'hypoglycémie sévère est une chute importante de la glycémie, inférieure à 40 mg/dL ce qui peut entraîner une confusion mentale, perte de connaissance etc... (122).

### (1) Hypoglycémie simple :

En cas d'hypoglycémie simple détectée avant ou pendant l'exercice d'endurance, la prise de sucre rapide est recommandée pour restaurer rapidement la glycémie. Dans le cas où l'hypoglycémie a lieu durant l'effort, il est préférable de s'arrêter et de prendre sans délai un minimum de 15 à 20 grammes de glucides simples pour un adulte, soit 3 à 4 morceaux de sucres ou 15 cl de jus de fruit ou de soda, suivie d'une surveillance de la glycémie toutes les 15 minutes après jusqu'à ce que son taux de glucose soit estimé stable (85).

Concernant les patients qui utilisent des pompes à insuline, il est possible d'arrêter la pompe pour éviter une baisse de la glycémie pendant l'exercice. Cependant, il est important de noter que l'effet de l'arrêt de la pompe ne se produira qu'une heure après l'arrêt. C'est pourquoi les recommandations actuelles suggèrent plutôt de moduler la dose d'insuline en arrêtant l'insuline environ 60 à 90 minutes avant le début de l'exercice. En conclusion, la supplémentation en glucose est plus efficace pour éviter les hypoglycémies pendant l'exercice chez les patients diabétiques de type 1 (123). Toutefois, il est important de noter que cette supplémentation peut entraîner une prise de poids involontaire.

### (2) Hypoglycémie sévère :

Une hypoglycémie sévère est souvent accompagnée de trouble de la conscience, il sera alors déconseillé de resucrer par voie orale. Quelles sont les options alors possibles ?

#### (a) Le glucagon :

En prévention, chaque diabétique se verra délivrer du glucagon, sous forme injectable (glucagen kit) ou très récemment du glucagon par voie nasale (baqsimi®). Le glucagon est un traitement de secours pour l'hypoglycémie sévère. Analogue à l'hormone que nous avons naturellement, elle permet de mobiliser le glycogène hépatique, ce qui peut se révéler inefficace lors d'un exercice intense et long, suite à la déplétion des réserves de glycogène (124,125).

(b) Sérum de glucose :

L'alternative en non-réponse au glucagon est l'administration de sérum glucosé (G30%) en intraveineuse afin d'augmenter rapidement le taux de glucose sanguin. En particulier si les réserves de glycogène épuisées chez un sportif diabétique de type 1 (85).

d) *Alimentation avant la compétition.*

(1) *Recommandation des apports nutritifs.*

(a) *Apports glucidiques :*

Les heures précédant une compétition sont très différentes des heures précédant les entraînements routiniers. Afin de se surpasser lors de l'événement, il est conseillé de suivre des recommandations d'apports glucidiques documentées afin d'optimiser ses réserves en glycogène. Augmenter ses réserves permet de repousser la fatigue, prolonger la durée de l'exercice à l'état stable et augmenter la charge de travail chez les athlètes non diabétiques. Il a été observé que les diabétiques s'engageant dans des exercices d'endurance ont dû baser leur stratégies sur les recommandations nutritionnelles d'études menées chez les personnes non diabétiques (119).

<b>Niveau d'activité</b>	<b>Apport recommandé en glucides en g/kg de poids corporel/jour</b>
<b>Léger (faible intensité, axé sur les compétences)</b>	3-5/ kg de poids corporel/j
<b>Modéré (Environ 1h par jour)</b>	5-7 g/kg de poids corporel/j
<b>Elevé (1 à 3h d'exercice d'intensité modérée à élevée)</b>	6-10 g/kg de poids corporel/j
<b>Très élevé (&gt;4-5h d'exercice d'intensité modérée à élevée)</b>	8-12 g/kg de poids corporel/j
<b>Extrême (compétition cycliste d'élite)</b>	>12 g/kg de poids corporel/j

Figure 21 *Recommandation d'apports glucidiques quotidien pour les athlètes en endurance (119,126).*

Afin d'optimiser la disponibilité en glucides pour favoriser les performances pendant la compétition ou les séances d'entraînement clefs, voici différentes stratégies possibles selon la position de l'académie de nutrition et diététiques du Canada :

<b>TYPE DE</b>	<b>DURÉE DE</b>	<b>APPORTS EN</b>	<b>REMARQUE</b>
----------------	-----------------	-------------------	-----------------

STRATÉGIE	L'EXERCICE	GLUCIDES (G/KG DE POIDS CORPOREL/JOUR)	
<b>REPLISSAGE GÉNÉRALE DES RÉSERVES RECHARGEMENT DE GLUCIDES</b>	Exercice <90 min	7-12 g/kg/j comme l'apport d'entretien.	Aliments riches en glucides et pauvres en fibres, faciles à digérer pour assurer les réserves avec un confort intestinal optimal, ou un objectif de « poids de course » plus léger.
	Exercice >90 min ou exercice soutenu/intermittent	10-12 g/kg/j pendant 36 à 48h.	
<b>RAVITAILLEMENT RAPIDE</b>	Lors d'un délai <8h entre deux séances exigeantes	1-1,2 g/kg/heures pendant les 4 premières heures puis reprendre les besoins quotidiens habituels en carburant.	Aliments et/ou boissons riches en glucides peuvent garantir d'atteindre les objectifs.  Les collations régulières sont plus avantageuses.
<b>RAVITAILLEMENT JUSTE AVANT L'EXERCICE</b>	Pour des exercices >60 min	1-4 g/kg de poids de corps, à consommer 1-4 heures avant l'effort.	Eviter les matières riches en graisses/protéines/fibres afin de diminuer les problèmes gastro-intestinaux lors de l'événement.  Les aliments à faible indice glycémique fournissent une source de carburant plus constante sur la durée.

Figure 22 Stratégies d'apports en glucides intenses pour les athlètes (126).

(b) Apports protéiniques :

Concernant la consommation de protéine, il est recommandé de prendre 1,2 g/kg/j pour les sportifs d'endurance et jusque 2,0 g/kg/j pour les athlètes pour les exercices de force (125,126).

### (c) Apports lipidiques :

Pour une alimentation équilibrée, il est recommandé de consommer entre 20 à 35% de l'apport énergétique total sous forme de matières grasses. Il est important de noter que limiter la consommation d'énergie des grasses à 20% ou moins ne conduit pas à une amélioration des performances (125).

### (2) Le jour de la compétition.

#### (a) Course courte, type 5 km ou 10 km :

Pour les courses de 5 ou 10 km d'une durée le plus souvent inférieur à 90 minutes, les réserves énergétiques sont généralement suffisantes, donc seulement une alimentation bien équilibrée dans les jours précédents la course est recommandée. Le repas la veille de la course devrait contenir une bonne proportion de glucides, et le matin de la course, un petit déjeuner riche en glucides est recommandé pour reconstituer les réserves de glycogène. Il n'est pas nécessaire de consommer des glucides supplémentaires pendant la course, mais une collation contenant des glucides et un peu de protéines est conseillée après l'effort pour faciliter la récupération (127,128).

S'il n'est pas nécessaire de se resucrer, il est possible de simplement se rincer la bouche avec une solution de glucose pour améliorer ses performances (129). Différentes études montrent un effet positif sur les performances grâce à un rinçage toutes les 5 à 10 minutes d'une solution de 6,4 à 10% peut activer les voies de motivation du SNC (130).

#### (b) Course longue, semi, marathon ou plus :

Pour un semi ou un marathon soit le plus souvent d'une durée supérieure à 90 minutes, une planification alimentaire appropriée est essentielle. Dans les jours précédant la course, il est conseillé d'augmenter la proportion de glucides dans l'alimentation pour surcharger les muscles en glycogène. Le matin de la course, un petit déjeuner riche en glucides est recommandé pour reconstituer les réserves de glycogène hépatique. Pendant la course, une consommation de glucides peut être nécessaires pour les efforts dépassant 90 minutes. Une quantité d'environ 60 voire 90 g de glucides par heure est recommandé pour réduire l'utilisation des réserves de glycogène musculaire en utilisant la vitesse d'oxydation maximale du glucose exogène, environ d'1,2 g/min. Cependant, il est conseillé de tester en entraînement sa propre tolérance en apports de glucides, car au-delà de 60 g/h, il est rapporté plus de troubles intestinaux, et une réduction de la performance (131).

Une collation contenant des glucides et des protéines devrait être consommée dans les 30 minutes suivant la fin de l'épreuve afin d'optimiser la récupération rapide, et pendant 4-6h après maximum (127,128,130).

(c) Résumé :

<b>Type de course</b>	<b>Jours précédents</b>	<b>Veille de la course</b>	<b>Matin de la course</b>	<b>Pendant la course</b>	<b>Après la course</b>
<i>Courte durée &lt;90 min</i>	Alimentation équilibrée	Repas équilibré avec des glucides	Petit déjeuner riche en glucides	Pas nécessairement besoin de glucides supplémentaires	Collation avec glucides et protéines
<i>Longue durée &gt;90 min</i>	Augmenter les glucides	Riche en glucides, environ 10-12 g/kg de poids corporel.	Petit déjeuner riche en glucides, 2-3h avant le départ.	Consommation de glucides pendant l'épreuve supérieur à 60 g/h environ	Collation avec glucides d'environ 1,2 g/kg/h et protéines

Figure 23 Résumé de la nutrition pendant les différentes courses (127,128,130).

5. Gestion des hypoglycémies simple, sévère, hyperglycémie avec cétone, et des hyperglycémies.

a) *Hypoglycémie simple :*

S'il est ressenti des symptômes d'une hypoglycémie légère à modérée (tremblements, sueurs, faim, etc...) Il faut consommer rapidement des glucides simples pour augmenter le taux de sucre dans le sang. Cela peut inclure les gels ou barres d'énergies, des jus de fruit ou boissons sportives, ou des collations d'environ 15 à 20 grammes de glucides. A recommencer toutes les 15-20 minutes en fonction de sa glycémie que l'individu aura vérifié (132).

b) *Hypoglycémie sévère :*

Ici, une intervention médicale urgente est nécessaire. Il faut alors avoir prévenu préalablement son entourage et l'organisation de la course de sa maladie pour qu'ils

soient capables de prendre les mesures nécessaires d'urgences. On renvoie alors au chapitre gestion des hypoglycémies sévères par injection de glucagon, ou perfusion de solution glucosé.

