



Université de Montréal – Université de Lille

Thèse de doctorat

***Barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1 :
Influence des technologies de gestion du diabète, des facteurs psychosociaux, de la santé
physique et d'une intervention de promotion de l'activité physique***

Par

Capucine Guédet

Thèse présentée le **9 décembre 2025** en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.) en sciences de l'activité physique

Pr. Ahmed Jérôme Romain – <i>Université de Montréal</i>	Président du Jury – Examinateur
Pr. Camille Vatiez – <i>Université Paris-Sorbonne</i>	Rapportrice
Pr. Éléonor Riesco - <i>Université de Sherbrooke</i>	Rapportrice
Dr. Florence Baudoux – <i>Santélyls</i>	Examinatrice
Dr. Sémah Tagougui – <i>Université de Lille</i>	Directeur de thèse
Dr. Rémi Rabasa-Lhoret – <i>Université de Montréal</i>	Directeur de thèse

©Capucine Guédet, 2025





Université de Montréal – Université de Lille

Thèse de doctorat

***Barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1 :
Influence des technologies de gestion du diabète, des facteurs psychosociaux, de la santé
physique et d'une intervention de promotion de l'activité physique***

Par

Capucine Guédet

Dirigée par **Dr. Sémah Tagougui & Pr. Rémi Rabasa-Lhoret**

**École Graduée Biologie Santé de Lille, Département sciences et techniques des activités
physiques et sportives, Université de Lille
Faculté de Médecine, École de kinésiologie et des sciences de l'activité physique, Université
de Montréal**

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.) en sciences de l'activité physique

Décembre 2025

©Capucine Guédet, 2025



Cette thèse intitulée

**Barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1 :
Influence des technologies de gestion du diabète, des facteurs psychosociaux, de la santé
physique et d'une intervention de promotion de l'activité physique**

Présentée par

Capucine Guédet

A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes

Ahmed Jérôme Romain

Président-rapporteur

Sémah Tagougui

Rémi Rabasa-Lhoret

Directeurs de recherche

Florence Baudoux

Membre du jury

Éléonor Riesco

Camille Vatier

Examineur externe

Marie-Eve Mathieu

Membre invitée

Résumé

Le diabète de type 1 (DT1) est une maladie auto-immune chronique caractérisée par une hyperglycémie persistante, résultant d'une absence de sécrétion d'insuline secondaire à destruction des cellules bêta pancréatiques. À ce jour, cette pathologie demeure incurable et nécessite une prise en charge complexe reposant sur l'administration d'insuline pour le reste de la vie, la surveillance glycémique et l'adoption d'un mode de vie sain. Parmi les stratégies non pharmacologiques, la pratique régulière d'une activité physique (AP) constitue un levier majeur pour améliorer le contrôle glycémique et réduire le risque de complications associées au DT1. Cependant, la proportion de personnes vivant avec un DT1 (PvDT1) atteignant les recommandations d'AP reste faible. Cette thèse s'est ainsi intéressée à l'étude des barrières à l'activité physique perçues par les PvDT1 et à leur évolution dans le temps. La première étude a montré que la peur de l'hypoglycémie demeure la principale barrière à l'AP, malgré les avancées technologiques (capteurs de glucose en continu [CGM], pompes à insuline [CSII], systèmes automatisés d'administration d'insuline [AID]). Une plus grande proportion d'utilisateurs de ces technologies percevait la peur de l'hypoglycémie et la peur de perte de contrôle du diabète comme des barrières à l'AP, comparativement aux personnes sous multi-injections sans CGM. Par ailleurs, plusieurs facteurs sociodémographiques (sexe, niveau d'éducation, revenu), cliniques (IMC, complications microvasculaires) et comportementaux (épisodes récents d'hypoglycémie sévère, confiance en la gestion des hypoglycémies) se sont révélés être associés à un niveau plus élevé de barrières. La deuxième étude a mis en évidence une diminution des barrières à l'AP au fil du temps, influencée par des facteurs principalement psychosociaux tels qu'une diminution de la détresse liée au diabète, de la stigmatisation, de la dépression ou encore de l'IMC. Enfin, la troisième étude a évalué l'impact d'une intervention de promotion de l'AP sur la perception des barrières à l'AP. Les résultats n'ont montré aucune diminution significative des barrières, à court comme à long terme, malgré les 18 heures d'intervention réalisées. Ces travaux contribuent à une meilleure compréhension de la complexité des barrières à l'exercice et soulignent la nécessité de développer des approches plus individualisées et adaptées afin de favoriser l'engagement des PvDT1 dans l'AP.

Mots-clés : Diabète de type 1, activité physique, freins à l'activité physique

Abstract

Type 1 diabetes (T1D) is a chronic autoimmune disease characterized by persistent hyperglycemia. This condition results from the destruction of pancreatic beta cells and the subsequent absence of insulin secretion. Currently, there is no permanent cure for this condition, which requires complex management involving lifetime insulin administration, blood glucose monitoring, and adopting a healthy lifestyle. Among non-pharmacological strategies, regular physical activity (PA) is key to improving glycemic control and reducing the risk of T1D-related complications. However, few people living with T1D achieve the recommended level of PA. This thesis focuses on studying the perceived barriers to physical activity among people with T1D and how these barriers evolve over time. The first study revealed that, despite technological advances such as continuous glucose monitors (CGM), insulin pumps (CSII), and automated insulin delivery systems (AID), fear of hypoglycemia remains the main barrier to PA. A greater proportion of technology users reported fear of hypoglycemia and fear of losing control of their diabetes as barriers to PA than individuals on multiple daily injections without CGM did. Several psychosocial (e.g., sex, education level, income), clinical (e.g., BMI, microvascular complications), and behavioral (e.g., recent episodes of severe hypoglycemia, confidence in hypoglycemia management) factors were also associated with higher perceived barriers. The second study revealed a decrease in barriers to PA over time, primarily influenced by psychosocial factors, including reductions in diabetes distress, stigma, depression, and BMI. Finally, the third study assessed the impact of a PA promotion intervention on perceived barriers to PA. The results showed no significant reduction in barriers in the short or long term despite 18 hours of intervention. Overall, this work improves our understanding of the complexities of exercise barriers faced by people with type 1 diabetes and emphasizes the need for more individualized, tailored approaches to reduce these barriers and encourage regular physical activity.

Keywords: Type 1 diabetes, Physical activity, Barriers to physical activity

Productions scientifiques

Guédet C, Tagougui S, Gauthier A.-C, Thivel D, Mathieu M.-E. (2025). The impact of exercise timing on energy intake: A systematic review and meta-analysis of diurnal and meal timing effects. *Appetite*, 204, 107752. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107752>

Molveau J, Myette-Côté É, **Guédet C**, Tagougui S, St-Amand R, Suppère C, Heyman E, Messier V, Boudreau V, Legault L, Rabasa-Lhoret R. (2025). Impact of pre- and post-exercise strategies on hypoglycemic risk for two modalities of aerobic exercise among adults and adolescents living with type 1 diabetes using continuous subcutaneous insulin infusion: A randomized controlled trial. *Diabetes & Metabolism*, 51(1), 101599. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2024.101599>

Guédet C, Tagougui S, Suppère C, Boudreau V, Mathieu M -E, Brazeau A -S, Rabasa-Lhoret R. Limited impact of the PEP1 structured physical activity program on perceived barriers to physical activity in people living with type 1 diabetes. *Diabet Med* 2025:e70044. <https://doi.org/10.1111/dme.70044>.

Guédet C, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Messier V, Boudreau V, Chahal T, Dostie M, Mathieu M-E, Brazeau A-S, Tagougui S, Rabasa-Lhoret R. Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies: An Analysis from the BETTER registry. *Diabetes Metab*. Published online July 2025:101677. doi:10.1016/j.diabet.2025.101677

Guédet C, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Messier V, Boudreau V, Laforest C, Mathieu M-E, Tagougui S, Brazeau A-S, Rabasa-Lhoret R. Changes in physical activity barriers in adults with type 1 diabetes: the key role of psychological factors – findings from the BETTER registry. (*Soumis dans the Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*)

Garré T, **Guédet C**, Alexandre-Heymann L, Messier V, Boudreau V, Tagougui S, Laforest C, Brazeau A-S, Rabasa-Lhoret R, Yardley J. Association Between Daily Steps, Diabetes Management and Health Indicators in People Living With Type 1 Diabetes: Insights From the BETTER Registry. (*Soumis dans Diabetes Obesity and Metabolism*)

Chahal T, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Grou C, **Guédet C**, Messier V, Boudreau V, Courchesne A, Brazeau A-S, Rabasa-Lhoret R, Wu Z. Automated Insulin Delivery System Use and Physical Activity Levels in Adults with Type 1 Diabetes: A BETTER Registry Analysis (*Soumis dans Diabetes and Metabolism*)

Communications en congrès

Guédet, C., Jlali, I., Heyman, E., Lespagnol, E., Berthoin, S., Hubert, I., Combes, A., Rabasa-lhoret, R., Tagougui, S. Impact d'un entraînement en visioconférence chez l'adolescent en situation d'obésité sur l'aptitude aérobie et la composition corporelle : Résultats préliminaires. Congrès SFD 2023 (*Communication affichée discutée*)

Guédet, C., Jlali, I., Heyman, E., Lespagnol, E., Berthoin, S., Hubert, I., Combes, A., Rabasa-lhoret, R., Tagougui, S. Impact d'un entraînement en visioconférence chez l'adolescent en situation d'obésité sur la fonction cardiovasculaire : Résultats préliminaires. Congrès AQSAP 2023 (*Communication orale*)

Garré, T., **Guédet, C.**, Alexandre-Heymann, L., Messier, V., Yardley, J., Boudreau, V., Rabasa-lhoret, R. Association entre le nombre de pas et la gestion du diabète chez les personnes vivant avec le diabète de type 1: Analyse du registre BETTER. Journée de la recherche 2024, département nutrition, université de Montréal (*Présentation par affiche*)

Guédet, C., Tagougui, S., Gauthier, A.-C., Thivel, D., Rabasa-Lhoret, R., Mathieu, M.-E. L'impact du moment de l'activité physique sur l'apport énergétique : une revue systématique et méta-analyse. Journée de la recherche 2024, département nutrition, université de Montréal (*Présentation par affiche*)

Wu, Z., Yardley, J., Chahal, T., **Guédet, C.**, Messier, V., Grou, C., Boudreau, V., Brazeau, A.-S., Rabasa-lhoret, R. 963-P: Is Using An Automated Insulin Delivery System Associated with A Higher Physical Activity Frequency? A BETTER Registry Analysis, Diabetes 14 June 2024; 73 (Supplement_1): 963–P. <https://doi.org/10.2337/db24-963-P> (*Présentation par affiche - Abstract publié*)

Guédet, C., Tagougui, S., Messier, V., Boudreau, V., Brazeau, A.-S., & Rabasa-lhoret, R. (2024). 325-OR: Enhancing Physical Activity Engagement among Individuals with Type 1 Diabetes—Exploring Perceived Barriers in the Era of New Technologies. Diabetes, 73(Supplement_1), 325-OR. <https://doi.org/10.2337/db24-325-OR> (*Communication orale - Abstract publié*)

Guédet, C., Alexandre-Heymann, L., Yardley, J., Messier, V., Boudreau, V., Laforest, C., Mathieu, M.-E., Brazeau, A.-S., Tagougui, S., Rabasa-Lhoret, R. Les barrières à l'activité physique perçues par les personnes vivant avec le diabète de type 1 (*Présentation par affiche*)

Guédet, C., Heyman-Alexandre L, Yardley J, Messier, V., Boudreau, V., Mathieu M-E, Brazeau, A.-S., Tagougui, S & Rabasa-lhoret, R. (2025)117-OR: Changes in Barriers to Physical Activity in Adults with Type 1 Diabetes—Association with Clinical and Psychological Factors. Diabetes, 74(Supplement_1), 117-OR. <https://doi.org/10.2337/db25-117-OR> (*Communication orale - Abstract publié*)

Table des matières

RÉSUMÉ.....	7
ABSTRACT.....	9
PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES.....	11
COMMUNICATIONS EN CONGRÈS	13
TABLE DES MATIÈRES.....	15
LISTE DES TABLEAUX.....	19
LISTE DES FIGURES	21
ABRÉVIATIONS.....	23
REMERCIEMENTS.....	27
CHAPITRE 1 – REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	33
PARTIE A : LE DIABÈTE DE TYPE I	33
I- La prévalence du diabète	33
II- Le diabète de type 1	34
III- Physiopathologie du diabète de type 1	35
IV- Les Complications.....	39
1) Complications aiguës	39
a. Hyperglycémie	39
b. Hypoglycémie	40
2) Les complications chroniques.....	42
a. Les complications macrovasculaires	42
b. Les complications microvasculaires	44
3) Pathologies émergentes associée au diabète de type 1.....	45
a. Obésité et surpoids.....	45
b. Santé mentale.....	47
V- La prise en charge du diabète de type 1.....	50
1) L'insuline.....	50
2) La surveillance glycémique	53
3) Mode de vie.....	55
I- PARTIE B : L'ACTIVITÉ PHYSIQUE CHEZ LES PERSONNES VIVANT AVEC LE DIABÈTE DE TYPE 1.....	58
I- Définition de l'activité physique	58