### *c) Hyperglycémie :*

Les recommandations de l'ADA (American Diabetes Association) sont de surveiller l'acétonémie lorsque sa glycémie est supérieure à 300 mg/dL (16,7 mmol/L), sans acétone, l'activité physique est réalisable mais il faut avoir une idée de l'évolution de cette dernière, et continuer de contrôler sa glycémie avant de chercher à la corriger.

S'il y a présence d'acétone, c'est une contre-indication à la pratique sportive, il faudra cesser l'activité sportive, ou si elle n'a pas commencé, il faudra la repousser tant que l'acétone n'a pas disparu. Les sportifs devront travailler avec leurs médecins pour déterminer la nécessité d'ajuster l'insuline en cas d'hyperglycémie avant, pendant et après l'exercice.

Lors d'un épisode hyperglycémie, il y aura une polydipsie pour excréter le glucose, aggravant une déshydratation, il sera nécessaire de consommer des liquides non glucidiques (93).

## 6. Matériel pour la compétition (hydratation, alimentation, surveillance glycémique, insuline...)

Le choix du matériel dépend de la durée de l'effort, de son intensité, de l'accompagnement du sportif, du lieu (ravitaillement, injection glucagon etc....).

### *a) Alimentation :*

Il existe plusieurs façons de se resucrer pour concourir une épreuve d'endurance, la façon la plus optimale afin de réussir une course avec les meilleures sensations, une énergie accrue et sans problèmes d'estomac, est de s'alimenter le jour de la compétition comme lors de ses entraînements, avec un plan de ravitaillement étudié.

#### *(1) Gels :*

Les gels sont formulés pour offrir une concentration élevée de glucides soit environ 20 à 30 grammes, principalement sous forme de sucres rapides tels que le glucose

ou le fructose, complémentés d'électrolytes et pour certains, d'ingrédients stimulants tel que la caféine, guarana, vitamines, acides aminés. Cela permet un apport facilement utilisable, une absorption rapide par l'organisme, fournissant ainsi un regain d'énergie immédiat, mais peu durable (133).

## (2) Barres énergétiques :

Les barres permettent un apport solide, par son ingestion, et digestion plus longue que les gels, ils ne permettent pas un apport d'énergie explosif mais plus tardif, et surtout plus durable. Il est plus conseillé d'utiliser les barres pour les entraînements longs, moins explosifs.

Selon le contexte, il est bien sûr possible de combiner les deux (133).

### *b) Hydratation :*

Les sportifs d'endurances doivent boire des boissons contenant des glucides et des électrolytes pendant et après l'entraînement ou la compétition. Ceci est indispensable pour limiter les pertes hydriques lors de l'effort, éviter le stress thermique, retarder la fatigue et prévenir les blessures. Les recommandations sont d'ingérer environ 600 à 1200 ml de solution liquide contenant des glucides et du sodium. Les boissons apportent souvent une source de sucres rapides, complémentée de vitamines et électrolytes (134).

### *c) Surveillance glycémique, stylo à insuline :*

Bien sûr, il faut évidemment prendre de quoi surveiller sa glycémie, c'est-à-dire porter sur soi son capteur de glycémie, lecteur de glycémie avec bandelettes, autopiqueur et lancettes, en fonction de ce qui convient le mieux au patient. Et bien sûr l'insuline et l'équipement pour l'injecter, soit par le stylo ou la pompe.

## 7. Récupération après un effort long.

### *a) Récupération précoce :*

La récupération précoce après un effort concerne les mesures prises immédiatement après l'activité physique pour faciliter la récupération musculaire, la réhydratation et

le rétablissement des réserves énergétiques. Concernant les réserves énergétiques, il est nécessaire de refaire son stock de glycogène dans une fenêtre d'opportunité métabolique, comprise dans les minutes, à environ 6 heures après l'effort.

Dans cette période, il est conseillé d'ingérer des glucides à hauteur de 1,2 g/kg/h dans les premiers 3-5 heures, en privilégiant les aliments à indice glycémique élevé. Une consommation toutes les 15 à 30 minutes optimise la synthèse de glycogène lors de la récupération précoce consommer 0,8 – 1,0 g/kg/j pour les premières 24h.

Si l'athlète ne tolère pas un apport de glucide aussi élevé, on peut diminuer l'apport à 0,8 g/kg/h en ajoutant des protéines à un taux de 0,2 à 0,4 g/kg/h pour stimuler la reconstitution de glycogène. Pour les dommages musculaires importants liés aux exercices excentrique (marathon, descente...) on peut chercher une teneur élevée en leucine dans les 2 premières heures pour stimuler la synthèse des protéines musculaires et favoriser la récupération, et ajouter à cela des aliments riches en antioxydant afin de lutter contre l'augmentation des radicaux libres et du stress oxydatif lié à une activité trop intense (130,135).

#### *b) Récupération tardive :*

La récupération tardive après un effort d'endurance fait référence aux mesures prises au cours des heures, des jours, et même des semaines suivant l'activité physique intensive. Elle est essentielle pour permettre au corps de se rétablir complètement, de réparer les tissus endommagés, de reconstituer les réserves d'énergie et de restaurer l'équilibre hormonal.

Comme dit précédemment, après la récupération précoce, il faudra consommer 0,8 à 1,0 g/kg/jour pour les premières 24h. De plus, il faudra maintenir une réduction des doses d'insuline que ce soit la pompe, ou la dose basale, ce qui renvoie au chapitre de réduction d'insuline après l'exercice.

#### *c) Surveillance glycémique :*

On rappelle ici que la surveillance glycémique est nécessaire pendant l'effort, et bien sûr après l'effort, et surtout juste avant la nuit de sommeil, afin d'éviter les hypoglycémies nocturnes par une collation.

### III. Application des recommandations pratiques : Cas pratique et accompagnement thérapeutique.

#### A. Cas pratique.

1. Comment se prépare un sportif diabétique de type 1 en pratique ?
  - a) *Témoignage de Jérôme Trublet (85) :*

Jérôme Trublet est un sportif diabétique de type 1 diagnostiqué très tôt et ayant un diabète stable avec HbA1c compris entre 6,3 et 7,1%, pratiquant aujourd'hui des ultra-marathon (100 km). S'entraînant le soir, il vise l'hyperglycémie au départ (280 mg/dL) afin d'anticiper les hypoglycémies lors d'entraînements d'endurance simple, dans le cas d'exercice explosif type VMA, il prévoit une normoglycémie de départ et des boissons glycémiques et possiblement un bolus d'1 à 2 UI de départ.

Le sportif ayant beaucoup de pratique sait qu'anticiper une diminution du DB 1 heure avant une sortie longue n'a aucun effet sur sa glycémie contrairement aux recommandations selon (110,111), et privilégie désormais une glycémie haute de départ afin de prévenir les hypoglycémies pendant l'effort comme indiqué en cas de non anticipation selon l'étude citée précédemment (111).

#### b) *Témoignage de Jack (136) :*

Jack est un sportif amateur atteint de diabète de type 1 qui s'est fixé comme objectif de réaliser un semi – marathon, le patient a essayé différentes stratégies éloignées de toutes recommandations et finissant sur des hypoglycémies. Se formant sur l'hypoglycémie et la gestion des apports glycémique, le patient s'entraîna ensuite en supprimant son insuline rapide l'après-midi, avec une glycémie de 6,4 mmol/l (ou 116 mg/dL) avec des apports réguliers toutes les 20 minutes pour maintenir sa glycémie dans les normes soit 5,7 mmol/l ou 101 mg/dL.

Dans ce témoignage, il y a eu une réflexion après s'être exposé au risque le plus courant dans cette situation, Jack a dû trouver des solutions pour répondre à sa condition et permettre de progresser. Comme annoncée dans l'étude (116), un entraînement sans rien changer à sa dose d'insuline provoque 100% d'hypoglycémie, puis comme solution, il a supprimé sa dose d'insuline rapide pour sa séance de fin de journée, même si la précédente étude citée indique uniquement une réduction de la dose, mais en précisant bien qu'il existe peu d'étude pour les patients sous multiples injection d'insuline, dû à la complexité de réaliser des études au vu du nombre de schéma d'injection possible et d'insuline différentes. La pratique se révèle être propre à chaque individu, mais une réduction est bien nécessaire.

2. Quelle est la stratégie d'un sportif diabétique de type 1 le jour de la compétition ?

a) *Témoignage de Jérôme Trublet (85) :*

Ici l'objectif de ce compétiteur est la longue distance, pour le jour de son épreuve, l'athlète a baissé son DB de 50 à 70% au départ de la compétition, afin d'anticiper la deuxième partie de course. La glycémie visée au départ de la course est entre 250 et 280 mg/dL, sa glycémie va augmenter durant la première heure à 310 mg/dL et baisser de façon linéaire pour revenir à 130 mg/dL à l'arrivée. Les alarmes des capteurs sont inhibées mais le sportif garde un œil sur les chiffres pour maîtriser sa glycémie.

On constate ici que l'athlète ne réfléchit pas sa stratégie d'alimentation selon la règle des 3h avant l'épreuve, et n'anticipe pas une réduction de son insuline avant le départ non plus, il garde sa pompe et baisse l'insuline tardivement, mais suivant les recommandations plus haut, on voit que la stratégie pensée est d'éviter les hypoglycémies en deuxième partie de course par une glycémie de départ très élevée soit supérieur à 150 mg/dL selon (111). Il surveillera sa glycémie régulièrement mais évitera les hypoglycémies à l'arrivée.

b) *Témoignage de Jack (136,137) :*

Le plan durant le jour de la compétition est simple, réduction de la dose basale le matin, et supprimer l'insuline à action rapide du petit-déjeuner, faire une recharge glucidique toutes les 30 min, et surveiller sa glycémie après la course, l'après-midi et le soir pour éviter les hypo ou hyperglycémies nocturnes.

En pratique, le patient a négligé la dose d'insuline lente la veille, réduit d'environ 30% sa dose du matin et prit une dose de 2 UI d'insuline rapide (Novorapid®) accompagnant un petit-déjeuner très léger, provoquant une augmentation de sa glycémie à 15,1 mmol/L (2,74 g/L).

Au moment de la compétition, Jack est à 15,3 mmol/L (2,78 g/L), augmente à 17,6 mmol/L (3,2 g/L) après 30 min de course, réagit en injectant 2 UI pour descendre à 11 mmol/L (2g/L) tout le long de la course, tout en se resucrant toutes les 35 min par des boissons.