II- <i>L'activité physique, un atout majeur et recommandées pour la santé des personnes vivant avec le diabète de type 1</i>	60
III- <i>Le niveau d'activité physique</i>	62
IV- <i>Physiopathologie du diabète de type 1 en contexte d'activité physique</i>	64
V- <i>La gestion du diabète à l'activité physique</i>	66
1) Les facteurs influençant la gestion glycémique lors de l'activité physique	66
2) Les stratégies pour optimiser la gestion glycémique autour de l'exercice	67
VI- <i>Les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1</i>	71
CHAPITRE 2 – PROBLEMATIQUE	77
I- PROBLEMATIQUE	77
II- OBJECTIFS GÉNÉRAUX	77
CHAPITRE 3 – MÉTHODES ET RÉSULTATS	79
I- MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	79
1) <i>Le registre BETTER</i>	79
2) <i>L'étude PEP-1</i>	81
3) <i>Le questionnaires BAPAD1</i>	82
II- ARTICLE 1 : EXPLORING PERCEIVED BARRIERS TO PHYSICAL ACTIVITY AMONG INDIVIDUALS WITH TYPE 1 DIABETES IN THE ERA OF NEW TECHNOLOGIES : AN ANALYSIS FROM THE BETTER REGISTRY (PUBLIE)	85
Avant-propos	85
Contributions détaillées.....	86
III- ARTICLE 2 : CHANGES IN BARRIERS TO PHYSICAL ACTIVITY IN ADULTS WITH TYPE 1 DIABETES: ASSOCIATION WITH CLINICAL AND PSYCHOLOGICAL FACTORS (SOUMIS)	115
Avant-propos	115
Contributions détaillées.....	116
IV- ARTICLE 3: LIMITED IMPACT OF THE PEP1 STRUCTURED PHYSICAL ACTIVITY PROGRAM ON PERCEIVED BARRIERS TO PHYSICAL ACTIVITY IN PEOPLE LIVING WITH TYPE 1 DIABETES (PUBLIE)	141
Avant-propos	141
Contributions détaillées.....	142
CHAPITRE 4 – DISCUSSION	147
I- IMPUISSANCE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR RÉDUIRE LES BARRIÈRES À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE	149
II- L'IMPORTANCE DES ASPECTS PSYCHO-SOCIAUX	151
III- IMPACT DE LA SANTÉ PHYSIQUE	154
IV- AGIR POUR FAVORISER L'ENGAGEMENT À L'ACTIVITÉ PHYSIQUE CHEZ LES PERSONNES VIVANT AVEC UNE DIABÈTE DE TYPE 1	156

CONCLUSION	161
FORCES ET LIMITES	163
RETOMBÉES POTENTIELLES.....	165
PERCEPTIVES.....	167
AUTRES CONTRIBUTIONS SCIENTIFIQUES.....	169
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	171
ANNEXES	209
I- ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE BAPAD1.....	209
II- ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE CLARKE.....	210
III- ANNEXE 3 : PATIENT HEALTH QUESTIONNAIRE-9 (PHQ-9)	212
IV- ANNEXE 4 : DIABETES DISTRESS SCALE (DDS).....	213
V- ANNEXE 5 : DIABETES STIGMA ASSESSMENT SCALE (DSAS).....	215
VI- ANNEXE 6 : HYPOGLYCEMIA CONFIDENCE SCALE (HCS)	217
VII- ANNEXE 7 : HYPOGLYCEMIA FEAR SURVEY II (HFS-II)	218
VIII- ANNEXE 8 : INTERNATIONAL QUESTIONNAIRE PHYSICAL ACTIVITY (IPAQ)	220
IX- ANNEXE 9 : FORMATIONS SUIVIES	222
X- ANNEXES 10 : LISTE DES FINANCEMENTS OBTENUS.....	224
XI- ANNEXES 11 : ACTIVITÉS D’ENSEIGNEMENT	226

Liste des tableaux

Tableau 1. – Études qualitatives portant sur les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1	73
Tableau 2. – Études ayant recours au questionnaire BAPAD1 pour mesurer les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1	75

Liste des figures

Figure 1 - Régulation physiologique de la glycémie chez une personne vivant sans diabète.....	36
Figure 2 - Exemple du rôle de l'insuline au niveau des cellules musculaires périphériques	37
Figure 3 - Altération des mécanismes de contre-régulation chez les PvDT1	38
Figure 4 - Classification des niveaux glycémiques et manifestations cliniques associées	41
Figure 5 - Mécanismes potentiels physiologiques et psychologique de la dépression et du diabète de type 1	49
Figure 6 - Illustration des différentes méthodes d'administration de l'insuline et des différentes méthodes de surveillances glycémiques utilisés de nos jours	52
Figure 7 - Mécanisme de retard physiologique et technologique du capteur de glycémie en continu.....	54
Figure 8 - Domaines et caractéristiques de l'activité physique.....	59
Figure 9 - Bénéfices associés à la pratique ou au niveau d'activité physique	61
Figure 10 - Facteurs influençant le niveau d'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1	63
Figure 11 - Illustration des mécanismes physiologiques du risque d'hypoglycémie lié à l'exercice chez les personnes vivant avec le diabète de type 1	65
Figure 12 - Aperçu général des tendances glycémiques et des besoins en insuline exogène et en glucides en réponse à l'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1	67
Figure 13 - Représentation des stratégies d'ajustement insulinémique et nutritionnel possible autour de l'exercice	69
Figure 14 - Représentation du registre BETTER	80
Figure 15 - Déroulement de l'étude PEP-1	82
Figure 16 - Échelle de perception des items comme barrière à l'activité physique.....	83
Figure 17 - Synthèse des résultats des trois études de la thèse : facteurs associés, évolution et effets d'une intervention de promotion de l'AP sur les barrières à l'AP	148
Figure 18 - Spirale de l'augmentation des barrières à l'AP chez les personnes vivant avec une obésité.....	155

Abréviations

ADA : American Diabetes Association

AID : Système automatisé d'administration de l'insuline (*Automated Insulin Delivery*)

AP : Activité physique

AVC : Accident vasculaire cérébrale

BAPAD1 : Questionnaire validé pour mesurer les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1 (« *Barriers to Physical Activity in Diabetes type 1* »)

CGM : Lecteur de glucose en continu (*Continuous Glucose Monitoring*)

CSII : Pompe à insuline (*Continuous Subcutaneous Insulin Infusion*)

DT1 : Diabète de type 1

DT2 : Diabète de type 2

EASD : European association for the study of diabetes

HAS : Haute autorité de santé

HbA1c : Hémoglobine glyquée

IMC : Indice de masse corporelle

ISPAD : International society for pediatric and adolescent diabetes

MCV : Maladie cardiovasculaire

MDI : Administration d'insuline par injection multiple (*Multiple Daily Injections*)

PvDT1 : Personne vivant avec le diabète de type 1

PvDT2 : Personne vivant avec le diabète de type 2

« If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants. »

— Isaac Newton

À mes grands-parents,

Mes premiers géants.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon **Jury** : Pr. Éléonor Riesco, Dr. Camille Vatier, Dr. Florence Baudoux et Pr. Ahmed Jérôme Romaine pour avoir pris le temps d'évaluer mon travail de thèse. **Pr. Ahmed-Jérôme**, merci également pour vos précieux conseils lors de mon examen de synthèse, qui m'ont permis de mieux appréhender l'impact de la santé mentale sur l'AP.

Un immense merci à mes **deux directeurs de thèse**, sans vous, je ne serais pas là ! Merci de me faire autant confiance, de me laisser autant d'autonomie et naviguer sur les projets au gré de mes envies. Merci d'être toujours là pour me conseiller, autant sur mes travaux de recherche que ma carrière professionnelle. **Sémah**, tu es et restera le premier qui m'a fait découvrir la recherche, le premier qui m'a fait confiance pour mener un projet de recherche et ce dès le master. Merci de m'avoir emmené dans cette expérience de la cotutelle qui aura été une aventure personnelle et professionnelle exceptionnelle. Je te serais à jamais reconnaissante. Cette thèse a été bien différente que ce que nous avions imaginé il y a 3 ans, mais nous finirons un jour à finaliser nos projets français ! **Rémi**, merci pour l'accueil express en doctorat, le temps que vous m'accorder depuis 3 ans malgré vos journées/semaines à rallonge, la transmission de vos connaissances, votre empathie et votre humilité... Je pense que je ne rencontrerais personne d'aussi passionné et humain que vous. J'ai tellement appris dans votre laboratoire.

Marie-Ève, merci pour l'opportunité de cotutelle que tu m'as offerte, le soutien financier et extérieure pendant ces 3 ans. Mon stage pré-doctorale dans ton laboratoire restera ma première expérience internationale et celle qui a confirmé mon envie de traverser l'atlantique. Notre méta-analyse restera aussi mon premier article scientifique et celui qui m'a appris la patience... Merci pour ta disponibilité, ta positivité et ton expertise, nos réunions ont été si importante pour moi.

Anne-Sophie & Jane, je suis honorée d'avoir pu collaborer avec des chercheuses comme vous pendant ma thèse, vos corrections et vos avis sont toujours précieux. Merci ! **Jane**, merci pour ta patience avec mon anglais ! Un jour, j'arriverais à tenir une conversation en anglais avec toi ☺

Laure, mille mercis pour ta disponibilité, ton écoute et tes précieux conseils ces deux dernières années. Tu es un vrai modèle pour moi ! Merci de m'avoir transmis ta rigueur scientifique et d'avoir autant bonifié nos recherches. J'espère qu'on continuera à collaborer !

Le **RAB LAB**, je ne sais combien de merci je dois dire... Merci pour l'accompagnement à Montréal mais aussi depuis 1 ans et ½ malgré mon retour en France. **Josée, Val, Élie, Virginie**, merci de répondre à toutes mes questions quand je ne veux pas déranger Rémi. Merci d'être là pour gérer l'administratif, les études, l'éthiques, les doutes, le stress de speak english et tant d'autres choses... Sans vous, j'aurais eu bien de la misère ! **Un énorme merci à toutes mes collègues devenues bien plus. Marie**, tu es définitivement mon Larousse du diabète, CGM, pompe, système AID, rien ne t'échappe. Ton soutien est permanent et indéfectible, nos débuts de journée capuccino à l'IRCM me manque tellement tout comme les cliniques avec toi où j'ai tant appris. **Jo et Anne**, les post-it de remplacement ne suffisent pas pour égayer mes journées au labo sans vous... Vous avez été des piliers pendant ces 18 mois à Montréal, merci d'avoir toujours là pour moi ! L'ADA 2024 à votre côté restera un des plus beaux moments de ma thèse, WOWWWW ! **Corinne et Roxane**, les kinésiologues de la bande, merci pour tout le soutien apporté lors des différentes études et l'apprentissage du Québécois pour que mes participants puissent me comprendre ! **Andréanne, Clara, Delphine, Florence, Maha, Tamanna, Thélo, Zékai**, merci, vous avez tous contribué à cette thèse et à mon épanouissement. L'expérience du PhD n'aurait pas été la même sans vous. Les pauses lunch, les 5 à 7, les congrès avec vous c'était la folie ! Mention spéciale aussi à **Adèle**. Merci également à tous les stagiaires du Rab Lab et surtout à **Julie** pour son aide précieuse sur le traitement des données Feel-Hiit. À toute **l'équipe BETTER**, merci pour le soutien et les discussions ont permis d'améliorer mes recherches. Merci particulier à **Michel, Claude et Jacques** qui m'ont accompagné sur mes projets BAPAD, votre expérience a été primordial. À tous les participants BETTER et surtout Feel-Hiit, merci pour votre disponibilité et le partage de votre quotidien. Sans vous, aucune recherche serait possible.

L'**URePSSS**, merci Pr. **Serge Berthoin** pour votre accueil depuis plus de 5 ans et pour les excellentes conditions de recherche offertes au sein d'Eurasport. Merci à toute l'équipe de gestion, **Julien, Hélène, Adrien** d'avoir su m'accompagner depuis mon retour au laboratoire. Votre aide et vous voir chaque matin a été si précieuse... tout comme l'équipe **BIATSS** du 1^{er} étage ! **Léa**, milles mercis pour ton soutien pendant ces derniers mois difficiles, ton expérience et tes connaissances du milieu académiques sont si précieuses. Tu es bien plus qu'un exemple pour moi, merci de m'accompagner au quotidien ! **Agathe**, merci pour tous tes conseils sur l'enseignements, mes premiers pas à la fac n'auraient surement pas été pareil si tu n'avais pas été là... La **team étudiant** : **Angéline, Antoine³, Charlotte** (tu me manques fort), **Étienne, Julien, Léo, Lilian**,

Louise, Lucien, Maxime, Mélanie, Orlane, Valentin², plus de 5 ans pour certains que vous me supporter ! Bientôt, j'arrêtera de venir saccager votre bureau jusqu'à temps que vous acceptez une pause café. Nos virées lilloises du jeudi soir sont si précieuse. Mention spéciale à ma **Mel**, on aura tout vécu ensemble : master, concours de l'ED et soutenance de thèse, toujours plus facile de vivre ces moments à 2 ! **Angèle**, c'est tout pareil ! Merci également à tous les **Pr**, les **MCF**, les **ATER**, les **chercheurs associés** qui m'ont accordé de leur temps et partagé leurs conseils. Vous m'avez tous inspirée ! **Rémy et la team dodo de DK**, merci de m'avoir faire découvrir les expérimentations de terrain. Vivre la Race Across France et l'UTMB 2025 avec vous ont été des expériences hors du temps !

Et puis les autres... **Justine**, ma sœur d'oreille, merci pour tout ce que tu fais pour moi depuis le début à Euraspport. Des répétitions avant le concours de l'ED, au début chaotique de la cotutelle et puis les moments de doutes, tu as toujours été là. Tu n'es plus ma collègue mais tu es bien plus, merci de toujours me soutenir ! **Isabelle**, merci d'être là depuis un an. Merci de m'avoir fait confiance pour l'AUEC, former est aussi ma priorité et encore dans la prise en charge du diabète et de l'obésité. Hâte de pouvoir collaborer avec toi ! À tous mes **ami(e)s**, de Troyes, de Metz, de Lille, de Montréal, merci d'être toujours là pour me soutenir. Vous êtes mon équilibre ! Souvent loin des yeux mais toujours près du cœur ! Mention spéciale à mes **coéquipières du SBBL** et surtout le staff qui supportent mes moments de folie (ou mon aigri attitude) après mes longues journées de travail, mes visio qui débordent sur l'entraînement et mon ordinateur en déplacement. Merci pour votre compréhension et votre soutien indéfectible !

À toute ma **famille**, merci d'être TOUJOURS être là ! **Papa, Maman**, les mercis ne suffisent pas face à tout ce que vous faites pour moi. Cette passion pour le sport me vient avant tout de vous... Merci de m'accompagner dans tout ce que je peux faire depuis toute petite, du hand à la recherche, de parcourir les gymnases de France à venir me voir à Montréal ! Mention spéciale à mes **frères**, qui se plient à mon rythme infernal depuis tant d'année. Les moments en famille dépendent souvent de moi mais sachez qu'il n'y a pas de meilleurs instants que d'être avec vous dans notre petite campagne.

Je tiens également à remercier la **Région Hauts-de-France**, l'**Université de Lille**, l'**Université de Montréal**, l'**AQSAP**, le **CMDO** et la **SFD** pour leur soutien financier.

Certaines parties de cette thèse ont été améliorées en utilisant des outils d'intelligence artificielle.

Chapitre 1 – Revue de la littérature

Partie A : Le diabète de type I

I- La prévalence du diabète

Le diabète constitue l'une des maladies chroniques les plus répandues, tant chez l'enfant que chez l'adulte, et sa prévalence ne cesse d'augmenter (1). Actuellement, on estime que plus de 828 millions d'adultes vivent avec un diabète dans le monde, et ce chiffre pourrait atteindre 1,3 milliard d'ici 2050 (2). La prévalence des personnes vivant avec un diabète pourrait bien dépasser les 10 % dans plus de 40 % des pays du monde. De plus, le diabète reste largement sous-diagnostiqué, notamment dans plusieurs régions du monde où plus de 50 % des cas ne sont pas détectés, comme en Afrique, dans le Pacifique occidental ou encore en Asie du Sud-Est. (3).

Le terme *diabète* regroupe l'ensemble des troubles du métabolisme du glucose entraînant une hyperglycémie chronique (4). L'origine de cette élévation du taux de glucose sanguin (>250 mg/dL [10 mmol/L]), résulte de caractéristiques génétiques, métabolomique et physiologique différentes donnant lieu à plusieurs types de diabète (5) :

- Le **diabète de type 1** (DT1), d'origine auto-immune avec destruction des cellules bêta du pancréas productrices d'insuline, qui représente environ 5 à 10 % des cas.
- Le diabète de type 2 (DT2), associé à l'insulino-résistance et à une déficience progressive de la sécrétion d'insuline, qui représente plus de 90 % des cas.
- Le diabète gestationnel, temporaire qui survient pendant la grossesse et touche 14 % des femmes enceintes (6). Bien qu'il disparaisse dans la majorité des cas après l'accouchement, il constitue un facteur de risque majeur de développer un DT2 par la suite (7).
- Les autres formes spécifiques, incluant les diabètes monogéniques (comme le diabète MODY), les diabètes secondaires à d'autres pathologies (fibrose kystique, pancréatite...), ou encore les syndromes génétiques rares tels qu'Alström ou Wolfram.

Le DT1 touche plus de 9,5 millions de personnes dans le monde, un chiffre en constante augmentation (<https://www.t1dindex.org>). En 2021, ce nombre était inférieur de 1 millions (8). L'incidence du DT1 varie fortement selon les pays, allant de 0,3 à 67,2 cas pour 100 000 personnes (8). Au Canada, plus de 250 000 personnes vivent avec un DT1, contre environ 180 000 cas en France. La maladie semble toucher davantage les hommes que les femmes (9). Le DT1 est une maladie qui est le plus souvent diagnostiquée chez l'enfant ou le jeune adulte (avant 30 ans). Depuis une trentaine d'années, on note néanmoins une majoration des cas diagnostiqués à l'âge adulte souvent avec une entrée plus progressive dans la maladie (10). On parle alors de diabète de type LADA (*Latent Autoimmune Diabetes of the Adult*) (10). Bien que la mortalité liée au DT1 ait diminué au cours de ces dernières décennies (11), l'espérance de vie des personnes vivant avec un diabète de type 1 (PvDT1) reste inférieur d'environ dix ans par rapport à celle de la population générale (12).

II- Le diabète de type 1

Le DT1 est une maladie auto-immune avec une réaction immunitaire anormale médiée par les lymphocytes T, entraînant la destruction progressive des cellules bêta des îlots de Langerhans, productrices d'insuline (5). La production d'insuline diminue rapidement jusqu'à devenir quasi ou totalement absente. Or, cette hormone joue un rôle majeur dans le maintien de l'équilibre glycémique, en exerçant une action hypoglycémisante, soit une réduction de la glycémie. En l'absence d'insuline, une hyperglycémie chronique s'installe, c'est-à-dire un taux de glucose sanguin supérieur à 180 mg/dL [10 mmol/L] persistant. Plusieurs signes cliniques peuvent alerter et conduire au diagnostic, comme une perte de poids, une polyurie (*e.g.* urines abondantes) et une polydipsie (*e.g.* soif excessive) (4). Toutefois, au moins 30 % des enfants sont encore diagnostiqués lors d'un épisode d'acidocétose diabétique, une complication aiguë grave de l'hyperglycémie (*détaillé partie IV-1-a*) (13).

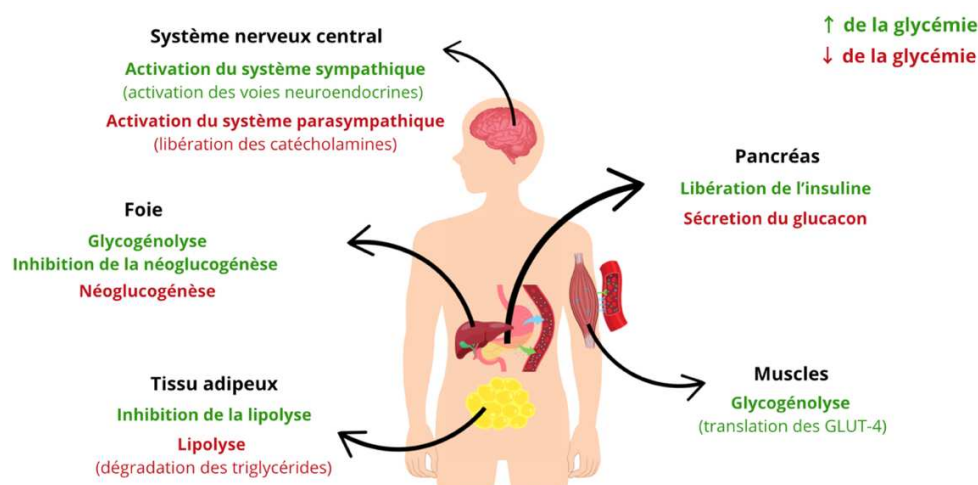
Le diagnostic du DT1 se fait sur plusieurs critères : une hémoglobine glyquée $\geq 6,5$ % (HbA1c, pourcentage d'hémoglobine ayant fixé du glucose dans le sang), une glycémie à jeun ≥ 126 mg/dL [7,0 mmol/L], un test d'hyperglycémie provoquée par voie orale (HGPO, consommation de 75 g

de glucose) avec une glycémie ≥ 200 mg/dL [11,1 mmol/L] à 2 heures (4). Pour les pvDT1, le contexte (symptômes significatifs, âge, etc.) combiné à une glycémie élevée suffisent souvent pour évoquer le diagnostic. Il est conseillé d'avoir un test de confirmation mais il ne faut pas différer la mise en place du traitement. La recherche d'anticorps des ilots comme l'acide glutamique décarboxylase (GAD65), la tyrosine phosphatase 2 des ilots pancréatiques (IA-2) et le transporteur de zinc 8 (ZnT8) peuvent également être mené pour confirmer le diagnostic (4). De nos jours ces tests d'anticorps trouvent principalement leur place pour identifier les personnes à risque de DT1 et ainsi que les personnes plus âgées pour lesquelles un diagnostic de diabète LADA est évoqué (4). Un dosage des peptides C pourra également être alors entrepris pour évaluer la sécrétion résiduelle d'insuline (4). Concernant les facteurs de risque, la génétique joue un rôle important dans l'apparition du DT1. Une étude récente a montré que plus de 90 loci génétiques et différents polymorphismes ont été associés au DT1 (14). Des gènes et leurs variants, en particulier les antigènes leucocytaires humain (HLA) pourraient contribuer jusqu'à 50 % du risque de développer un DT1. Une personne ayant un parent vivant avec un DT1 présente un risque de 2,5 à 7 % de développer la maladie, contre 0,4 % dans la population générale (15). Plusieurs facteurs environnementaux sont également suspectés d'être des éléments déclencheurs de la réaction auto-immune. On peut retrouver certaines infections virales, l'introduction précoce du lait de vache, un déficit en vitamine D, ou encore l'exposition à des toxines, des médicaments ou à un stress important (16). Toutefois, l'impact réel de ces facteurs n'est pas clairement établi. Le DT1 est donc considéré comme une maladie multifactorielle, résultant de l'interaction entre une prédisposition génétique et des facteurs environnementaux déclencheurs.

III- Physiopathologie du diabète de type 1

Comme mentionné précédemment, le DT1 résulte d'une carence absolue ou quasi totale en insuline, une hormone essentielle à la régulation de la glycémie. En effet, l'insuline constitue l'unique hormone exerçant une action hypoglycémiante, c'est-à-dire capable de faire diminuer le taux de glucose sanguin. Elle assure cette fonction par l'activation de multiples voies métaboliques interdépendantes (*Figure 1*). Au niveau des cellules des muscles squelettiques et du tissu adipeux,

l'insuline stimule la translocation des transporteurs GLUT-4 vers la membrane cellulaire pour faciliter l'entrée du glucose dans la cellule (17). Dans le foie et les muscles, elle stimule la glycogénèse, soit la transformation du glucose sous forme de glycogène afin que celui-ci puisse ainsi être stocké et relibéré sous forme de glucose plus tard selon les besoins. L'insuline inhibe également la néoglucogénèse hépatique (18), c'est-à-dire la production de glucose à partir de substrats d'origine non glucidique comme les acides aminés ou le lactate, limitant ainsi l'élévation de la glycémie. Dans le tissu adipeux, la sécrétion d'insuline inhibe aussi la lipolyse, empêchant la dégradation des triglycérides en acides gras libre et en glycérol, qui pourraient être utilisés par le foie pour produire du glucose et donc augmenter la glycémie. Elle favorise également la synthèse des lipides et des protéines.



Légende : En rouge figurent les actions entraînant une diminution de la glycémie, et en vert celles provoquant une augmentation de la glycémie.

Figure 1 - Régulation physiologique de la glycémie chez une personne vivant sans diabète
(Figure réalisée sur Canva)

En cas d'absence d'insuline, ces mécanismes sont altérés : le glucose ne peut plus pénétrer adéquatement dans les cellules périphériques (Figure 2), la lipolyse est stimulée augmentant les acides gras libres et le glycérol permettant de stimuler la néoglucogénèse. Pour parvenir à cette néoglucogénèse, l'organisme dégrade les protéines musculaires pour libérer des acides aminés essentiels, conduisant ainsi à la perte de poids et à une fatigue importante, symptôme caractéristique du DT1.

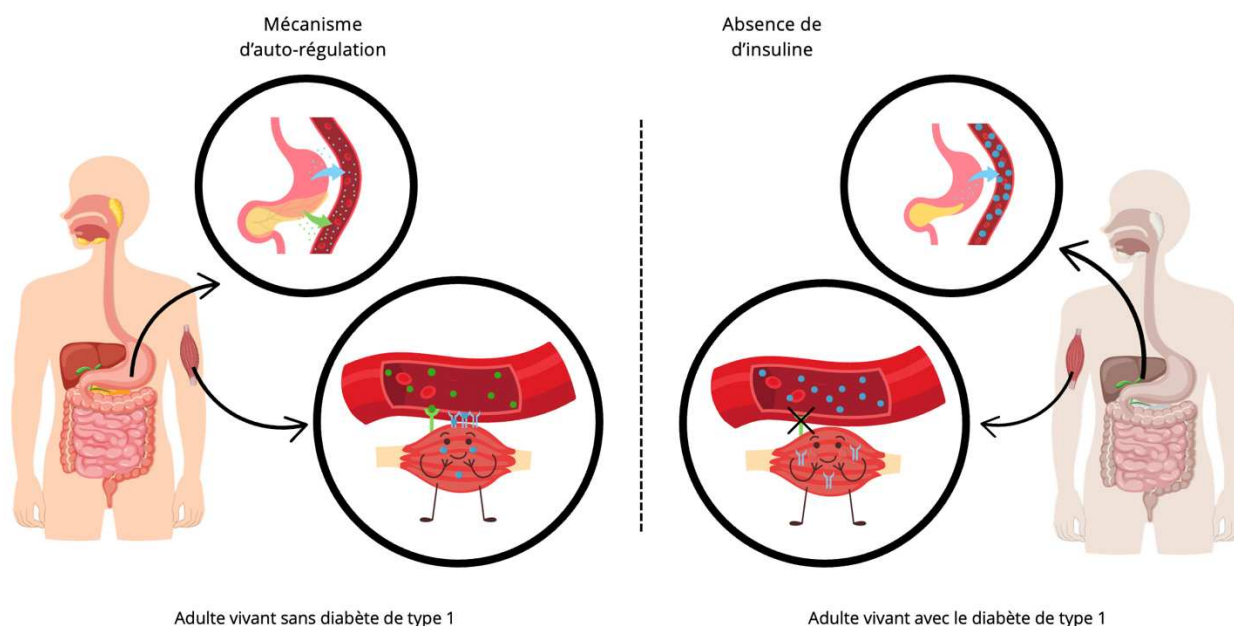


Figure 2 - Exemple du rôle de l'insuline au niveau des cellules musculaires périphériques
(Figure réalisée sur Canva)

L'apport d'insuline exogène de synthèse est donc vital chez les PvDT1 pour permettre la restauration de ces mécanismes. Cependant, l'insuline ne peut pas être prise oralement car, étant de nature protéique, celle-ci serait dégradée par les enzymes digestives et ne pourrait arriver au niveau sanguin (19). Des recherches sont néanmoins en cours sur ce sujet (19). Les PvDT1 doivent effectuer des injections sous-cutanées, de préférence dans les tissus adipeux pour une absorption progressive dans le sang. Ce mode d'administration présente toute de même des limites. L'insuline exogène atteint le tissu adipeux et les muscles avant le foie, contrairement à l'insuline endogène qui passe par la veine porte hépatique. Or, le foie joue un rôle central dans la régulation de la glycémie, en inhibant ou en stimulant la glycogénèse (stockage du glucose), la glycogénolyse et la néoglucogénèse (production de glucose à partir de substrats non-glucidiques). De plus, l'insuline exogène n'est ni sécrétée ni auto-régulée en fonction des besoins de l'organisme. Elle est injectée selon une estimation faite par le patient. Ces besoins dépendent de nombreux facteurs parmi lesquels la prise alimentaire et l'activité physique sont dominants (20). Une fois dans l'organisme, l'insuline est active jusqu'à la fin de sa durée d'action, indépendamment des besoins réels. Ainsi, en cas de déséquilibre entre la dose administrée en insuline et les besoins, cela peut entraîner une hypoglycémie ou une hyperglycémie. Le risque d'hypoglycémie est d'autant plus important chez

les pvDT1, puisque les mécanismes de contre-régulation (*Figure 3*), en particulier la sécrétion de glucagon par les cellules alpha du pancréas et la sécrétion de catécholamines (adrénaline et noradrénaline) par les surrénales, sont réduits (21). En plus d'être non-optimale, cette réponse a également tendance à s'altérer notamment avec la répétition d'épisodes hypoglycémiques. Ainsi, l'organisme tolère des glycémies de plus en plus basses avant de déclencher ces signaux d'alerte et la libération des hormones contre-régulatrices arrivent de plus en plus tard avec de moins en moins d'effet augmentant le risque d'hypoglycémie sévère (21).