Ici on comprend que les expériences d'hypoglycémies de Jack l'ont poussées à réagir, mais finalement en provoquant une hyperglycémie qu'il a eu du mal à maîtriser. Il a donc suivi les recommandations de réduction d'insuline comme dans cette étude (114) qui nous dit que « réduire la dose basale d'insuline pourrait soutenir les effets bénéfiques de l'exercice régulier sur le contrôle glycémique chez les personnes atteintes de DT1 si l'apport supplémentaire en glucides est réduit », c'est sur ce dernier point que Jack reconnaît avoir manqué de rigueur, en apportant

nerveusement trop de recharge glucidique, en plus de ne pas avoir prévu l'hyperglycémie lié à la compétition, au stress etc...

3. Comment gère un sportif diabétique de type 1 la période post-compétition ?

a) *Témoignage de Jérôme Trublet (85) :*

L'athlète diabétique réduit son DB nocturne de 20% et parfois 30% lorsque ses séances durent plus de 3 heures, et ce jusqu'à 72 heures après la séance, si cela ne suffit pas, l'individu rajoute des féculents pour stabiliser sa glycémie, mais c'est une option qu'il préfère éviter.

On retrouve les recommandations des études suivantes (113,115) pour éviter les hypoglycémies post-compétitions, baisser son DB d'au moins 20% et si possible ajouter des aliments à faible IG (115).

b) *Témoignage de Jack (137) :*

Après la course, sa glycémie est à 19,6 mmol/L (3,56 g/L) causée par un resucrage trop important pour une trop faible quantité d'insuline, que le patient a corrigé par une importante dose d'insuline rapide (7 UI de Novorapid®). L'insuline a été réduite avec une surveillance régulière de la glycémie pendant 48h.

Finalement le patient qui par expérience, fut inquiet par les hypoglycémies à ses débuts, a dû lutter contre l'hyperglycémie durant toute la compétition et après, sans être inquiet à aucun moment d'une hypoglycémie, dû à une inadéquation entre la baisse d'insuline et l'apport en glucides.

4. Conclusion :

La pratique est une ressource utile qui passe avant la théorie, afin de donner plus de chance d'adapter des stratégies pour maîtriser les variations d'états liées au DT1. Beaucoup d'expositions par essais aux erreurs poussent à la résolution de ses derniers, à l'anticipation et l'identification des problèmes, le développement des solutions alternatives et enfin à la sélection de la ou des solutions les plus en adéquation à l'individu. Enfin, le besoin de l'acceptation de la maladie est le facteur essentiel pour une meilleur prise en charge de la pathologie, et de son contrôle glycémique.

## B. Conseil à l'officine : Accompagnement thérapeutique et pratique.

### 1. Recommandations pharmaco-thérapeutiques et matériels :

#### *a) Conseils sur l'utilisation d'appareils de surveillance pour gérer sa glycémie pendant l'exercice.*

##### (1) Les capteurs :

Lors de l'activité physique chez le patient diabétique, le recours à un appareil de mesure continue de la glycémie constitue un avantage indéniable pour la prévention d'hypo ou d'hyperglycémie par la lecture en temps réelle de la glycémie du patient, en plus d'une bonne connaissance des symptômes associés, le patient peut anticiper une crise par la lecture de la tendance de sa glycémie en temps réelle.

##### (a) Bonne pratique de pose :

Les capteurs adhèrent mieux lorsqu'ils sont placés sur une peau propre selon les recommandations du laboratoire Abbott® qu'on retrouve dans le Vidal (138), préalablement désinfectée et sèche avant l'application. Avant d'appliquer un capteur, il faut s'assurer de choisir un site d'application approuvé, le plus souvent sur la partie supérieure arrière du bras, loin des zones propices aux frottements.

- 1) Lavez : avec un savon sans parfum ni agent hydratant.
- 2) Désinfectez : pour retirer tout résidu huileux.
- 3) Séchez : il faut appliquer le capteur sur une peau entièrement sèche.

##### (b) Décollement des capteurs :

Lors d'activités sportives les individus peuvent rencontrer différents inconvénients, tel qu'un capteur qui se décolle, à ceci, il existe différentes solutions résumées dans ce texte (139) :

##### *(i) Améliorer l'adhérence :*

Le capteur peut se décoller malgré une application du capteur correct dû à la l'activité physique, de la transpiration, et bien d'autres raisons. Il existe des produits améliorant l'adhésion tels que les sprays adhésifs, ou des adhésifs liquides.



Figure 24 Spray adhésif Cavillon® (139).

(ii) *Pansements, bandes adhésives :*

Il existe d'autres solutions comme rajouter par-dessus le capteur des pansements type Tegaderm®, certains sportifs utilisent des bandes adhésives de taping kinésiologique adhérentes.



Figure 25 film tegaderm® (140).

(iii) *Surpansements :*

Il existe des surpansements, type Secuderm® composé d'un film protecteur non collant et d'un gel adhésif indépendant assurant une étanchéité totale. Ces pansements brevetés sont validés pour la plongée jusqu'à 60 mètres de profondeur.

### (c) Capteurs arrachés :

L'activité sportive peut engendrer de nombreuses circonstances pouvant arracher le capteur, la meilleure solution reste le brassard. Certains brassards sont adaptés à la plongée, tous protègent les capteurs.



*Figure 26 Brassard de capteur freestyle Abbott (141).*

### (2) Emplacement de la pompe :

La plupart des pompes à insulines sont conçues pour être portées à la ceinture, à la poche ou à un clip spécial. Si la pompe est bien fixée et située dans un endroit où elle ne frotte pas ou ne gêne pas les mouvements du coureur, cela peut minimiser les inconvénients. Pour cela, il existe différents équipements afin de sécuriser la fixation de la pompe pour que celle-ci ne bouge ou ne se détache pas pendant la course, il existe des t-shirts, des ceintures adaptés aux coureurs diabétiques afin d'apporter le confort et la simplicité pendant l'activité (142).

#### *b) Conseils autres, type de resucrage et insister pour toujours transporter du glucose sur soi :*

Il est nécessaire de connaître les symptômes de l'hypoglycémie pour réagir rapidement, mais même en cas de malaise, il faut contrôler sa glycémie, car il existe de nombreuses causes possibles à un malaise, car si la cause n'est pas l'hypoglycémie, il est inutile de rajouter une hyperglycémie à cette faiblesse.

Si l'hypoglycémie est avérée, il faut alors se resucrer par des glucides rapides. La façon la plus rapide d'absorber des glucides, est les boissons, car plus facilement assimilables. On rappelle qu'il est préconisé de prendre 15g de glucides, ni plus ni moins, soit l'équivalent de trois morceaux de sucre, qu'on peut diluer dans un verre d'eau, ou un petit verre de jus de fruits, une demi-canette de Coca-Cola, deux cuillères à soupe de sirop diluées dans de l'eau... Tout ceci très logiquement sans fibres, ni graisses, qui ralentiront l'absorption (viennoiseries, glaces, chocolats, fruits...), même s'il est préférable de se resucrer par tous les moyens, plutôt que de ne rien ingérer car nous n'avons pas de sucre rapide sous la main.

Enfin, je rappelle donc qu'il est indispensable de toujours avoir sur soi des glucides pour se resucrer, et comme précédemment dans ce manuscrit, qu'il faut contrôler la glycémie 15 minutes après le resucrage pour s'assurer que la glycémie soit corrigée (143).

### *c) Modalités du glucagon, l'avoir en permanence à disposition*

#### *(1) Le glucagon :*

Le glucagon est une hormone produite par les cellules alpha des îlots de Langerhans, situés dans le pancréas. Il régule la glycémie par son effet hyperglycémiant, en stimulant la libération de glucose dans le sang, par la dégradation du glycogène en glucose par la glycogénolyse. En outre, elle favorise la lipolyse en libérant les acides gras dans le sang.

Dans des situations de jeûne prolongé ou d'hypoglycémie, le glucagon est libéré pour augmenter la glycémie et fournir de l'énergie aux cellules. Elle travaille en tandem avec l'insuline afin de maintenir l'équilibre de la glycémie dans l'organisme (144).

Il existe actuellement deux formes de glucagon, le glucagen®, et le Baqsimi®.

#### *(2) Quand l'utiliser :*

Le glucagon s'utilise en urgence aux personnes diabétiques lors d'un malaise hypoglycémique grave. Dans ces cas, l'individu incapable d'ingérer du sucre nécessite l'administration de glucagon pour faire remonter sa glycémie (145).

- (3) Préparer l'administration :
- (a) Glucagen kit®.
    - (i) *Comment l'utiliser :*

Le glucaGen kit® est une seringue préremplie, il faut « injecter l'eau dans le flacon contenant la poudre compacte de glucagon. Remuer doucement le flacon jusqu'à ce que le glucagon soit complètement dissous et que la solution soit limpide. Prélever la solution » dans la seringue puis administrer par voie sous-cutanée, intramusculaire ou intraveineuse (146).



Figure 27 GlucaGen kit® et son schéma explicatif d'administration (147).

- (ii) *Comment le conserver :*

Le glucagen se conserve entre 2 °C et 8 °C pendant 36 mois avant reconstitution. A température ambiante ne dépassant pas 25 °C, il peut être conservé durant 18 mois maximum. Enfin, lors de la reconstitution, il doit être immédiatement utilisé (sauf lorsque la solution reconstituée est trouble, présentant des particules, des filaments) (146).

- (b) Le Baqsimi®.
  - (i) *Comment l'utiliser :*

Le baqsimi® est un médicament sous forme de spray nasal contenant du glucagon. Son utilisation à usage unique est encore plus simple :

- 1) Tirer sur la bande rouge pour retirer la pellicule plastique.
- 2) Ouvrir le couvercle et retirer le dispositif du tube.
- 3) Tenir le dispositif entre les doigts et le pouce.
- 4) Insérer la tige dans l'une des deux narines jusqu'à ce que le ou les doigts touchent l'extérieur du nez.
- 5) Enfoncez complètement le piston. La dose complète est administrée lorsque la ligne verte n'est plus visible (147).