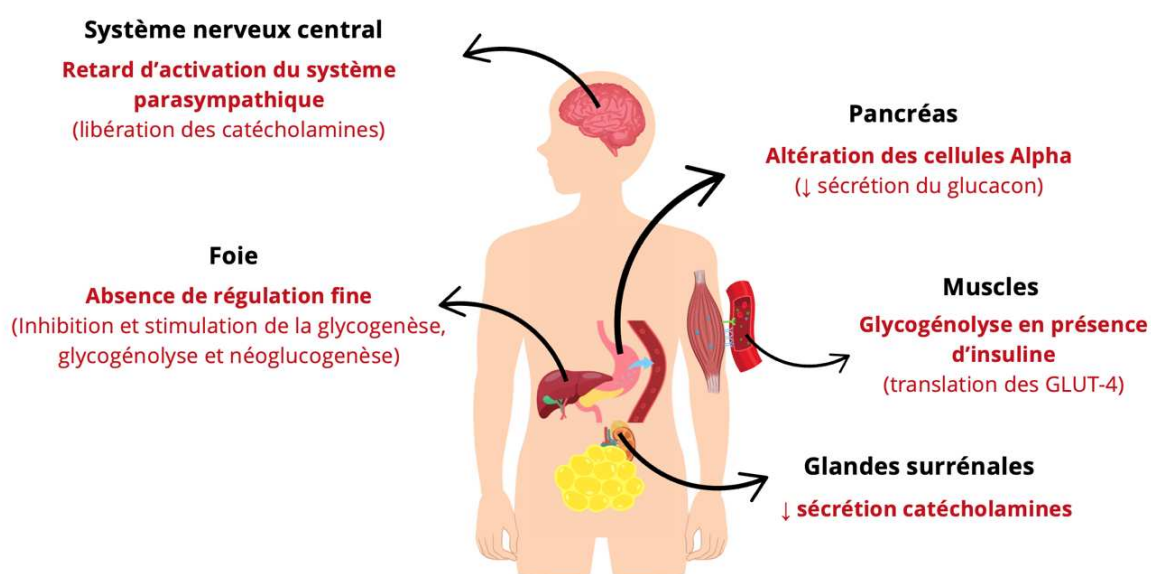


Figure 3 - Altération des mécanismes de contre-régulation chez les PvDT1
(Figure réalisée sur Canva)

IV- Les Complications

Le DT1 est une maladie multi-hormonale avec la perte de la sécrétion d'insuline comme mécanisme central mais aussi des dysfonctions de multiples autres hormones impliquées dans la régulation de la glycémie (glucagon, catécholamines, etc.) (22). Ainsi, l'ensemble du système d'auto-régulation glycémique étant affecté par le DT1, les PvDT1 sont donc exposés à des variations glycémiques importantes. Celles-ci entraînent de nombreuses complications aussi bien aiguës que chroniques. De plus, il a également été montré que le risque de certaines pathologies comme d'autres maladies auto-immunes sont plus fréquentes pour les pvDT1 (23).

1) **Complications aiguës**

Les complications aiguës caractérisent principalement les variations extrêmes de la glycémie et sont communément appelées « hyperglycémie », pour un taux de glucose supérieur à 180 mg/dL [10 mmol/L] et « hypoglycémies », pour un taux de sucre inférieur à 70 mg/dL [3,9 mmol/L]. Ces complications sont souvent transitoires mais n'en sont pas moins dangereuses, car ces deux phénomènes peuvent aller jusqu'à entraîner la mort, même si cela reste rare (<1 %) (24).

a. Hyperglycémie

L'hyperglycémie, conséquence directe de l'absence d'insuline, est très fréquente chez les PvDT1. En effet, Kim et al. ont observé chez les PvDT1 Coréen que le temps moyen passé au-dessus de 180mg/dL [10 mmol/L] était de 35 % (25). Les périodes post-prandiales, l'oubli d'injection d'insuline, une infection aiguë, un stress physiologique sont autant de situations qui peuvent contribuer à un taux de glucose trop élevé (26). Les hyperglycémies sont définies par 3 niveaux (*Figure 3*) :

- **Hyperglycémie modérée ou de niveau 1** pour une glycémie comprise entre 180mg/dL [10 mmol/L] et 250 mg/dL [13,9 mmol/L],
- **Hyperglycémie sévère ou de niveau 2** pour les valeurs supérieures à 250 mg/L [13,9 mmol/L]
- **Acidocétose diabétique** qui correspond à une glycémie supérieure à 250 mg/dL [13,9 mmol/L] avec la présence de corps cétoniques (reflet d'une activité lipolytique importante et d'une baisse du pH sanguin). Cette dernière survient en cas d'hyperglycémie prolongée avec un déficit insulinaire marqué.

Les symptômes d'hyperglycémie incluent une polyurie, polydipsie, une sécheresse buccale, une fatigue, une baisse de concentration, ainsi que des troubles visuels. Lorsqu'une cétose s'installe, des douleurs abdominales, des céphalées, des nausées ou une haleine fruitée apparaissent. Ces manifestations peuvent évoluer vers une déshydratation sévère, une hypotension, une tachycardie, un trouble de la vigilance et, dans les cas extrêmes, un coma. Le traitement repose sur une injection d'insuline et une réhydratation (27).

b. Hypoglycémie

L'hypoglycémie est une complication tout aussi fréquente et fait partie intégrante de la vie quotidienne des PvDT1. En moyenne, un PvDT1 vivrait deux épisodes hypoglycémiques de niveau 1 par semaine (28). Elle survient typiquement après un surdosage d'insuline, une activité physique non anticipée ou une consommation d'alcool (28). La classification est la suivante (29):

- **Niveau 1 ou légère** pour une glycémie comprise entre 70 mg/dL à 54 mg/dL [3,9 à 3,0 mmol/L],
- **Niveau 2 ou modérée** pour une glycémie <54 mg/dL [3,0 mmol/L]
- **Niveau 3 ou grave** lorsque l'aide d'une tierce personne est nécessaire pour apporter ou donner une source de glucides ou administrer du glucagon. Le glucagon est un traitement d'urgence qui peut être administré sous forme injectable ou en poudre nasale qui stimule la libération hépatique de glucose afin de rétablir rapidement la glycémie.

Les symptômes sont regroupés en deux catégories. **Les signes adrénergiques**, liés à l'activation du système nerveux autonome qui provoquent des réactions compensatoires, tel que des tremblements, des sueurs froides, une accélération du rythme cardiaque, une faim intense et une nervosité/anxiété (30). **Les signes neuroglycopéniques**, apparaissant lorsque le cerveau n'a plus assez de glucose pour fonctionner, qui se traduisent par une confusion, une difficulté de concentration, une vision floue, une fatigue ou une faiblesse soudaine, des troubles du langage, voire des convulsions ou un coma dans les cas les plus graves (30). Avec la répétition des épisodes les pvDT1 peuvent présenter moins de symptômes ou une absence de symptômes (21). Le traitement de l'hypoglycémie repose la plupart du temps sur une consommation de glucides rapides permettant d'augmenter le taux de glucose sanguin. Dans les cas les plus grave, une injection de glucagon (ou le glucagon nasal) peut être nécessaire. Une éducation spécifique à la gestion des hypoglycémies, associée à une surveillance étroite de la glycémie, à l'ajustement des doses d'insuline et, si nécessaire, à la prise de collations, permet de réduire le risque d'hypoglycémie (21).

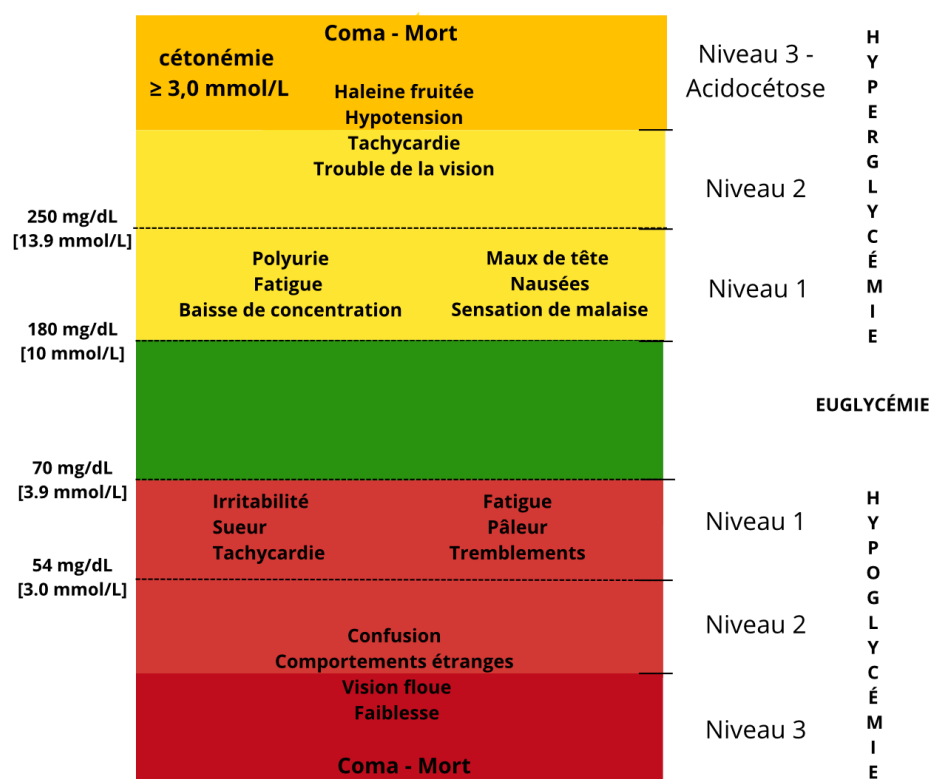


Figure 4 - Classification des niveaux glycémiques et manifestations cliniques associées
(Figure réalisée sur Canva)

Les hypoglycémies et les hyperglycémies ont un impact important sur le plan physiologique comme psychologique. En effet, chaque épisode de dysglycémie entraîne une augmentation du stress oxydatif, favorisant l'inflammation vasculaire et la dysfonction endothéliale (31,32). Ce phénomène peut être lié à la formation excessive de radicaux libres en cas d'hyperglycémie (31), ou à la libération massive de catécholamines lors d'une hypoglycémie induisant une vasoconstriction et un déséquilibre du tonus vasculaire (32). Il existe aussi des phénomènes de glycation dans les tissus qui sont responsables de certaines complications chroniques secondaires à l'hyperglycémie. Psychologiquement, ces événements sont souvent imprévisibles, perturbant les activités quotidiennes, générant du stress, de l'anxiété et pouvant même provoquer des accidents de circulation s'ils surviennent lors de la conduite automobile (33). De nombreux PvDT1 développent par ailleurs une peur des hypoglycémies ou un évitement extrême des hyperglycémies, ce qui altère significativement leur qualité de vie (34,35). Ces complications aiguës représentent également un fardeau économique majeur pour les systèmes de santé, notamment en raison des hospitalisations fréquentes liées aux épisodes sévères (36). Enfin, ces variations glycémiques aiguës répétées sont également un facteur de risques de développement de complications chroniques.

2) Les complications chroniques

a. Les complications macrovasculaires

Les maladies cardiovasculaires, comme l'infarctus du myocarde, l'athérosclérose, l'accident vasculaire cérébral et l'artériopathie oblitérante des membres inférieurs, représentent la première cause de mortalité chez les PvDT1 (37). Le risque de décès de cause cardiovasculaire reste deux fois plus élevé que chez les personnes vivant sans diabète, même avec un bon contrôle glycémique ($< 6,9\%$) (38). De plus, une association positive entre l'HbA1c et la mortalité cardiovasculaire (39), ce risque augmente significativement lorsque l'HbA1c dépasse $9,7\%$ avec un risque jusqu'à dix fois plus élevé (38). L'hyperglycémie engendre un stress oxydatif mais également l'activation de la protéine kinase C et la glycosylation non enzymatique qui sont des processus impliqués dans le développement de l'athérosclérose (40). D'autres mécanismes comme

l'inflammation de bas grade, l'altération de la vasodilatation et une altération du profile lipidique sont également des conséquences physiopathologiques de l'hyperglycémie persistante impliqué dans les évènements cardiovasculaires (41).

Tout comme l'hyperglycémie, l'hypoglycémie a aussi des effets indésirables sur la santé cardiovasculaire par le biais de l'activation du système nerveux autonome qui entraîne une vasoconstriction, une augmentation de la fréquence cardiaque, une hypertension transitoire et une augmentation du travail cardiaque ce qui peut favoriser un infarctus du myocarde ou une arythmie (42). De plus, chaque épisode hypoglycémique est également associé à une réaction inflammatoire aiguë, marquée par une élévation de la concentration des CRP (protéine C-réactive), d'IL-6 (interleukine-6) et de TNF-Alpha (facteur de nécrose tumorale alpha) et d'autres cytokines contribuant au stress oxydatif et à l'altération de la fonction endothéliale (43).