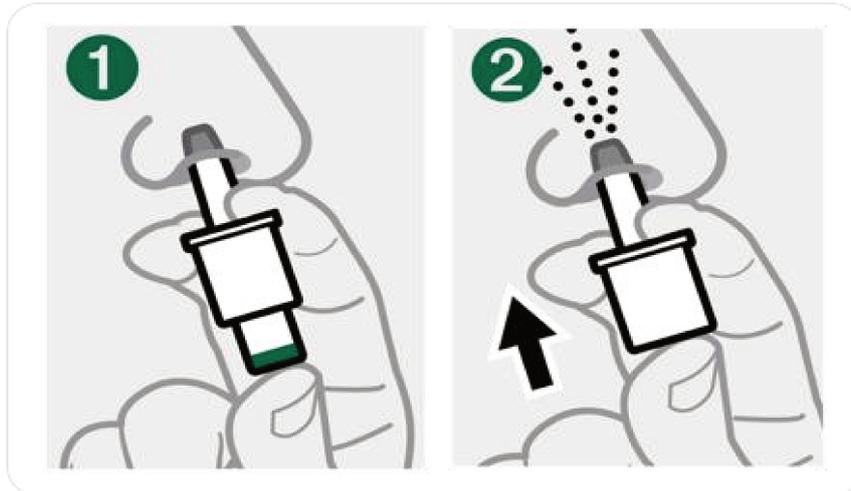


Figure 28 Administration du Baqsimi® (147).

(ii) *Comment le conserver :*

Sa conservation est plus simple, à température ambiante ne dépassant pas 30 °C pendant 2 ans, ou jusqu'à emploi (148).

2. **Conseils podologiques.**

a) *Protection des pieds :*

(1) **Sensibilisation au risque de complication.**

La prévention des risques de complications des pieds chez les coureurs diabétiques commence par la sensibilisation des patients à toutes types de plaies provoquées par des traumatismes mêmes mineurs (mycose, corps étranger, chaussure inadaptée...) ceux-ci sont à l'origine de 95% des lésions selon l'HAS (149), et afin de prévenir les complications potentiellement graves et maintenir la santé et la mobilité des coureurs. Cette prévention se fera par une vigilance constante et des pratiques appropriées en matière de chaussures et de soins des pieds.

## (2) Soins des pieds

La première nécessité est de réaliser un autocontrôle quotidien des pieds en présence ou non de neuropathie, avec une prévention des plaies et ampoules aux pieds en particulier chez le coureur du fait des irritations causées par des chaussures mal ajustées ou des frottements excessifs lors d'une course. Une hydratation quotidienne avec les soins d'hygiène et des phanères sont essentielles (149).

### b) Chaussage :

#### (1) Choix de chaussure approprié.

Le choix de chaussures appropriées est crucial pour les patients diabétiques de type 1 et également les coureurs afin de minimiser les risques de blessures et d'irritations aux pieds.

Il est impératif que les chaussures soient parfaitement ajustées à la taille du pied, évitant ainsi tout frottement ou pression excessive qui pourrait engendrer des blessures. Pour garantir un ajustement confortable, il est nécessaire d'essayer les chaussures tout en portant ses chaussettes, et de vérifier que malgré certains défauts tels que des oignons ou autres saillies, les chaussures n'exerceront pas de pression sur ces zones.

A noter que les chaussures doivent offrir suffisamment d'espace pour les orteils, évitant ainsi toute compression qui pourrait entraîner des déformations (150).

#### (2) Tissu et semelle.

Outre l'ajustement, l'utilisation de matériaux respirant est essentielle pour prévenir l'accumulation d'humidité, réduisant ainsi le risque d'infections fongiques. L'amorti est un autre facteur crucial à prendre en compte, car il aide à réduire la pression sur les points sensibles du pied, offrant ainsi un soutien supplémentaire pour les articulations et les os toujours selon (150).

## 3. Conseils nutritionnels.

### a) *Conseils sur le type et la quantité de glucides :*

Il est important d'avoir des collations lors d'une course d'endurance qu'on soit diabétique ou non. Dans le domaine de la nutrition, on distingue types de sucres : les

sucre simples tels que le glucose et le fructose, et les sucres complexes tels que la maltodextrine, et sucre de table, parmi d'autres. Il faut noter que le fructose peut causer des troubles digestifs (151).

L'apport en glucides réduit l'utilisation des réserves et retarde la fatigue. Les conseils concernant la consommation ne diffèrent pas de ceux énoncés dans la partie 2 : il est recommandé de consommer 15 à 20 g de glucides chaque 30 à 45 minutes, et cette quantité peut être dégressive si l'activité se prolonge (152).

*b) Souligner l'importance de consommer les protéines et les graisses saines pour favoriser la récupération sportive :*

On a souligné l'importance de consommer des glucides, mais ils ne sont pas les seuls macronutriments essentiels à la bonne récupération. Il est donc nécessaire de reconstituer les réserves de sucre épuisées pendant l'effort, de compenser la perte d'eau et de sels minéraux due à la transpiration, et d'apporter des protéines pour la reconstitution des protéines musculaires endommagées pendant l'effort. Les protéines deviennent alors primordiales et devraient être consommées dans les 30-60 minutes environ qui suivent la fin de l'exercice (153,154).

*c) Discuter des effets de la caféine, de l'alcool... sur la glycémie et prodiguer des conseils sur leur consommation.*

*(1) La caféine :*

La caféine peut entraîner une augmentation temporaire de la glycémie, différentes études démontrent sa capacité à diminuer la sensibilité à l'insuline et l'utilisation du glucose par les cellules, entraînant une augmentation de la glycémie (155). D'autre part, une augmentation de la glycémie peut s'expliquer par une libération d'adrénaline, provoquée par la caféine (156).

*(2) L'alcool :*

L'alcool peut avoir plusieurs effets sur la glycémie et ceux-ci peuvent varier en fonction de la quantité d'alcool consommée, du type d'alcool, et de la présence

d'aliments dans l'estomac, ainsi que la santé individuelle et de la sensibilité à l'insuline de chacun. :

- Effet hypoglycémiant par l'inhibition de la production de glucose par le foie et l'augmentation de l'utilisation du glucose par les cellules musculaires.
- Effet hyperglycémiant malgré qu'initialement, l'alcool puisse abaisser la glycémie, il peut ensuite augmenter la glycémie, car certaines boissons contiennent beaucoup de glucides (157).

#### 4. Conseils hydratation.

##### a) *Effet sur la glycémie :*

La déshydratation peut entraîner une augmentation du taux de sucre dans le sang : lorsque vous êtes déshydraté, votre sang devient plus concentré, ce qui peut entraîner une augmentation du taux de sucre dans le sang. C'est parce qu'il y a moins de liquide dans votre corps pour aider à transporter le glucose (sucre) de votre circulation sanguine dans vos cellules où il peut être utilisé comme énergie. En conséquence, le taux de sucre dans le sang peut augmenter selon (158).

Une glycémie élevée peut provoquer une déshydratation : D'autre part, une glycémie élevée peut également provoquer une déshydratation. Lorsque la glycémie est élevée, vos reins doivent travailler plus fort pour filtrer l'excès de glucose, ce qui peut entraîner une plus grande production d'urine. Si vous ne buvez pas suffisamment de liquides pour remplacer l'eau perdue, vous pouvez vous déshydrater (159).

En résumé, la déshydratation et la glycémie sont interconnectées, et il est important de rester bien hydraté pour aider à maintenir une glycémie saine. Si vous êtes diabétique, il est particulièrement important de surveiller votre glycémie et de prendre des mesures pour prévenir la déshydratation, comme boire beaucoup d'eau et éviter les boissons sucrées ou contenant de la caféine.

##### b) *Effets sur la gestion de course.*

###### (1) *Avant l'effort :*

Il est évident qu'il est nécessaire d'arriver correctement hydraté avant la course, sans toutefois boire des litres d'eau juste avant de prendre le départ. En effet le corps ne peut pas stocker l'eau en excès, ce qui pourrait causer une gêne et entraîner des passages fréquents aux toilettes. Par conséquent, il est recommandé de boire régulièrement et des petites quantités avant la course (151).

## (2) Pendant l'effort :

Une perte d'eau d'1% de notre organisme peut entraîner une diminution de 10% de notre capacité physique (160), il est donc essentiel de maintenir un niveau d'hydratation suffisant le plus longtemps possible. Les recommandations sont de boire 200 ml toutes les 15 à 20 minutes, sans dépasser 600 ml/h (151,160,161).

Cependant, il est également important de prendre en compte la durée de la course. Pour un parcours de 10 km, il n'est pas nécessaire de s'hydrater pendant l'effort. Il suffit d'arriver bien hydraté au départ, et si besoin, se contenter de boire de l'eau, car elle sera rapidement absorbée par rapport aux boissons. En revanche, lors d'efforts prolongés, il faudra consommer une boisson isotonique afin de compenser les pertes en sodium et potassium, qui sont essentiels à la contraction musculaire (151,161).

## (3) Après l'effort :

Il est nécessaire de compenser les pertes en eau après l'effort, surtout dans les deux heures suivant la course, et ce, toujours en petites quantités. Il est important de boire de l'eau mais également de consommer des hydrates de carbone et des sels pour les sorties longues (de 3 heures ou plus). Dans de telles situations, les boissons isotoniques sont adaptées (151).

## 5. Orienter le patient vers des associations :

En France, l'association référente en matière de diabète est la Fédération Française des Diabétiques (FFD) (162). L'association dispose d'une rubrique bien détaillée sur les bénéfices d'une activité physique adaptée, comment la mettre en place.

Par ailleurs, la FFD est une association de patients qui possède près de 90 associations locales en région. La FFD se donne pour vocation de représenter le près de 4 millions de patients diabétiques en France (tous les diabètes confondus). Les missions de l'association sont variées, comme défendre les droits des diabétiques, accompagner les patients et soutenir la recherche et l'innovation sur le diabète.

Au comptoir, orienter les patients diabétiques vers les associations de patients est un bon réflexe à avoir afin d'éviter par exemple l'isolement des patients ou encore une mauvaise gestion de la maladie.

#### **IV. Conclusions :**

Au début du vingtième siècle, le diabète conduit toujours systématiquement au décès du malade. Il y a encore quelques décennies, il paraissait impensable qu'un patient diabétique puisse réussir un exploit sportif tel que courir un marathon. Les exemples de sportifs de haut niveau atteints de diabète sont nombreux, tous sports confondus, on peut citer notamment le joueur de tennis Alexander Zverev, le triathlète Jay Hewitt...