Le traitement intensif du DT1 visant un meilleur contrôle glycémique et HbA1c proche de la normale réduit le risque de tout événement cardiovasculaire de 42 % (44). Les femmes vivant avec un DT1 semblent néanmoins plus à risque de développer une maladie cardiovasculaire (MCV) que les hommes (45). Cette différence pourrait s'expliquer en partie par des modèles distincts de stockage des lipides dans le tissu adipeux, mais également par l'influence des hormones sexuelles sur la fonction endothéliale (45,46). risque de maladie cardiovasculaire augmente après la ménopause, on pense que les hormones féminines, les œstrogènes et les progestats favorisent la santé et le fonctionnement des cellules endothéliales, tandis que les androgènes, les hormones mâles, pourraient être préjudiciables.

D'autres facteurs de risque également présent dans la population générale comme l'hypertension, le tabagisme et l'obésité sont également très présent chez les PvDT1 et doivent être pris en charge pour réduire le risque CV (47). Les antécédents familiaux de maladie CV précoce, l'âge, la sédentarité, l'inactivité physique et la présence de complications microvasculaires sont également des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires (48,49) justifiant des interventions plus précoces et/ou plus énergiques pour réduire le risque MCV.

b. Les complications microvasculaires

Les complications microvasculaires correspondent aux atteintes microvasculaires et sont liées à une altération des petits vaisseaux sanguins entraînant une perte progressive de la fonction de certains organes : yeux, reins et nerfs (41). Ces altérations sont en grande partie liée au stress oxydatif induit par les hypoglycémies et les hyperglycémies (50). Une des complications les plus fréquentes dans le DT1 est la rétinopathie diabétique, caractérisée par des microanévrismes, des hémorragies rétinienne ou une prolifération vasculaire (41). Ces pathologies entraînent une déficience visuelle voir une cécité sans traitement adéquate. Le risque de développer une rétinopathie augmente avec l'âge, la durée du diabète, une HbA1c élevée (51). L'optimisation des traitements du DT1 et d'hypertension artérielle, en plus de la cessation tabagique, des traitements ophtalmologiques peuvent réduire le risque de progression (52). Des injections intravitréennes, de la photo coagulation au laser voire une chirurgie vitro-rétinienne permettent de réduire la progression de la maladie (52).

La néphropathie affecte également une grande proportion des PvDT1, 20 % des adultes américains vivant avec le DT1 (53). Elle est caractérisée par la présence de protéines dans les urines et/ou une baisse du débit de filtration glomérulaire (41). Dans les cas les plus sévères, cette insuffisance rénale chronique peut nécessiter une dialyse ou une transplantation rénale (54). L'hypertension artérielle et une hyperglycémie chronique sont des facteurs risques majeurs (55). À contrario, un meilleur contrôle glycémique permet de réduire le risque de développer cette pathologie secondaire (55). La cessation tabagique et l'utilisation de médicaments qui agissent sur le système rénine-angiotensine (inhibiteur de l'enzyme de conversion ou bloqueurs des récepteurs de l'angiotensine) contribuent aussi à la néphro-protection (54).

Les atteintes du système nerveux périphériques et autonomes sont également courantes chez les PvDT1, ce sont les neuropathies diabétiques (56). La neuropathie périphérique se manifeste par une baisse de la sensibilité, des douleurs chroniques, et dans de rares cas des troubles moteurs (56). Les neuropathies périphériques peuvent alors augmenter le risque de plaie et d'ulcère et donc le risque d'amputation. Les neuropathies autonomes peuvent être à l'origine de troubles digestifs comme pour la gastroparésie, de troubles cardiovasculaires comme l'hypotension orthostatique ou encore de troubles génito-urinaires comme la dysfonction érectile (57). Une nouvelle fois le

contrôle glycémique joue un rôle essentiel pour la prévention et la prise en charge (58). À ce jour, aucun traitement ne permet de réparer les lésions nerveuses. Toutefois, certains traitements pharmacologiques peuvent atténuer les douleurs neuropathiques (56).

En résumé, les personnes vivant avec un DT1 sont exposées à des complications chroniques à la fois macrovasculaires (principalement les maladies cardiovasculaires) et microvasculaires (rétinopathie, néphropathie, neuropathies) (41). Ces complications, souvent interconnectées, représentent la principale cause de morbi-mortalité dans cette population (59). Leur développement est fortement influencé par le contrôle glycémique, mais également par d'autres facteurs de risque cardiovasculaires et métaboliques (hypertension, dyslipidémie, obésité, tabagisme) (41). La prévention, le dépistage précoce et une prise en charge multidimensionnelle demeurent donc essentiels pour améliorer le pronostic et la qualité de vie des PvDT1 (60).

3) Pathologies émergentes associée au diabète de type 1

a. Obésité et surpoids

Le DT1, historiquement qualifié de « diabète maigre », connaît aujourd'hui une augmentation préoccupante de la prévalence du surpoids et de l'obésité dans cette population. Conway et al. ont montré une augmentation de 47 % de la prévalence du surpoids après 18 ans de suivis (61). Plus récemment, une étude canadienne a rapporté une prévalence du surpoids et de l'obésité respectivement de 34.6 % et 19.8 %, soit plus de 50 % des PvDT1 qui sont concernés par un excès de poids (62). La prévalence du surpoids et l'obésité est désormais similaire ou supérieure à celle la population générale, tant chez les adultes que chez les enfants DT1 (63,64).

Comme dans la population générale, le mode de vie joue un rôle central dans le développement du surpoids et de l'obésité (65). Néanmoins, d'autres facteurs spécifique à cette population ont été identifiés comme un âge et une durée du diabète avancé, un faible niveau

d'éducation ou encore des doses d'insuline plus élevées (62). En effet, l'insulinothérapie intensive est considérée comme un facteur clés de la prise de poids, bien que tous les mécanismes impliqués ne soient pas encore clairement établis (66,67). L'amélioration de la glycémie, en réduisant la glycosurie, conserve les calories qui étaient auparavant éliminées dans les urines (68). L'insuline exogène agissant davantage au niveau périphérique qu'au niveau hépatique favorise une accumulation de lipides dans les tissus adipeux (68). De même, l'effet anorexigène de l'insuline pourrait également être atténuée lorsque celle-ci est sous forme exogène, favorisant une hyperphagie (68). Des tentatives ont été menées pour développer de nouveau type d'insuline qui favorisent une action hépatique préférentielle afin de limiter cet effet de prise de poids, mais ces traitements ont été abandonnés en raison d'un risque accru de stéatose hépatique (69). La peur de l'hypoglycémie ainsi que les épisodes hypoglycémiques eux-mêmes sont également susceptibles d'induire une surconsommation calorique (66). Un PvDT1 fait en moyenne plus de 100 hypoglycémies par an entraînant une ingestion de 20g de glucides, cela pourrait engendrer une prise de 3 à 5 Kg par an si aucune compensation n'est effectuée. Ces phénomènes entretiennent un cercle vicieux : la prise de poids accroît la résistance à l'insuline, ce qui nécessite des doses plus élevées, qui pourrait renforcer des mécanismes favorisant la prise de poids (67). Par ailleurs, certains PvDT1 rapportent omettre volontairement des injections d'insuline dans un objectif de perte de poids, c'était le cas pour 50 % des participantes de Polonsky et al. (70). Comme dans la population générale, les premières approches thérapeutiques reposent sur une alimentation équilibrée, une activité physique régulière, et des interventions comportementales adaptées au contexte du DT1 (60). Certains traitements pharmacologiques contre l'obésité comme les inhibiteurs de SGLT2 (Sodium-Glucose co-Transporter type 2) ou les analogues du récepteur au GLP-1 (glucagon-like peptide-1), ont également commencé à être utilisé chez les PvDT1 montrant des résultats intéressants avec une diminution de 5 % du poids corporels et une amélioration du contrôle glycémique (71). Ces résultats sont d'autant plus pertinents que le surpoids et l'obésité chez les personnes vivant avec un DT1 sont associés à une augmentation du risque des complications macrovasculaires et microvasculaires, elles-mêmes étroitement liées au contrôle glycémique (67,72). Enfin, la dépression, dont la prévalence augmente également chez les PvDT1, a été identifiée comme un autre facteur associé au surpoids et à l'obésité dans cette population (62).

b. Santé mentale

Les complications physiques ne sont pas les seules difficultés auxquelles les PvDT1 sont confrontées, qui présentent également un risque plus élevé de développer des troubles de santé mentale tels que la dépression, l'anxiété et les troubles du comportement alimentaire par rapport à la population générale (73). En effet, Endomba et al. ont rapporté que le DT1 augmente de 2 à 10 fois le risque de développer une dépression, et cela pourrait s'expliquer aussi bien physiologiquement que psychologiquement (*Figure 5*) (74). D'un point de vue physiologique, une situation pro-inflammatoire caractérisée par l'élévation des cytokines inflammatoires (TNF- α , l'interleukine-1 β , interféron- γ) ainsi que par l'activation de leurs voies de signalisation, est reconnue comme un facteur contributif à la dépression chez les PvDT1 (75,76). Cet état inflammatoire perturbe notamment le métabolisme de la kynurénine, altérant la synthèse de la sérotonine et le mécanisme du glutamate, réduisant la plasticité neuronale, comme en témoigne la baisse des taux de BDNF [Brain-Derived Neurotrophic Factor] (77). Par ailleurs, la carence en insuline aurait également un impact négatif sur la neurogénèse et la neurotransmission, des processus clés dans la dépression (78). Les épisodes de dysglycémie aiguë altèrent également neuroplasticité cérébrale (76,79), notamment via une hyperactivation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HHS) et un stress oxydatif accru d'où l'importance d'une bonne gestion du diabète. Sur le plan psychosocial, le DT1 impose une charge mentale quotidienne importante (74). En effet, les PvDT1 doivent gérer en permanence leur glycémie, estimer leur consommation de glucides et ajuster leur dose d'insuline qui constituent tous des sources de stress majeurs (78,80,81). Un stress omniprésent pour essayer de prévenir au mieux les complications aiguës ou chroniques. Cette gestion constante altère considérablement la qualité de vie des PvDT1, tout comme l'estime de soi, contribuant également au risque de symptômes dépressifs (74). Par ailleurs, les PvDT1 doivent aussi faire face à une stigmatisation sociale, elle-même associée à une détresse psychologique accrue, incluant les symptômes dépressifs (82).

La dépression associée au DT1 a un impact négatif sur la qualité de vie et la gestion de la maladie (83,84), augmente le risque de complications (85) ainsi que la mortalité et la morbidité (86). En effet, les PvDT1 souffrant de dépression ont tendance à oublier plus fréquemment leurs doses d'insuline, ce qui conduit à une augmentation du risque d'acidocétose diabétique en

comparaison avec les PvDT1 qui ne présentent pas de symptômes dépressifs (86). Dans le même sens, Katon et al. ont montré que la dépression augmentait le risque d'hypoglycémie (87). La dépression affecte aussi négativement le régime alimentaire, la pratique d'AP et la sédentarité qui sont des éléments clés pour maintenir un bon contrôle glycémique (86). Le coût et les besoins de santé sont considérablement augmentés pour ces patients (86,88). Selon Sartorius et al., le coût de traitements du diabète serait également 4,5 fois plus élevé chez les PvDT1 qui présente une dépression (89). L'identification et la prévention de la détresse psychologique chez les PvDT1 apparaissent essentielles et doivent être incluses dans la prise en charge habituelles (90). À cet effet, des questionnaires ont été recommandés et validés pour les PvDT1 comme le « Diabetes Distress Scale », questionnaire sur la détresse lié au diabète (91) ou le « Patient Health Questionnaire » (92). La difficulté à gérer le fardeau lié au diabète, les inquiétudes sur les conséquences néfastes de leur contrôle glycémiques, le manque de ressources psychosociale et économiques sont autant de facteurs de risques à prendre en compte (90). La psychothérapie combinée à un programme de marche avec un podomètre ont montré une amélioration sur la santé et le bien être mental chez des PvDT2 souffrant de dépression (93). La prise de traitement pharmacologiques comme les antidépresseurs peuvent être également utilisé (90). Toutefois, il est important de noter que certains d'entre eux peuvent influencer la glycémie, notamment en modifiant la sensibilité à l'insuline ou la glycogénolyse (94).

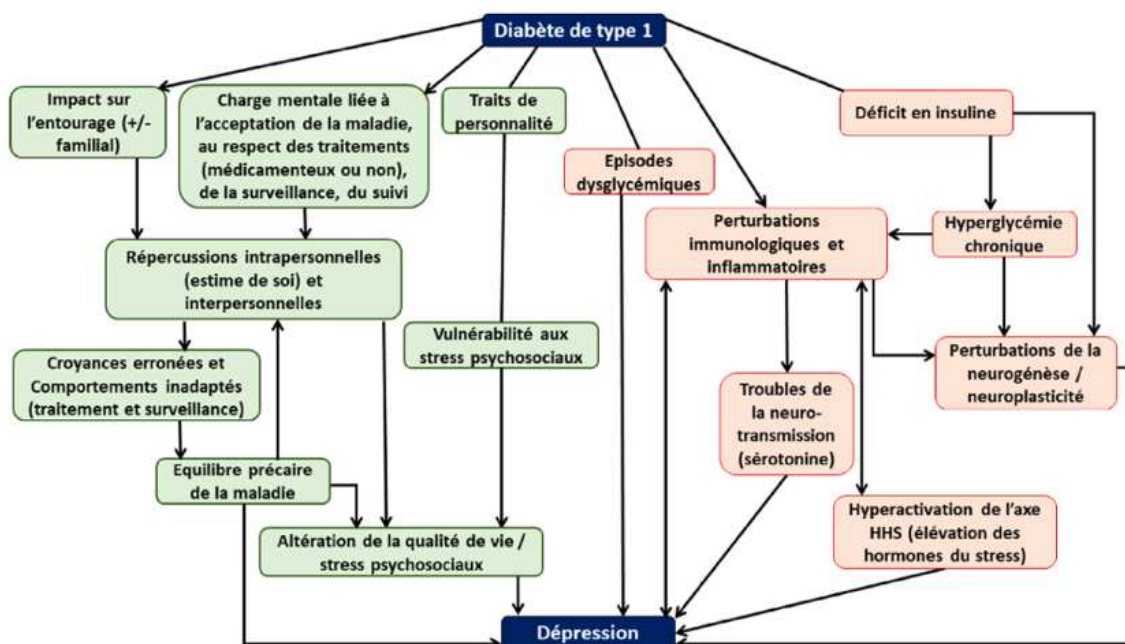


Figure 5 - Mécanismes potentiels physiologiques et psychologique de la dépression et du diabète de type 1 (Figure issue de l'article Endomba et al. (2024)(73))

En conclusion de cette partie, les complications aiguës, chroniques et émergentes reliées au DT1 augmentent considérablement la mortalité et réduisent significativement la qualité de vie des PvDT1 (59,95), d'où l'importance d'agir en prévention de celle-ci. Si certains facteurs de risque tels que le statut socio-économique, l'âge ou le sexe sont non modifiables, d'autres, comme le contrôle glycémique et l'introduction ciblées de traitements pharmacologiques de protection cardio-rénale constituent des leviers d'action importants pour limiter l'apparition et la progression de ces complications (96,97). La gestion de l'excès pondéral ainsi que la santé mentale sont également primordiales. Ces éléments soulignent la nécessité d'une prise en charge globale du DT1.

V- La prise en charge du diabète de type 1

La prise en charge du DT1 a connu des évolutions majeures depuis les premières descriptions de la maladie, par exemple au 2^{ème} siècle avant J.-C par le médecin gréco-romain Aretaeus de Cappadoce (98). En effet, jusqu'à la découverte de l'insuline en 1921 par le chirurgien Frederick Grant Banting, l'espérance de vie après un diagnostic de DT1 dépassait rarement trois ans (99). Depuis, les avancées thérapeutiques ont considérablement amélioré le suivi permettant une augmentation de 14 ans de l'espérance de vie entre les cohortes de 1950-1964 et 1965-1980 du Pittsburgh Epidemiology of Diabetes Complications (11). Aujourd'hui, la prise en charge repose sur 3 piliers : l'*administration d'insuline*, la *surveillance glycémique* et l'*adoption d'un mode de vie sain*.

1) L'insuline

Le principal traitement du DT1 repose sur l'insulinothérapie, c'est-à-dire l'administration d'une insuline exogène afin de reproduire la sécrétion naturelle de cette hormone (100). Sur le plan pharmacologique, on distingue deux grandes classes d'analogues de l'insuline selon leur cinétique d'action (101). Les ***insulines basales*** (lentes ou ultra lentes), avec une action prolongée, allant de 14h à une semaine pour les formulations les plus récentes et permettent de couvrir les besoins journaliers en insuline indépendamment des repas. Les PvDT1 s'injectent cette insuline une à deux fois par jour, généralement le matin ou le soir. La place de l'insuline hebdomadaire dans la prise en charge du DT1 reste à définir (102). Les ***insulines prandiales*** (rapides ou ultra-rapides ; ex. lispro, aspart, glulisine), sont administrées en « bolus », en prévision d'une élévation de la glycémique postprandiale ou en correction d'une hyperglycémie. Elles ont une action rapide sur la glycémie, avec un pic entre 1 et 2 heures après l'injection et une durée d'action courte, généralement inférieure à 4-6 heures selon les formulations (103). Les doses d'insuline, rapides ou lentes, varient d'un individu à l'autre et sont déterminées au moment du diagnostic puis réévaluées avec le temps. La dose quotidienne de départ est généralement basée sur le poids corporel, allant de 0,4 à 1,0 unité d'insuline par Kg (104).

Pour s'administrer l'insuline, les PvDT1 peuvent choisir entre deux modalités (*Figure 6*) : les injections multiples (MDI : Multiple Daily Injection) ou les pompes à insuline (CSII : Continuous Subcutaneous Insulin Infusion) (103). Le choix entre ces approches dépend de nombreux facteurs, incluant l'âge, le niveau d'autonomie, la capacité d'adaptation au traitement, mais également des considérations économiques et d'accessibilité aux technologies. Le traitement MDI consiste à s'injecter deux types d'insuline à l'aide de stylos d'insuline, un pour l'insuline rapide et un autre pour l'insuline lente. Le schéma par MDI vise à mimer la sécrétion physiologique d'insuline en associant un apport continu de fond et des bolus adaptés aux prises alimentaires ou aux corrections glycémiques. La pompe à insuline constitue une alternative thérapeutique qui tend à reproduire plus fidèlement la sécrétion physiologique du pancréas sain. Elle délivre en continu des microdoses d'insuline rapide selon des schémas préalablement établis avec leur professionnel de santé. C'est l'équivalent de l'insuline « basale » pour les PvDT1 utilisant le traitement MDI. Les patients s'administreront également des bolus d'insuline via cette même pompe pour satisfaire les besoins en insuline liés à leur consommation de glucides ou leur valeur de glycémie. Plus récemment, des systèmes automatisés d'administration de l'insuline (AID : automated insulin delivery systems) également appelés « pancréas artificiel », ont été développés (*Figure 6*). Ces systèmes permettent de combiner un dispositif CSII avec un capteur de glucose en continu et un algorithme, qui ajuste la perfusion d'insuline en fonction des variations glycémiques. Des calculateurs de bolus existent également pour aider à la prise de décision de dosage même si la sécurité de ceux-ci doit encore être évaluée.

Plusieurs études ont montré de nombreux bénéfices de l'utilisation de ces nouvelles technologies (e.g CSII, AID) : amélioration du contrôle glycémie, réduction du risque d'hypoglycémie, plus grande flexibilité dans le mode de vie, amélioration de la qualité du sommeil, diminution de la charge mentale associée à la gestion du diabète (105–109). En effet, l'utilisation d'une pompe à insuline permet un dosage d'insuline plus précis et plus flexible avec moins d'injections par rapport au traitement MDI. Ce sont surtout les systèmes AID qui ont montré une amélioration significative du contrôle glycémique avec une réduction du temps passé en hyperglycémie (plus efficace), du temps passé en hypoglycémie (plus sûr) et une réduction de la charge mentale grâce à l'automatisation. Néanmoins, l'utilisation de ces nouvelles technologies peut tout de même présenter des défis techniques, technologiques et esthétiques : problème de perfusion, infection au niveau des cathéter, défaillance du système, alarmes à répétition et la taille

de l'équipement (110). Les problèmes de portabilité faisaient partie des principales raisons signalées par les participants pour l'arrêt de la CSII (57 %) (111) même si plus de 80 % des participants ont recommandé la boucle fermée (107). À noter que le choix du mode d'administration de l'insuline dépend des préférences du patient, des contraintes liées au type d'insuline, au schéma de posologie, mais aussi au coût du traitement. La pompe à insuline est plus fréquente chez les personnes avec un statut socio-économique élevé ainsi que les personnes qui détiennent une assurance maladie privée (91,92) tandis qu'elle était moins fréquente chez les personnes ayant un revenu inférieur à 80 000\$CAD, n'ayant pas fait d'étude secondaire, n'étant pas d'origine caucasienne ou bénéficiant d'une assurance publique (112). En 2025, un peu moins de 40 % des participants d'un registre Canadien étaient des utilisateurs de CSII (112). Actuellement au Québec, la pompe n'est couverte par le régime public (RAMQ) que si elle est débutée avant l'âge de 18 ans ce qui exclut la majorité des patients de cette couverture. En France, où la couverture par le régime public est beaucoup plus large, c'est près de 60 % des PvDT1 qui utilisent une pompe à insuline (113).



Figure 6 - Illustration des différentes méthodes d'administration de l'insuline et des différentes méthodes de surveillances glycémiques utilisés de nos jours
(Figure réalisée sur Canva)

2) La surveillance glycémique

La surveillance glycémique est un élément essentiel dans la gestion du DT1, car elle permet de prévenir et de gérer les complications liées à cette maladie (100). En effet, les complications aiguës (ex. hypoglycémie, hyperglycémie...) ou chroniques (ex. rétinopathie...) liées au diabète ont comme facteur de risque principal le contrôle de la glycémie. Bien que plusieurs études prennent en compte l'HbA1c comme marqueur reflétant la glycémie moyenne sur 2 à 3 mois, le suivi quotidien de la glycémie reste indispensable pour assurer une prise en charge optimale du patient.

Deux principales méthodes sont utilisées pour surveiller la glycémie (*Figure 6*) : les glycémies capillaires qui mesurent le taux de glucose sanguin (SMBG : Self-Monitoring of Blood Glucose), et les lecteurs de glucose en continu qui mesurent les taux de glucose dans le liquide interstitiel sous-cutané (CGM : Continuous Glucose Monitoring) (114). Ce dernier est composé d'un capteur inséré dans le tissu sous-cutané de l'utilisateur, et un récepteur (ou application sur téléphone intelligent) et permet de mesurer et d'afficher la glycémie interstitielle en temps réel contrairement aux glycémies capillaires. Des flèches de tendance peuvent également être présentes pour donner une indication sur l'évolution attendue de la glycémie dans les 30 prochaines minutes, des alarmes peuvent aussi avertir les patients à certains seuils permettant ainsi au PvDT1 d'ajuster leur traitement insulinaire et/ou de considérer la prise d'une collation (115). L'utilisation de CGM permet une réduction de l'HbA1c et des hypoglycémies (116–121). Cela aurait des bénéfices encore plus marqués pour les PvDT1 qui ont une altération de la perception des symptômes de l'hypoglycémie (122). Le recours au CGM permet également de réduire le nombre de glycémie capillaire, de partager ses données avec ses proches ou des professionnels de santé et une amélioration de la qualité de vie (118). La détresse liée au diabète serait également diminuée avec ces capteurs (123). En revanche, comme les pompes à insuline, les défis techniques et technologiques sont encore importants (124–126). En effet, les valeurs de glycémie interstitielle sont parfois remises en question notamment à cause d'un retard physiologique dû à la mesure effectuée dans le liquide interstitiel, et non directement dans le sang (*Figure 7*). Lorsque les niveaux de glucose changent dans le sang, ces changements sont répercutés quelques minutes plus tard dans le liquide interstitiel (127). Ce décalage serait également affecté par le flux sanguin local ce qui accentuerait cette différence lors de l'AP (127). Ce délai physiologique, estimé entre 5 et 10 minutes, pourrait alors atteindre environ 15 minutes pendant l'AP, avec des différences inter-

individuels importantes (127). En plus du décalage physiologique, il existe également un retard dû à la technologie. Avant que la glycémie soit affichée sur le CGM, plusieurs étapes doivent se dérouler : 1) le glucose traverse les membranes protectrices du capteur, 2) la réaction électrochimique avec le glucose se produit à l'intérieur du capteur, 3) le signal électrique généré est transmis au récepteur et 4) le système traduit ce signal numérique pour donner la valeur glycémique à l'utilisateur (*Figure 7*). L'accumulation de ces deux types de retard peut devenir problématique, notamment lorsque les utilisateurs sont proches de la zone d'hypoglycémie et doivent prendre des décisions rapidement. Néanmoins, le CGM reste largement recommandé aussi bien par les patients que par les professionnels de santé (128). Son accessibilité reste toutefois très inégale selon pays et même au sein d'un même pays : 19.0 % en coré du sud (129), 48 % aux États-Unis (130), 83 % au Canada (112), 94 % en France (131). Une analyse récente d'un registre Canadien démontre une large adoption au cours des dernières années avec presque 90 % des participants qui rapportent l'utilisation du CGM (<https://type1better.com>).

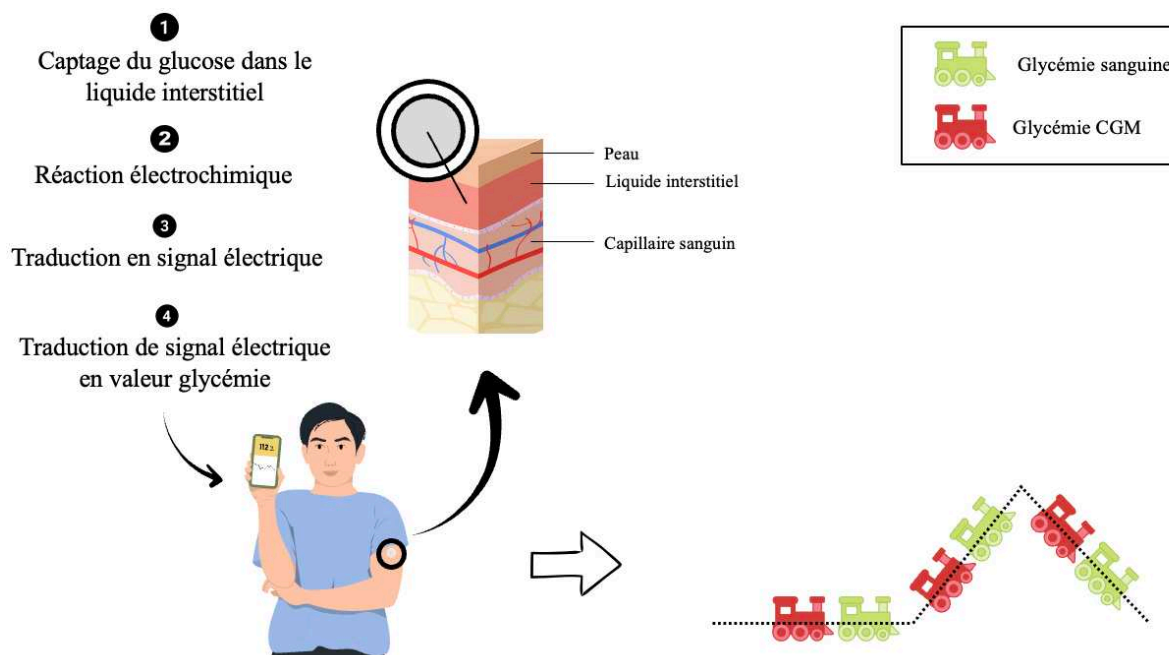


Figure 7 - Mécanisme de retard physiologique et technologique du capteur de glycémie en continu (*Inspiré des visuels de la fédération des diabétiques, réalisée sur Canva*)

3) Mode de vie

Le mode de vie est le dernier pilier du triptyque de la prise en charge du DT1. Il repose sur une alimentation équilibrée, une pratique régulière d'AP, un bon équilibre psychologique, l'absence de tabagisme ou de substances psychoactives, une consommation modérée d'alcool ainsi qu'un bon sommeil (60). Les professionnels de santé doivent donc également prodiguer des conseils hygiéno-diététiques.