Il est indéniable que la course à pied offre de nombreux bienfaits significatifs dans la prise en charge du diabète de type 1. Elle favorise une meilleure gestion de la glycémie en augmentant la sensibilité à l'insuline et en régulant la production de glucose par le foie. De plus, elle contribue à améliorer la condition cardiovasculaire, renforce le système immunitaire et favorise le bien-être psychologique.

Cependant, il est crucial de souligner qu'une pratique inappropriée de la course à pied peut également comporter des risques pour les patients diabétiques. Des variations extrêmes de la glycémie peuvent survenir, notamment en cas de mauvaise gestion de l'insuline ou d'une alimentation inadaptée. Il est donc primordial d'adopter une approche prudente et bien informée.

La gestion de l'insuline et de l'alimentation revêt une importance capitale dans la pratique de la course à pied pour les patients diabétiques. Il est impératif d'adapter les doses d'insuline en fonction de l'intensité et de la durée de l'effort physique, tout en surveillant régulièrement la glycémie pour éviter tout déséquilibre.

Enfin, il est essentiel de souligner que la pratique effective de la course à pied est plus cruciale que la simple connaissance théorique. Chaque patient a des besoins et des réponses physiologiques spécifiques, et c'est par la pratique régulière et l'observation attentive de ses propres réactions que l'individu pourra affiner sa gestion de la course à pied en lien avec son diabète de type 1.

En outre, le pharmacien joue un rôle déterminant dans l'accompagnement du patient diabétique pratiquant la course à pied. Il peut prodiguer des conseils précieux sur les médicaments, les dispositifs de mesure de la glycémie et les compléments alimentaires appropriés. Son expertise est une ressource inestimable pour optimiser la sécurité et l'efficacité de cette pratique sportive.

En définitive, la course à pied offre des opportunités considérables pour améliorer la qualité de vie des patients de type 1. Toutefois, une approche équilibrée et personnalisée, basée sur une gestion adéquate de l'insuline, de l'alimentation et une pratique régulière, demeure la clef du succès. Le soutien et les conseils avisés du pharmacien sont également des éléments essentiels pour garantir une pratique sportive sécurisée et bénéfique.

## Bibliographie :

1. Lévy-Marchal C, Fagot-Campagna A, Daniel M. Surveillance épidémiologique du diabète de l'enfant. :66.
2. Les chiffres du diabète en France | Fédération Française des Diabétiques [Internet]. [cité 13 sept 2022]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/diabete/chiffres-france>
3. chevalier.n@chu-nice.fr. Diabète de type 1 [Internet]. Société Française d'Endocrinologie. 2022 [cité 3 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.s fendocrino.org/diabete-de-type-1/>
4. Inserm [Internet]. [cité 13 sept 2022]. Diabète de type 1 · Inserm, La science pour la santé. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/diabete-type-1/>
5. Ndosu M, Wright-Hughes A, Brown S, Backhouse M, Lipsky BA, Bhogal M, et al. Prognosis of the infected diabetic foot ulcer: a 12-month prospective observational study. *Diabet Med.* janv 2018;35(1):78-88.
6. Rivière P. Le rôle des cellules immunitaires innées dans le développement du diabète de type 1 [Internet]. Salle de presse de l'Inserm. 2012 [cité 16 nov 2023]. Disponible sur: <https://presse.inserm.fr/le-role-des-cellules-immunitaires-innees-dans-le-developpement-du-diabete-de-type-1/5888/>
7. Type 1 Diabetes: Etiology, Immunology, and Therapeutic Strategies [Internet]. [cité 13 sept 2022]. Disponible sur: <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/physrev.00003.2010>
8. Imagawa A, Tachibana M. Fulminant type 1 diabetes: recent research progress and future prospects. *Diabetol Int.* 16 sept 2020;11(4):336-41.
9. LADA : DIABETE D'UN AUTRE TYPE ? | Diabète 66 [Internet]. 2022 [cité 26 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.diabete66.fr/lada-diabete-d-un-autre-type/>
10. Solis-Herrera C, Triplitt C, Reasner C, DeFronzo RA, Cersosimo E. Classification of Diabetes Mellitus. In: Feingold KR, Anawalt B, Blackman MR, Boyce A, Chrousos G, Corpas E, et al., éditeurs. *Endotext* [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000 [cité 26 févr 2023]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279119/>
11. Anticorps [Internet]. Nutrixeal Info. [cité 5 oct 2023]. Disponible sur: <https://nutrixeal-info.fr/index/anticorps/>

12. MedG) T (admin. Diabète sucré de type 1 [Internet]. MedG. 2018 [cité 4 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.medg.fr/diabete-sucree-de-type-1/>
13. <https://www.passeportsante.net/> [Internet]. 2012 [cité 4 oct 2022]. Diabète de type 1 : les personnes et les facteurs de risque. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=diabete-type1-pm-personnes-a-risque>
14. VIDAL [Internet]. [cité 6 oct 2022]. Les complications du diabète de type 1. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/metabolisme-diabete/diabete-type-1/complications.html>
15. Radermacher L, D’Orio V. [Metabolic emergencies related to diabetes mellitus: ketoacidosis and hyperosmolar state]. Rev Med Liege. juin 2005;60(5-6):466-71.
16. Tout sur l’injection [Internet]. Diabète Québec. [cité 19 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.diabete.qc.ca/fr/vivre-avec-le-diabete/soins-et-traitements/medicaments-et-insuline/all-about-injections/>
17. Radermecker RP, Jandrain B, Paquot N, Philips JC, Contessi E, Lavigne M, et al. [Prevention of hypoglycemia in patients with type 1 diabetes]. Rev Med Liege. juin 2003;58(6):361-8.
18. Pickup JC, Sutton AJ. Severe hypoglycaemia and glycaemic control in Type 1 diabetes: meta-analysis of multiple daily insulin injections compared with continuous subcutaneous insulin infusion. Diabet Med. 2008;25(7):765-74.
19. Radermecker RP, Scheen AJ. [Hypoglycaemic coma, a feared paroxysmal phenomenon in type 1 diabetic patient]. Rev Med Liege. mai 2004;59(5):265-9.
20. Fowler MJ. Microvascular and Macrovascular Complications of Diabetes. Clin Diabetes. 1 avr 2008;26(2):77-82.
21. Pharma C’est Pour Moi - «La #microangiopathie est une angiopathie qui atteint des #vaisseaux\_sanguins de petits calibres. ☒ ✓ Elle peut se situer au niveau de l’#œil👁️ (voir rétinopathie), du #rein (néphropathie) ou de #nerfs(neuropathie) ✓ Elle est souvent une complication du #diabète. | Facebook [Internet]. [cité 5 oct 2023]. Disponible sur: <https://www.facebook.com/pharma.cest.pour.moi/photos/a.1809059975978358/2521803978037284/>
22. Boyle PJ. Diabetes Mellitus and Macrovascular Disease: Mechanisms and Mediators. Am J Med. 1 sept 2007;120(9):S12-7.
23. La glycémie | Fédération Française des Diabétiques [Internet]. [cité 4 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/glycemie>

24. Isabelle LP. Prescription d'activité physique. Diabète de type 1. 2022;
25. ald8\_guidemedecin\_diabetepediatrie\_revunp\_vucd.pdf [Internet]. [cité 5 oct 2022]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/ald8\\_guidemedecin\\_diabetepediatrie\\_revunp\\_vucd.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/ald8_guidemedecin_diabetepediatrie_revunp_vucd.pdf)
26. ald8\_guidemedecin\_diabetetype1\_revunp\_vucd.pdf [Internet]. [cité 5 oct 2022]. Disponible sur: [https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/ald8\\_guidemedecin\\_diabetetype1\\_revunp\\_vucd.pdf](https://has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/ald8_guidemedecin_diabetetype1_revunp_vucd.pdf)
27. Charleer S, Mathieu C, Nobels F, De Block C, Radermecker RP, Hermans MP, et al. Effect of Continuous Glucose Monitoring on Glycemic Control, Acute Admissions, and Quality of Life: A Real-World Study. *J Clin Endocrinol Metab.* 1 mars 2018;103(3):1224-32.
28. Capteur de Glucose | Appareils pour Mesurer la Glycémie en Continu [Internet]. [cité 28 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/glycemie/mesure-du-glucose-en-continu>
29. La mesure du glucose en continu | Fédération Française des Diabétiques [Internet]. [cité 6 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/glycemie/mesure-du-glucose-en-continu>
30. Sepulchre E, Lutteri L, Cavalier E, Guerci B, Radermecker RP. A PROPOS DE L'HÉMOGLOBINE GLYQUÉE : *Rev Med Liège.* :7.
31. VIDAL [Internet]. [cité 25 oct 2022]. Recommandations Diabète de type 1. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/recommandations/diabete-de-type-1-1708.html>
32. Iglesias García J. La insulina [Internet]. Dciencia | Blog de ciencia para todos. 2017 [cité 18 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.dciencia.es/la-insulina/>
33. Elmghari G, Baki S, Elansari N. Histoire de l'insuline : entre le biologique et l'artificiel. *Hegel.* 2014;N° 2(2):208.
34. Verge D. Insulinothérapie Nouvelles molécules et voies d'administration. *médecine/sciences.* 1 nov 2004;20(11):986-98.
35. Centre européen d'étude du Diabète [Internet]. [cité 18 oct 2022]. L'insuline. Disponible sur: <http://ceed-diabete.org/fr/le-diabete/traitements/insuline/>

36. Philips JC, Radermecker RP. [Insulin therapy in type 1 diabetes]. Rev Med Liege. juin 2005;60(5-6):322-8.
37. Le traitement du diabète [Internet]. Ajd. [cité 25 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.ajd-diabete.fr/le-diabete/tout-savoir-sur-le-diabete/le-traitement/>
38. Définition - Insulib - Insulinothérapie Fonctionnelle - IF - diabète [Internet]. [cité 25 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.insulib.com/l-insulinotherapie-fonctionnelle/article/definition>
39. Centre européen d'étude du Diabète [Internet]. [cité 25 oct 2022]. L'insulinothérapie fonctionnelle, modèle d'éducation thérapeutique. Disponible sur: <http://ceed-diabete.org/blog/linsulinotherapie-fonctionnelle-modele-deducation-therapeutique/>
40. insulinothérapie fonctionnelle, basal bolus [Internet]. [cité 25 oct 2022]. Disponible sur: <http://www.hegp.fr/diabeto/traitementinsulineif.html>
41. Guardia A. Diabète : 7 conseils pour les injections d'insuline [Internet]. Diabète & Nutrition. 2016 [cité 19 oct 2022]. Disponible sur: <https://diabetnutrition.ch/diabete-conseils-injections-insuline/>
42. module-4-l-insuline-diabete-mc.pdf [Internet]. [cité 26 oct 2022]. Disponible sur: <https://ciusssmcq.ca/telechargement/406/module-4-l-insuline-diabete-mc>
43. Bon Usage des insulines et de leurs stylos - Les lipodystrophies [Internet]. [cité 26 oct 2022]. Disponible sur: [http://www.omedit-centre.fr/stylo/co/2\\_lipodystrophies.html](http://www.omedit-centre.fr/stylo/co/2_lipodystrophies.html)
44. Armando. Sagesse Santé. 2019 [cité 6 nov 2022]. Injection d'insuline : technique, effets secondaires et 8 conseils. Disponible sur: <https://sagessesante.fr/injection-insuline/>
45. L'injection d'insuline [Internet]. Ajd. [cité 6 nov 2022]. Disponible sur: <https://www.ajd-diabete.fr/le-diabete/tout-savoir-sur-le-diabete/ladministration-dinsuline/>
46. 6 étapes de l'auto-injection d'insuline - Sanofi-Diabète [Internet]. [cité 6 nov 2022]. Disponible sur: <https://www.sanofi-diabete.fr/vivre-avec-le-diabete/insuline-tous-les-jours/geste-auto-injection/6-etapes>
47. La pompe à insuline, parlons-en ! [Internet]. [cité 27 oct 2022]. La prise en charge. Disponible sur: <https://pompeainsuline.federationdesdiabetiques.org/comment-ca-marche/prise-en-charge/>

48. La pompe à insuline, parlons-en ! [Internet]. [cité 27 oct 2022]. Les acteurs. Disponible sur: <https://pompeainsuline.federationdesdiabetiques.org/comment-ca-marche/les-acteurs/>
49. Centre européen d'étude du Diabète [Internet]. [cité 27 oct 2022]. Les nouvelles pompes à insuline. Disponible sur: <http://ceed-diabete.org/blog/les-nouvelles-pompes-a-insuline/>
50. Pompe à insuline [Internet]. [cité 27 oct 2022]. Disponible sur: <https://www.dinnosante.fr/fre/21/le-materiel/pompes-insuline>
51. Pickup J, Keen H. Continuous Subcutaneous Insulin Infusion at 25 Years: Evidence base for the expanding use of insulin pump therapy in type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 1 mars 2002;25(3):593-8.
52. Pozzilli P, Battelino T, Danne T, Hovorka R, Jarosz-Chobot P, Renard E. Continuous subcutaneous insulin infusion in diabetes: patient populations, safety, efficacy, and pharmacoeconomics. *Diabetes Metab Res Rev*. janv 2016;32(1):21-39.
53. Cherubini V, Gesuita R, Bonfanti R, Franzese A, Frongia AP, Iafusco D, et al. Health-related quality of life and treatment preferences in adolescents with type 1 diabetes. The VIPKIDS study. *Acta Diabetol*. 1 févr 2014;51(1):43-51.
54. La pompe à insuline, parlons-en ! [Internet]. [cité 1 nov 2022]. Les avantages de la pompe à insuline. Disponible sur: <https://pompeainsuline.federationdesdiabetiques.org/pompe/les-avantages-inconvenients/les-avantages-pompe-insuline/>
55. bilan\_inciden\_pompes\_insuline\_externe.pdf [Internet]. [cité 6 nov 2022]. Disponible sur: [https://www.omedit-paysdelaloire.fr/wp-content/uploads/2020/08/bilan\\_inciden\\_pompes\\_insuline\\_externe.pdf](https://www.omedit-paysdelaloire.fr/wp-content/uploads/2020/08/bilan_inciden_pompes_insuline_externe.pdf)
56. Hypnotized. Association Belge du Diabète. [cité 28 févr 2023]. STYLO CONNECTE POUR INJECTION D'INSULINE : diabete.be. Disponible sur: <https://www.diabete.be/catalogue/novopen-6-stylo-connectes-couleur-gris-5555>
57. Masierek M, Nabrdalik K, Janota O, Kwiendacz H, Macherski M, Gumprecht J. The Review of Insulin Pens—Past, Present, and Look to the Future. *Front Endocrinol*. 8 mars 2022;13:827484.
58. Sy SL, Munshi MM, Toschi E. Can Smart Pens Help Improve Diabetes Management? *J Diabetes Sci Technol*. 21 oct 2020;16(3):628-34.
59. Moser O, Dietrich M, McCarthy O, Bracken RM, Eckstein ML. Bolus insulin dose depends on previous-day race intensity during 5 days of professional road-cycle

racing in athletes with type 1 diabetes: A prospective observational study. *Diabetes Obes Metab.* oct 2020;22(10):1714-21.

60. Le stress et le diabète [Internet]. *Diabète Québec*. [cité 28 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.diabete.qc.ca/fr/vivre-avec-le-diabete/psychologie/le-stress/le-stress-et-le-diabete/>
61. Riddell MC, Scott SN, Fournier PA, Colberg SR, Gallen IW, Moser O, et al. The competitive athlete with type 1 diabetes. *Diabetologia.* 2020;63(8):1475-90.
62. Ruegsegger GN, Creo AL, Cortes TM, Dasari S, Nair KS. Altered mitochondrial function in insulin-deficient and insulin-resistant states. *J Clin Invest.* 128(9):3671-81.
63. Niko. *Running Addict*. 2018 [cité 25 mars 2023]. Seuil aérobie : l'entraînement en endurance active. Disponible sur: <https://www.running-addict.fr/conseil-running/seuil-aerobie-entrainement-en-endurance-active/>
64. Lepape-Info [Internet]. 2018 [cité 20 sept 2023]. Aérobie/Anaérobie, quelle voie pour le traileur ? Disponible sur: <https://www.lepape-info.com/entrainement/entrainement-running/entrainement-trail/aerobieanaerobie-quelle-voie-pour-le-traileur/>
65. Article R6316-1 - Code de la santé publique - Légifrance [Internet]. [cité 7 mars 2023]. Disponible sur: [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043600549](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043600549)
66. Camille M. *Télesurveillance médicale du patient diabétique*. 2022;
67. *Telemedicine and diabetes: achievements and prospects* - PubMed [Internet]. [cité 12 mars 2023]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.ressources-electroniques.univ-lille.fr/21889388/>
68. Greenwood DA, Gee PM, Fatkin KJ, Peeples M. A Systematic Review of Reviews Evaluating Technology-Enabled Diabetes Self-Management Education and Support. *J Diabetes Sci Technol.* 31 mai 2017;11(5):1015-27.
69. Peterson A. Improving Type 1 Diabetes Management With Mobile Tools. *J Diabetes Sci Technol.* 9 avr 2014;8(4):859-64.
70. Bonoto BC, Araújo VE de, Godói IP, Lemos LLP de, Godman B, Bennie M, et al. Efficacy of Mobile Apps to Support the Care of Patients With Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *JMIR MHealth UHealth* [Internet]. mars 2017 [cité 23 mars 2023];5(3). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5352856/>

71. Timpel P, Oswald S, Schwarz PEH, Harst L. Mapping the Evidence on the Effectiveness of Telemedicine Interventions in Diabetes, Dyslipidemia, and Hypertension: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses. *J Med Internet Res*. 18 mars 2020;22(3):e16791.
72. Flocard M, Meyer L, Fabacher T, Bahougne T, Ortéga F, Paris D, et al. Prise en charge par téléconsultation des patients diabétiques dans le contexte de la pandémie de la COVID-19 : étude prospective observationnelle. *Médecine Mal Métaboliques*. févr 2021;15(1):24-32.
73. Diabétologie Pratique [Internet]. 2020 [cité 17 mars 2023]. La téléconsultation : la grande gagnante de l'épidémie de Covid. Disponible sur: <https://www.diabetologie-pratique.com/journal/article/0037577-teleconsultation-grande-gagnante-lepidemie-covid>
74. Kennedy A, Nirantharakumar K, Chimen M, Pang TT, Hemming K, Andrews RC, et al. Does Exercise Improve Glycaemic Control in Type 1 Diabetes? A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLOS ONE*. 15 mars 2013;8(3):e58861.
75. Ruzic L, Sporis G, Matkovic BR. High volume-low intensity exercise camp and glycemic control in diabetic children. *J Paediatr Child Health*. mars 2008;44(3):122-8.
76. Chimen M, Kennedy A, Nirantharakumar K, Pang TT, Andrews R, Narendran P. What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review. *Diabetologia*. 1 mars 2012;55(3):542-51.
77. Zinman B, Zuniga-Guajardo S, Kelly D. Comparison of the acute and long-term effects of exercise on glucose control in type I diabetes. *Diabetes Care*. déc 1984;7(6):515-9.
78. Moy CS, Songer TJ, LaPorte RE, Dorman JS, Kriska AM, Orchard TJ, et al. Insulin-dependent Diabetes Mellitus, Physical Activity, and Death. *Am J Epidemiol*. 1 janv 1993;137(1):74-81.
79. Fu Y, Feng Q, Wei Y, Fan L, Pan Y, Ji J, et al. Meta-Analysis of the Effect of Aerobic Training on Blood Pressure in Hypertensive Patients. *Comput Math Methods Med*. 25 mai 2022;2022:9281661.
80. Wu N, Bredin SSD, Guan Y, Dickinson K, Kim DD, Chua Z, et al. Cardiovascular Health Benefits of Exercise Training in Persons Living with Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 17 févr 2019;8(2):253.
81. Salem MA, AboEIASrar MA, Elbarbary NS, ElHilaly RA, Refaat YM. Is exercise a therapeutic tool for improvement of cardiovascular risk factors in adolescents with type 1 diabetes mellitus? A randomised controlled trial. *Diabetol Metab Syndr*. 11 juill 2010;2(1):47.