L'alimentation est souvent rapportée comme difficile à gérer chez les PvDT1 notamment en raison du comptage des glucides pour calculer les doses d'insuline au moment des repas (60). S'injecter les bonnes doses d'insuline en estimant la quantité de glucides ingérée est loin d'être simple. Meade et al. ont d'ailleurs montré que le score moyen d'un test de précision sur le comptage des glucides était seulement de 59 % dans une population d'adulte PvDT1 (132). Pourtant, un bon comptage des glucides pourrait permettre de diminuer jusqu'à 1,2% l'HbA1c selon Schmidt et al. (2014) (133). De plus, ce focus sur ces consommations alimentaires est aussi un facteur de risque de troubles du comportement alimentaire (60). Une étude sur un hôpital australien a montré que 30 % des patients suivis dans ce centre souffriraient de troubles du comportements alimentaires dépistés par le questionnaire DEPS-R (diabetes eating problem survey-revised) (134). Les femmes sont davantage touchées que les hommes tout comme une HbA1c et un IMC plus élevé sont également associés à un score plus élevé à ce même questionnaire. Des recherches ont montré qu'une alimentation à faible teneur en glucides pouvait améliorer la glycémie chez des PvDT2 (135) et certaines études suggèrent un possible bénéfice pour les PvDT1 (136). Néanmoins une alimentation saine tout en gardant le plaisir de manger doit rester le plus important chez les PvDT1 selon les recommandations de l'American Diabetes Association (ADA) (60). De plus, la faisabilité au long-terme et la sécurité (risque d'hypoglycémie, de stéatose hépatique ou de MCV) ne sont pas établis. Atteindre et maintenir des objectifs de poids corporels est également essentiel pour prévenir les complications liées au diabète alors que la prévalence du surpoids et l'obésité touche désormais plus de 50 % des PvDT1 (62). Pour prévenir l'excès de poids corporel mais aussi pour améliorer la santé des PvDT1, l'AP fait également partie intégrante du traitement du diabète. En effet, l'AP procure de nombreux bénéfices pour la santé des PvDT1 tant sur le plan physiologique, en améliorant le contrôle glycémique et en diminuant les risques de complications, que psychologique (*détaillée partie B*) (137). Maintenir un bon équilibre notamment en adoptant un comportement

actif peut également permettre de réduire le risque de dépression, très présent chez les PvDT1. La santé mentale peut facilement être fragilisé avec les multiples défis imposés par le diabète, incluant le risque de complications, les décisions constantes concernant la gestion glycémique, ainsi que la gestion de nombreuses situations inconfortables découlant des fluctuations glycémiques (138). Selon les données du registre T1D Exchange, Kelly et al. ont observé qu'environ 40 % des participants présentaient une importante détresse liée au diabète (139). Par ailleurs, plus de 70% des PvDT1 rapportent ressentir une stigmatisation liée à leur maladie (140). Cette stigmatisation elle-même corrélée négativement notamment avec l'IMC et le contrôle de la glycémie (140).

Toujours dans le cadre des habitudes de vie, le tabagisme constitue un enjeu majeur chez les PvDT1, car il représente un facteur reconnu de complications macro- et microvasculaires (141). De la même manière, la consommation de substances psychoactives, telles que le cannabis, constitue un facteur de risque métabolique majeur (142). Les consommateurs présentent en effet des valeurs d'HbA1c plus élevées que leurs homologues non consommateurs (142). L'alcool, quant à lui, induit des hyperglycémies en cas de consommations excessive tout en augmentant le risque d'hypoglycémie après consommation (143). Ainsi, comme dans la population générale, l'adoption d'un mode de vie sain repose sur l'absence de tabagisme, de stupéfiants et d'alcool excessif. Enfin, le sommeil joue un rôle primordial dans le maintien de la santé physique et mentale ainsi que dans la qualité de vie (144). Une étude canadienne récente a montré qu'environ 50 % des PvDT1 présentaient une mauvaise qualité de sommeil (145). Un sommeil de mauvaise qualité était notamment associé au surpoids/obésité, à la consommation d'une collation avant le coucher, au non-respect des recommandations d'AP, à la présence d'une dépression modérée à sévère ainsi qu'à la consommation de cannabis, autant de caractéristiques directement liées aux habitudes de vie (145). L'ensemble de ces facteurs, étroitement liés, influence directement la gestion et l'évolution de la maladie et constitue, au même titre que l'insulinothérapie et la surveillance glycémique, un pilier de la prise en charge.

En conclusion de cette partie, le DT1 est une maladie auto-immune complexe qui, en raison d'une carence absolue en insuline (compensée par une insuline exogène) et d'une altération des mécanismes de contre-régulation, expose à des variations glycémiques majeures. Au-delà de la gestion glycémique, continue, souvent difficile et à l'origine de complications aiguës et chroniques, de nouvelles problématiques émergent et influencent significativement la maladie : atteinte de la santé mentale (détresse, dépression, stigmatisation), surpoids et obésité. Les nouvelles technologies (CGM, CSII et systèmes AID) ont considérablement amélioré le contrôle glycémique et la qualité de vie, tout en soulevant de nouveaux enjeux d'usage, de charge technologique et d'accessibilité. Le mode de vie, troisième pilier indissociable de la prise en charge du diabète, demeure un levier essentiel pour optimiser le devenir des personnes vivant avec un DT1. L'AP, en particulier, procure des bénéfices désormais bien établis sur le contrôle métabolique, la prévention des complications et le bien-être psychologique. Néanmoins, peu de personnes atteignent aujourd'hui les niveaux d'AP recommandés. Ainsi, la Partie B sera consacrée au rôle central de l'AP chez les PvDT1, ainsi qu'aux barrières spécifiques qui en freinent la mise en œuvre au quotidien.

I- Partie B : L'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1

I- Définition de l'activité physique

L'activité physique (AP) est définie comme tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques induisant une dépense énergétique supérieure au repos selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (146). Elle peut être réalisée dans quatre grands domaines (*Figure 8*) : 1) l'**AP professionnelle**, correspondant aux activités liées au travail (*e.g.* port de charge); 2) l'**AP domestique**, incluant les tâches effectuées pour l'entretien du domicile (*e.g.* ménage, bricolage, jardinage); 3) l'**AP de transport**, englobant tous les déplacements actifs (*e.g.* marche, vélo) ; et 4) l'**AP de loisirs ou de compétitions**, regroupant les activités planifiées et structurées, visant le plaisir, l'amélioration ou le maintien de la condition physique (Scott 2013). Ces activités peuvent être caractérisées selon le principe FITT (147), qui prend en compte quatre caractéristiques : la fréquence, l'intensité, la durée et le type:

- La **fréquence** correspond au nombre de séances effectuées sur une période donnée, le plus souvent par semaine.
- La **durée** renvoie au temps consacré à chaque séance, exprimé généralement en minutes ou en heures.
- L'**intensité** reflète le niveau d'effort fourni lors de l'AP et a été historiquement définie selon la dépense énergétique exprimée en équivalents métaboliques (METs): légère [1-4 METs], modérée [5-8 METs] ou vigoureuse [>9 METs] (148). D'autres paramètres permettent désormais d'évaluer l'intensité, soit objectivement à partir de mesures physiologiques (*e.g.* consommation d'oxygène, fréquences cardiaque) ou de quantification du mouvement (*e.g.* accéléromètre, podomètre), soit subjectivement à travers des indicateurs perceptuels (*e.g.* perception de l'effort, essoufflement, test de conversation) (149).
- Le **type** fait référence aux fonctions physiologiques sollicitées, distinguant les activités d'endurance ou cardiorespiratoires, de renforcements musculaires, d'assouplissement et d'équilibre (150).

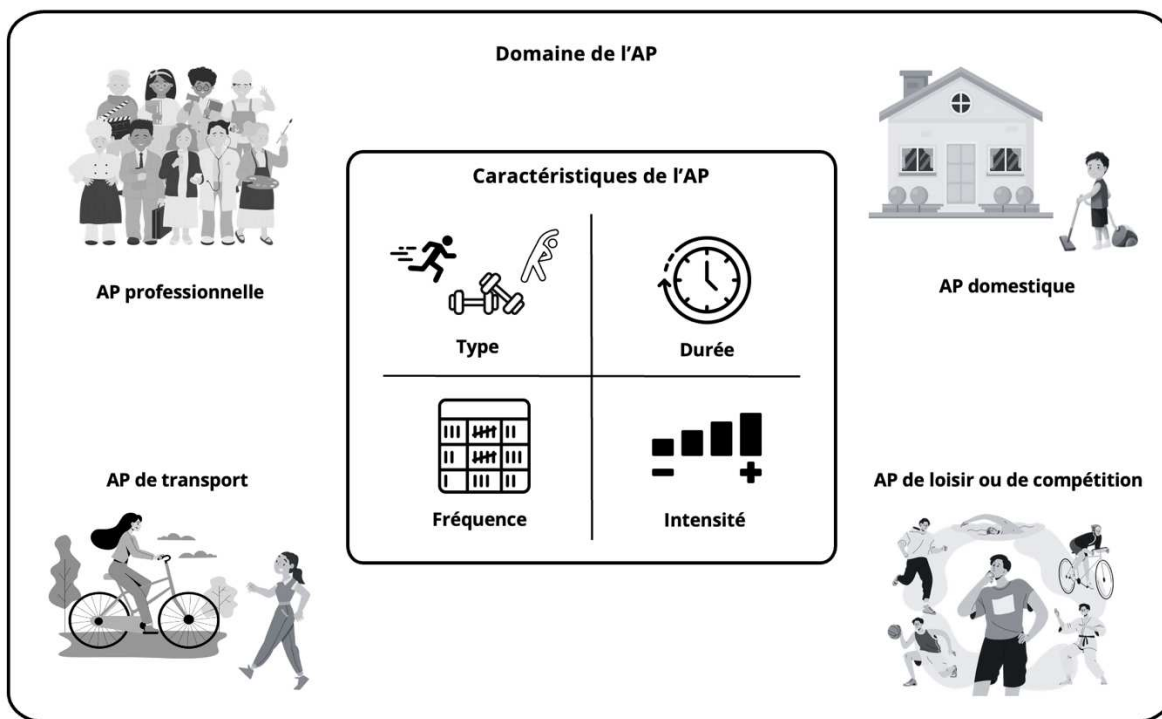


Figure 8 - Domaines et caractéristiques de l'activité physique
(Figure réalisée sur Canva)

Au-delà de ces outils de quantification de l'intensité de l'exercice, des questionnaires ont également été développés pour estimer le niveau d'AP à grande échelle. La version longue de l'« International Physical Activity Questionnaire » est l'un des plus utilisés de nos jours (151,152). Il permet de prendre en compte l'ensemble des dimensions et des caractéristiques des AP. D'autres questionnaires tels que le « Modifiable activity questionnaire » (MAQ), « Recent physical activity questionnaire » (RPAQ) et le « 7-day Physical Activity Recall » (PAR) sont également utilisés dans de nombreuses études de recherche (153). Toutefois, les données auto-déclarées issues de ces questionnaires ne concordent pas toujours avec les mesures objectives, ce qui pose un problème de précision et complique leur interprétation (152). Les mesures objectives sont elles aussi associées à des enjeux tels que la validité des dispositifs, le fait de devoir les porter, le coût de ces dispositifs, etc. L'intégration de ces différents paramètres et outils de mesure permettent néanmoins de mieux quantifier l'AP, essentiel pour établir des recommandations en santé publique et comprendre les impacts de l'exercice sur la santé.

II- L'activité physique, un atout majeur et recommandées pour la santé des personnes vivant avec le diabète de type 1

Comme pour la population générale, l'AP présente de nombreux bénéfices chez les PvDT1 tant sur le plan physiologique, physique, ou psychique (137). En effet, elle est associée à une amélioration de la santé cardiovasculaire (fonction endothéliale, profil lipidique), de la qualité de vie, et du bien-être grâce à l'AP (154–156). L'anxiété et le stress serait également plus faible chez les personnes pratiquant davantage d'exercice (157). Par ailleurs, Brazeau et al. ont également montré que les PvDT1 actifs avaient une meilleure composition corporelle que leurs homologues inactifs (158). L'AP contribue aussi à réduire la mortalité et le risque cardiovasculaire (154).

Concernant la gestion du diabète, la pratique régulière d'une AP est également associée à une augmentation de la sensibilité à l'insuline et du captage du glucose, des doses d'insuline et une baisse de l'HbA1c (154,159–162). Au contraire, un niveau d'AP plus faible ou une plus grande inactivité ont été associés avec une HbA1c plus élevée (163). La glycémie moyenne était également plus faible lors des jours d'AP par rapport aux jours d'inactivité physique (164). Plus récemment, Gal et al. ont même montré que des niveaux d'AP plus élevés étaient associés à une augmentation du temps passé dans la cible (TIR), une diminution du temps passé en hyperglycémie (TAR) sans augmentation significative du temps passé en hypoglycémie (TBR) chez des jeunes DT1 (165). Même si ces données sont avant-tout observationnelles, ces bénéfices sont probablement pertinents compte tenu des associations démontrées entre une meilleure gestion glycémique et un moindre risque de complications liées au diabète (62,154,166–168). Dans ce sens, Chimen et al. ont également montré que l'AP régulière était associée à un moindre risque de présenter des complications microvasculaires (169). Récemment, Pemberton et al. ont même suggéré que l'AP pouvait être utilisée comme stratégie pour diminuer le temps en hyperglycémie : pour des glycémies de 181 à 199 mg/dL [10-11 mmol/L], 200 à 224 mg/dL [11-12, 5 mmol/L], 225 à 249 mg/dL [12, 5 -13,8 mmol/L] et 250 à 300 mg/dL [13,9-16,6 mmol/L], la pratique respective de 15, 31, 59 et >60 minutes d'AP permettait dans 50 % des cas un retour dans la cible glycémique avec un risque limité d'hypoglycémie dans les 4 heures suivant l'exercice (170).