82. Liu X, Haagsma J, Sijbrands E, Buijks H, Boogaard L, Mackenbach JP, et al. Anxiety and depression in diabetes care: longitudinal associations with health-related quality of life. *Sci Rep.* 20 mai 2020;10:8307.
83. Domínguez-Domínguez A, Martínez-Guardado I, Domínguez-Muñoz FJ, Barrios-Fernandez S, Morenas-Martín J, Garcia-Gordillo MA, et al. Association between the Level of Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Type 1 Diabetes Mellitus. A Preliminary Study. *J Clin Med.* 13 déc 2021;10(24):5829.
84. Maggio ABR, Rizzoli RR, Marchand LM, Ferrari S, Beghetti M, Farpour-Lambert NJ. Physical Activity Increases Bone Mineral Density in Children with Type 1 Diabetes. *Med Sci Sports Exerc.* juill 2012;44(7):1206.
85. Duclos M, Berne C, Tschudnowsky M, Descatoire A, Gautier JF, de Kerdanet M, et al. Prise de position de la Société Francophone du Diabète (SFD) sur l'activité physique chez les patients avec un diabète de type 1. *Médecine Mal Métaboliques.* 1 oct 2019;13(6):483-535.
86. Richter EA, Hargreaves M. Exercise, GLUT4, and Skeletal Muscle Glucose Uptake. *Physiol Rev.* juill 2013;93(3):993-1017.
87. Riddell M, Perkins BA. Exercise and Glucose Metabolism in Persons with Diabetes Mellitus: Perspectives on the Role for Continuous Glucose Monitoring. *J Diabetes Sci Technol Online.* juill 2009;3(4):914-23.
88. Comprendre comment le stress nous rend malade, évaluer son impact et savoir le prendre en charge | [Internet]. 2021 [cité 31 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.lanutrition-sante.ch/comprendre-comment-le-stress-nous-rend-malade-evaluer-son-impact-et-savoir-le-prendre-en-charge/>
89. Mallad A, Hinshaw L, Schiavon M, Dalla Man C, Dadlani V, Basu R, et al. Exercise effects on postprandial glucose metabolism in type 1 diabetes: a triple-tracer approach. *Am J Physiol - Endocrinol Metab.* 15 juin 2015;308(12):E1106-15.
90. Ertl AC, Davis SN. Evidence for a vicious cycle of exercise and hypoglycemia in type 1 diabetes mellitus. *Diabetes Metab Res Rev.* 2004;20(2):124-30.
91. Hypoglycémie, hyperglycémie et acidocétose [Internet]. [cité 28 août 2023]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/hainaut/assure/sante/themes/diabete/diabete-symptomes-evolution/acido-cetose-hypoglycemie-hyperglycemie>
92. Yurkewicz M, Cordas M, Zellers A, Sweger M. Diabetes and Sports. *Am J Lifestyle Med.* 8 juill 2016;11(1):58-63.

93. Jimenez CC, Corcoran MH, Crawley JT, Guyton Hornsby W, Peer KS, Philbin RD, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Management of the Athlete With Type 1 Diabetes Mellitus. *J Athl Train.* 2007;42(4):536-45.
94. Grandi AM, Piantanida E, Franzetti I, Bernasconi M, Maresca A, Marnini P, et al. Effect of Glycemic Control on Left Ventricular Diastolic Function in Type 1 Diabetes Mellitus. *Am J Cardiol.* 1 janv 2006;97(1):71-6.
95. Sciacqua A, Miceli S, Greco L, Arturi F, Naccarato P, Mazzaferro D, et al. One-Hour Postload Plasma Glucose Levels and Diastolic Function in Hypertensive Patients. *Diabetes Care.* oct 2011;34(10):2291-6.
96. Jlali I, Heyman E, Matran R, Marais G, Descatoire A, Rabasa-Lhoret R, et al. Respiratory function in uncomplicated type 1 diabetes: Blunted during exercise even though normal at rest! *Diabet Med.* 2023;40(5):e15036.
97. D'Souza DM, Al-Sajee D, Hawke TJ. Diabetic myopathy: impact of diabetes mellitus on skeletal muscle progenitor cells. *Front Physiol.* 20 déc 2013;4:379.
98. Billat V, Berthoin S, Blondel N, Gerbeaux M. La vitesse à VO<sub>2</sub> max, signification et applications en course à pied. *Staps.* 2001;54(1):45-61.
99. Travis C, Srivastava PS, Hawke TJ, Kalaitzoglou E. Diabetic Bone Disease and Diabetic Myopathy: Manifestations of the Impaired Muscle-Bone Unit in Type 1 Diabetes. *J Diabetes Res.* 12 mai 2022;2022:2650342.
100. Tan S, Gunendi Z, Meray J, Yetkin İ. The evaluation of muscle strength and architecture in type 1 diabetes mellitus: a cross-sectional study. *BMC Endocr Disord.* 7 juin 2022;22:153.
101. Bassi-Dibai D, Santos-de-Araújo AD, Dibai-Filho AV, de Azevedo LFS, Goulart C da L, Luz GCP, et al. Rehabilitation of Individuals With Diabetes Mellitus: Focus on Diabetic Myopathy. *Front Endocrinol.* 14 avr 2022;13:869921.
102. Monaco CMF, Perry CGR, Hawke TJ. Alterations in mitochondrial functions and morphology in muscle and non-muscle tissues in type 1 diabetes: implications for metabolic health. *Exp Physiol.* 2020;105(4):565-70.
103. Labad J, Rozadilla A, Garcia-Sancho P, Nolla JM, Montanya E. Limited Joint Mobility Progression in Type 1 Diabetes: A 15-Year Follow-Up Study. *Int J Endocrinol.* 2 mai 2018;2018:1897058.
104. Isabelle LP. La prescription d'activité physique adaptée (APA). 2022;

105. questionnaire\_marshall.pdf [Internet]. [cité 5 nov 2023]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-02/questionnaire\\_marshall.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-02/questionnaire_marshall.pdf)
106. guide\_connaissance\_ap\_sedentarite\_vf.pdf [Internet]. [cité 8 nov 2023]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-08/guide\\_connaissance\\_ap\\_sedentarite\\_vf.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2022-08/guide_connaissance_ap_sedentarite_vf.pdf)
107. Consultation et prescription médicale d'activité physique à des fins de santé chez l'adulte. 2022;
108. Diabetes Research in Children Network (DirecNet) Study Group, Tsalikian E, Kollman C, Tamborlane WB, Beck RW, Fiallo-Scharer R, et al. Prevention of hypoglycemia during exercise in children with type 1 diabetes by suspending basal insulin. *Diabetes Care*. oct 2006;29(10):2200-4.
109. Zaharieva D, Yavelberg L, Jamnik V, Cinar A, Turksoy K, Riddell MC. The Effects of Basal Insulin Suspension at the Start of Exercise on Blood Glucose Levels During Continuous Versus Circuit-Based Exercise in Individuals with Type 1 Diabetes on Continuous Subcutaneous Insulin Infusion. *Diabetes Technol Ther*. juin 2017;19(6):370-8.
110. Admon G, Weinstein Y, Falk B, Weintrob N, Benzaquen H, Ofan R, et al. Exercise with and without an insulin pump among children and adolescents with type 1 diabetes mellitus. *Pediatrics*. sept 2005;116(3):e348-355.
111. 202010\_06-1.pdf [Internet]. [cité 22 avr 2023]. Disponible sur: [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/251980/1/202010\\_06-1.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/251980/1/202010_06-1.pdf)
112. Franc S, Daoudi A, Pochat A, Petit M -H., Randazzo C, Petit C, et al. Insulin-based strategies to prevent hypoglycaemia during and after exercise in adult patients with type 1 diabetes on pump therapy: the DIABRASPORT randomized study. *Diabetes Obes Metab*. déc 2015;17(12):1150-7.
113. Chetty T, Shetty V, Fournier PA, Adolfsson P, Jones TW, Davis EA. Exercise Management for Young People With Type 1 Diabetes: A Structured Approach to the Exercise Consultation. *Front Endocrinol*. 14 juin 2019;10:326.
114. Moser O, Eckstein ML, Mueller A, Birnbaumer P, Aberer F, Koehler G, et al. Reduction in insulin degludec dosing for multiple exercise sessions improves time spent in euglycaemia in people with type 1 diabetes: A randomized crossover trial. *Diabetes Obes Metab*. févr 2019;21(2):349-56.
115. Campbell MD, Walker M, Bracken RM, Turner D, Stevenson EJ, Gonzalez JT, et al. Insulin therapy and dietary adjustments to normalize glycemia and prevent

nocturnal hypoglycemia after evening exercise in type 1 diabetes: a randomized controlled trial. *BMJ Open Diabetes Res Care*. 12 mai 2015;3(1):e000085.

116. Rabasa-Lhoret R, Bourque J, Ducros F, Chiasson JL. Guidelines for premeal insulin dose reduction for postprandial exercise of different intensities and durations in type 1 diabetic subjects treated intensively with a basal-bolus insulin regimen (ultralente-lispro). *Diabetes Care*. avr 2001;24(4):625-30.

117. Purcell LK. La nutrition sportive des jeunes athlètes. *Paediatr Child Health*. avr 2013;18(4):203-5.

118. Riddell M, Iscoe K. Physical activity, sport, and pediatric diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2006;7(1):60-70.

119. Scott S, Kempf P, Bally L, Stettler C. Carbohydrate Intake in the Context of Exercise in People with Type 1 Diabetes. *Nutrients*. 10 déc 2019;11(12):3017.

120. Phillips SM, Turner AP, Sanderson MF, Sproule J. Beverage carbohydrate concentration influences the intermittent endurance capacity of adolescent team games players during prolonged intermittent running. *Eur J Appl Physiol*. 1 mars 2012;112(3):1107-16.

121. Kalergis M, Schiffrin A, Gougeon R, Jones PJH, Yale JF. Impact of bedtime snack composition on prevention of nocturnal hypoglycemia in adults with type 1 diabetes undergoing intensive insulin management using lispro insulin before meals: a randomized, placebo-controlled, crossover trial. *Diabetes Care*. janv 2003;26(1):9-15.

122. Hypoglycémie légère, modérée ou sévère : comment faire la différence? [Internet]. *Diabète Québec*. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.diabete.qc.ca/fr/vivre-avec-le-diabete/soins-et-traitements/hypoglycemie-et-hyperglycemie/hypoglycemie-legere-moderee-ou-severe -comment-faire-la-difference/>

123. Eckstein ML, McCarthy O, Tripolt NJ, Müller A, Birnbaumer P, Pferschy PN, et al. Efficacy of Carbohydrate Supplementation Compared With Bolus Insulin Dose Reduction Around Exercise in Adults With Type 1 Diabetes: A Retrospective, Controlled Analysis. *Can J Diabetes*. 1 déc 2020;44(8):697-700.

124. VIDAL [Internet]. [cité 5 mai 2023]. Hypoglycémie sévère : la spécialité de glucagon par voie nasale BAQSIMI désormais remboursable. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/actualites/28618-hypoglycemie-severe-la-specialite-de-glucagon-par-voie-nasale-baqsimi-desormais-remboursable.html>

125. Pujalte G, Alhumaidi HM, Ligaray KPL, li RPV, Israni K, Abadin AA, et al. Considerations in the Care of Athletes With Type 1 Diabetes Mellitus. *Cureus*

[Internet]. 21 févr 2022 [cité 5 mai 2023];14(2). Disponible sur:  
<https://www.cureus.com/articles/77525-considerations-in-the-care-of-athletes-with-type-1-diabetes-mellitus>

126. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Acad Nutr Diet*. 1 mars 2016;116(3):501-28.

127. humans.txt. La Clinique Du Coureur. [cité 21 mai 2023]. Mon alimentation lors d'une compétition - Conseil. Disponible sur:  
<https://lacliniqueducoureur.com/coureurs/nutrition-sujets/mon-alimentation-lors-d-un-competition/mon-alimentation-lors-d-une-competition/>

128. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*. 29 août 2017;14:33.

129. Jeukendrup A. A Step Towards Personalized Sports Nutrition: Carbohydrate Intake During Exercise. *Sports Med Auckl Nz*. 2014;44(Suppl 1):25-33.

130. Vitale K, Getzin A. Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients*. 7 juin 2019;11(6):1289.

131. Rousseau AS. Nutrition, santé et performance du sportif d'endurance. *Cah Nutr Diététique*. 1 févr 2022;57(1):78-94.

132. OVERSTIM.s [Internet]. 2018 [cité 26 mai 2023]. Sportifs : Tout savoir sur l'hypoglycémie ! OVERSTIM.s. Disponible sur:  
<https://www.overstims.com/conseil/hypoglycemie/>

133. Tuvalum. Barres ou gels, lequel choisir ? [Internet]. 2021 [cité 26 mai 2023]. Disponible sur: <https://tuvalum.fr/blog/barres-ou-gels-lequel-choisir/>

134. von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithäuser R. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition*. 1 juill 2004;20(7):651-6.

135. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc*. mars 2009;41(3):709.

136. [Internet]. Diabetes. [cité 21 août 2023]. Disponible sur:  
<https://www.diabetes.co.uk/blog/2015/02/running-a-half-marathon-with-type-one-diabetes-jacks-story-part-one/>

137. [Internet]. Diabetes. [cité 28 août 2023]. Disponible sur:  
<https://www.diabetes.co.uk/blog/2015/03/running-a-half-marathon-with-type-one-diabetes-jacks-story-part-two/>

138. VIDAL [Internet]. [cité 15 sept 2023]. FREESTYLE LIBRE 2 capteur - Parapharmacie. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/freestyle-libre-2-capteur-226629.html>
139. Trucs et astuces pour le Free Style Libre (FSL) | Diabète 66 [Internet]. 2020 [cité 15 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.diabete66.fr/trucs-et-astuces-pour-le-free-style-libre-fsl/>
140. Pansement film transparent avec cadre 3M™ Tegaderm™ [Internet]. [cité 15 sept 2023]. Disponible sur: [https://www.3mfrance.fr/3M/fr\\_FR/p/d/b00035590/](https://www.3mfrance.fr/3M/fr_FR/p/d/b00035590/)
141. My Diabetes Care [Internet]. [cité 15 sept 2023]. Brassard capteur Freestyle Libre 2 Sensitif ouvert. Disponible sur: <https://mydiabetescare.be/fr/products/fixeerband-freestyle-libre-sensitive>
142. Kaio-Dia. Kaio-Dia. [cité 20 sept 2023]. Sport avec un capteur et une pompe à insuline pour les diabétiques. Disponible sur: <https://fr.kaio-dia.eu/pages/faire-du-sport-avec-un-capteur-de-glycemie-et-une-pompe-a-insuline>
143. Resucrage : les 10 commandements [Internet]. [cité 23 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.dinnosante.fr/fre/33/etre-attentif-a-sa-sante/au-quotidien/resucrage-les-10-commandements>
144. González-Vélez V, Dupont G, Gil A, González A, Quesada I. Model for Glucagon Secretion by Pancreatic  $\alpha$ -Cells. PLoS ONE. 7 mars 2012;7(3):e32282.
145. resopharma. lepharmacien.fr. [cité 20 juin 2023]. Glucagon, mode d'emploi. Disponible sur: <http://www.lepharmacien.fr/blog-pharmacien/article/glucagon-mode-d-emploi>
146. VIDAL [Internet]. [cité 20 juin 2023]. GLUCAGEN KIT 1 mg/ml pdre/solv p sol inj. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/glucagen-kit-1-mg-ml-pdre-solv-p-sol-inj-7582.html>
147. Le glucagon : ce que c'est et comment l'utiliser | Diabetes at School [Internet]. [cité 20 juin 2023]. Disponible sur: <https://diabetealecole.ca/parents/glucagon1>
148. VIDAL [Internet]. [cité 20 juin 2023]. BAQSIMI 3 mg pdre nasal en récipient unidose. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/baqsimi-3-mg-pdre-nasal-en-recipient-unidose-208685.html>
149. Haute Autorité de Santé [Internet]. [cité 11 oct 2023]. Affection podologique & diabète : un suivi pluriprofessionnel. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/jcms/p\\_3218144/fr/affection-podologique-diabete-un-suivi-pluriprofessionnel](https://www.has-sante.fr/jcms/p_3218144/fr/affection-podologique-diabete-un-suivi-pluriprofessionnel)

150. L'importance de bonnes chaussures pour les personnes atteintes de diabète : Midwest Institute for Non-Surgical Therapy : Radiologues vasculaires et interventionnels [Internet]. [cité 1 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.mintstl.com/blog/the-importance-of-good-footwear-for-people-with-diabetes>
151. Hygiene GM&. Les boissons isotoniques sont-elles utiles? - Planete sante. [cité 24 juin 2023]. Les boissons isotoniques sont-elles utiles? Disponible sur: <https://www.planetesante.ch/Magazine/Sport-loisirs-et-voyages/Bouger-pour-sa-sante/Les-boissons-isotoniques-sont-elles-utiles>
152. USD [Internet]. [cité 24 juin 2023]. USD | Fiches pratiques. Disponible sur: <https://www.unionsportsetdiabete.com/fiches>
153. Alimentation : comment bien récupérer après une activité sportive ? e-sante.be | E-santé [Internet]. [cité 24 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.e-sante.be/alimentation-comment-bien-recuperer-apres-activite-sportive/actualite/387>
154. Hygiene GM&. Bienvenue dans l'assiette du sportif - Planete sante. [cité 24 juin 2023]. Bienvenue dans l'assiette du sportif. Disponible sur: <https://www.planetesante.ch/Magazine/Sport-loisirs-et-voyages/Bouger-pour-sa-sante/Bienvenue-dans-l-assiette-du-sportif>
155. Sacramento JF, Ribeiro MJ, Yubero S, Melo BF, Obeso A, Guarino MP, et al. Disclosing caffeine action on insulin sensitivity: Effects on rat skeletal muscle. *Eur J Pharm Sci.* 5 avr 2015;70:107-16.
156. BETTER. BETTER. 2022 [cité 21 juin 2023]. Impact de la caféine sur la glycémie: que savons-nous? Disponible sur: <https://type1better.com/fr/impact-de-la-cafeine-sur-la-glycemie-que-savons-nous/>
157. Alcool et diabète | Diabète Québec [Internet]. 2022 [cité 21 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.diabete.qc.ca/le-diabete/la-vie-avec-le-diabete/consommation-dalcool-de-tabac-ou-de-drogues/alcool-et-diabete/>
158. CDC. Centers for Disease Control and Prevention. 2022 [cité 20 sept 2023]. 10 Surprising Things That Can Spike Your Blood Sugar. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/diabetes/library/spotlights/blood-sugar.html>
159. Watts M. Dehydration and Diabetes [Internet]. Diabetes. 2019 [cité 20 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.diabetes.co.uk/dehydration-and-diabetes.html>
160. ARTSS - Recherche en traumatologie et suivi sportif [Internet]. [cité 24 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.sportsante-conseil.org/app.php/article/hydratation/>

161. Cabinet de podologie du sport à Sèvres - Pierre Lapègue & Mélanie Audier [Internet]. 2009 [cité 24 juin 2023]. Déshydratation, hydratation. Disponible sur: <https://www.podologue-sport.com/lespace-nutrition-de-corinne-fernandez/deshydratation-hydratation/>

162. Fédération Française des Diabétiques [Internet]. [cité 20 sept 2023]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/>

Université de Lille  
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE  
**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE**  
Année Universitaire 2023/2024

**Nom : MAILLOT--TRAN-THI**  
**Prénom : Marc**

**Titre de la thèse : Impact de la course à pied sur la prise en charge du diabète de type 1 : revue des aspects cliniques, thérapeutiques et conseils pratiques.**

**Mots-clés :** Diabète de type 1, course à pied, exercice physique, activité physique, contrôle glycémique, gestion du diabète, endocrinologie, régime alimentaire, activité sportive, conseils pratiques pour les diabétiques, effets de l'exercice sur le diabète de type 1

---

**Résumé :** Le diabète de type 1 est une maladie auto-immune très fréquente, et est un enjeu majeur de santé publique. Après une revue des avancés dans les traitements et sa prise en charge, nous étudions la course à pied comme activité physique pour améliorer la santé du patient diabétique, ainsi que sa gestion méticuleuse de son insuline et de son alimentation, mettant en lumière ses bienfaits, ses risques et les stratégies de gestion pour prévenir les fluctuations glycémiques lors de l'exercice, offrant ainsi un guide pratique pour les sportifs.

---

**Membres du jury :**

**Président :** Monsieur Bernard Gressier ; Professeur de Pharmacologie (PU-PH) à la faculté de Pharmacie, Université de Lille, Praticien hospitalier au Centre Hospitalier d'Armentières

**Directeur de thèse :** Monsieur Bruno Frimat ; Maître de conférences associé en Pharmacie Clinique, Faculté de Pharmacie, Université de Lille - Pharmacien – Praticien Hospitalier au CH Lens

**Membre(s) extérieur(s) :** Le Blanc Lucie, Pharmacien d'officine.