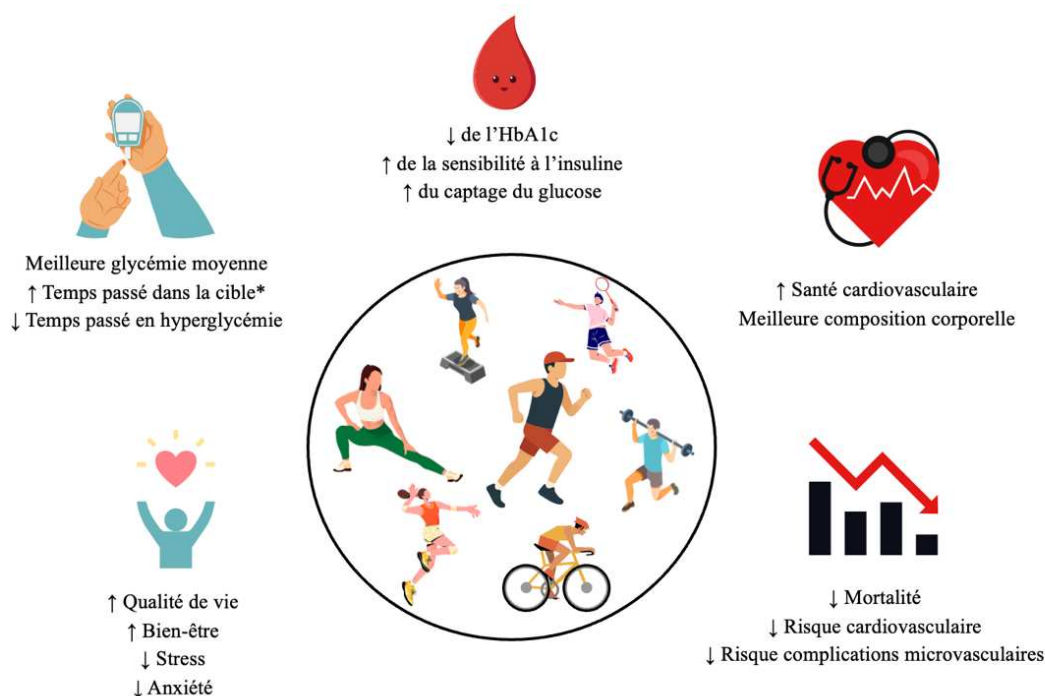


Figure 9 - Bénéfices associés à la pratique ou au niveau d'activité physique
(Figure réalisée sur Canva)

L'ensemble de ces bénéfices a conduit à recommander aux enfants, adolescents et adultes vivant avec le DT1 de pratiquer respectivement au moins 60 minutes par jour et 150 minutes par semaine d'activité physique modérée à intense, ainsi que 2 à 3 séances d'exercice de renforcement musculaire (60). En effet, ces deux types d'AP apportent des bénéfices complémentaires. L'AP d'intensité modérée à élevée augmente la densité mitochondriale, la sensibilité à l'insuline, les enzymes oxydatives, l'observance et la réactivité des vaisseaux sanguins mais aussi la fonction pulmonaire, immunitaire et le débit cardiaque. En revanche, l'AP de renforcement musculaire agit davantage sur la masse musculaire, la composition corporelle, la force, la fonction physique, la santé mentale, la densité minérale osseuse, la sensibilité à l'insuline, la pression artérielle, le profil lipidique et la santé cardiovasculaire (171). Chez les PvDT1, il est également recommandé d'ajouter des entraînements de flexibilité et d'équilibre pour préserver l'autonomie. Toutefois, l'AP est déconseillé en cas d'hyperglycémie importante (>15.0 mmol/L) ou une cétonémie élevée (>1.0 mmol/L), d'hypoglycémie sévère récente (<24 h) ou de complications diabétiques sévères telles qu'une rétinopathie proliférative avec saignement récent, un dysfonctionnement autonome sévère (137).

III- Le niveau d'activité physique

Malgré les recommandations des organismes de santé (*e.g.* OMS, HAS, ADA), la population mondiale est de moins en moins active, tant chez les adultes que chez les enfants (172,173). Plus de 80 % des 11-17 ans sont insuffisamment actifs selon Guthold et al. (173) tandis que moins de 45 % des adultes respectent les recommandations d'AP (174). Le sexe féminin, l'âge avancé, ainsi qu'un niveau socio-économique ou éducatif plus faible sont des facteurs associés à une moindre pratique d'AP (*Figure 10*) (174). Les personnes vivant avec une maladie chronique et en particulier le diabète sont également moins actives, seuls 30 % respectaient les recommandations (174). Ces données rejoignent celles de Finn et al. (2022), montrant que seul 30 % des PvDT1 atteignaient les recommandations (175). Matson et al. ont également observé que les PvDT1 récemment diagnostiqué pratiquaient en moyenne 25 % d'AP de moins que leurs homologues vivant sans diabète (176). Néanmoins, d'autres études rapportent des niveaux d'AP similaires chez les personnes vivant avec ou sans DT1 aussi bien chez les adolescents que chez les adultes (158,177–180).

La littérature souligne également une importante variabilité interindividuelle dans les niveaux d'AP (179). En effet, 12 % des PvDT1 déclaraient ne pas pratiquer d'AP, 55 % pratiquer 1 à 4 jours par semaine et 33 % plus de 5 jours par semaine (181). Gomez-Peralta et al. (2023) ont également observé que les hommes vivant avec le DT1 pratiquaient plus d'AP intense que les femmes, ces dernières consacrant plus de temps aux activités domestiques (179). En revanche, aucune association n'avait été trouvée avec le contrôle glycémique, le mode de traitements, les caractéristiques sociodémographiques et l'IMC (179). À l'inverse, une récente étude brésilienne a montré des associations entre les niveaux d'AP légère et l'âge, le niveau d'éducation et le statut d'emploi (182). L'âge était associé négativement à l'AP, tandis qu'un niveau d'éducation plus élevé et le chômage étaient liés à une diminution du temps passé en AP légère. Une vaste étude de McCarthy et al. (2016), menée auprès de plus de 7000 PvDT1 ont montré que l'IMC, l'âge, une plus longue durée du diabète, un moins bon état de santé et la présence de symptômes dépressifs étaient également des facteurs prédictifs d'inactivité (181). Au contraire, une meilleure gestion du diabète était un facteur prédisposant à l'AP (181). Dans le même sens, d'autres auteurs ont montré qu'une bonne qualité de vie, santé physique et mentale était associé positivement au niveau d'AP (157,183).

L'ensemble de ces travaux met en évidence que les niveaux d'AP chez les PvDT1 sont influencés par des facteurs sociodémographiques, psychosociaux et liés à la santé, notamment en termes de gestion du diabète, avec des variations importantes entre individus.

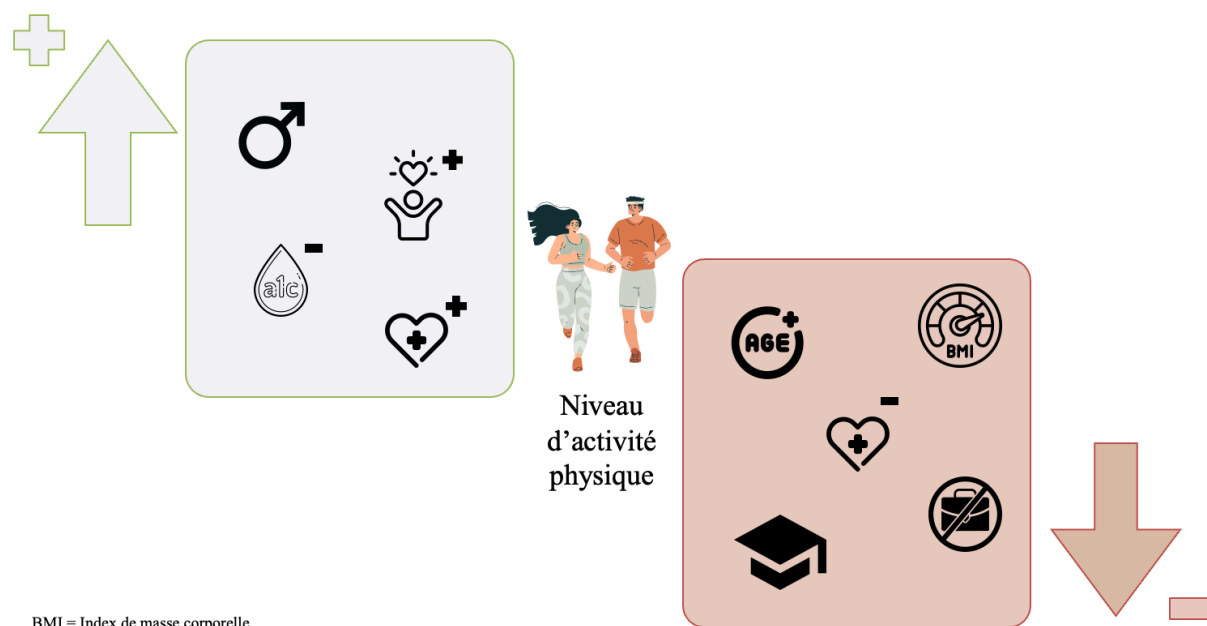


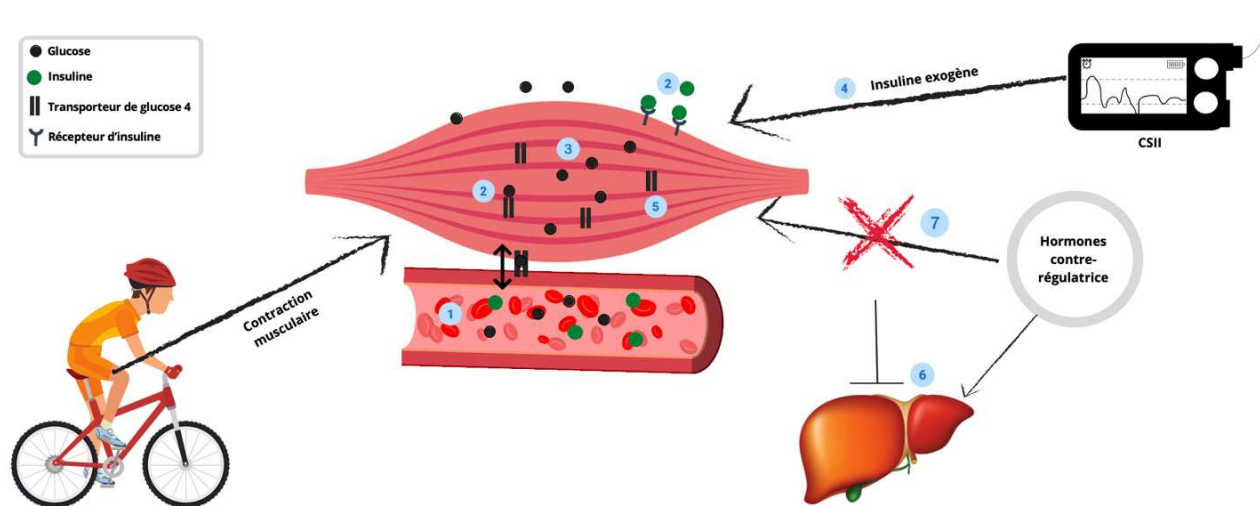
Figure 10 - Facteurs influençant le niveau d'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1 (Figure réalisée sur Canva)

Johansen et al. ont néanmoins rapporté que 78 % des PvDT1 inactives ou légèrement actives souhaiteraient être plus actives (183). Les principales barrières évoquées concernaient les excursions glycémiques et un manque de connaissances sur la gestion de l'insuline et de l'alimentation autour de l'exercice. En effet, l'AP augmente le risque d'hypoglycémie (164) et ce jusqu'à 31h après l'exercice (184,185). Ces éléments soulignent la nécessité de mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques sous-jacents à ces variations glycémiques liés à l'AP.

IV- Physiopathologie du diabète de type 1 en contexte d'activité physique

Tout comme dans la vie quotidienne, le maintien de l'équilibre glycémique pendant l'AP est régulé finement chez les personnes vivant sans diabète notamment par le système nerveux sympathique qui permet l'inhibition de la sécrétion d'insuline (186). Cette réduction de sécrétion d'insuline favorise la sécrétion et l'action du glucagon, stimulant ainsi la libération de glucose par le foie pour répondre au besoin de glucose des muscles (187). Les contractions musculaires activent également des voies métaboliques alternatives (*e.g.* AMPK) permettant une translocation des GLUT4 non-insulinodépendante malgré la baisse de l'insulinémie (188). Grâce à ces actions coordonnées, chez les personnes sans DT1 la glycémie reste stable malgré la demande énergétique accrue générée par l'exercice.

Chez les *PvDT1*, l'insuline est administrée de manière exogène, ce qui empêche toute régulation endogène de ses concentrations en réponse à l'AP. Ainsi, le taux d'insuline circulant ne diminue pas pendant l'AP. Or, l'augmentation du flux sanguin induit par les contractions musculaires favorise l'absorption de l'insuline injectée dans le tissu sous-cutané (137). Cette absorption accrue, combinée à l'absence d'ajustement endogène, entraîne une hyperinsulinémie absolue ou relative, favorisant une entrée massive du glucose dans les cellules musculaires et pouvant conduire à une baisse rapide de la glycémie, voire à une hypoglycémie (189). Parallèlement, la réponse contre-régulatrice est altérée. La sécrétion de glucagon, hormone essentielle à la stimulation de la glycogénolyse et de la néoglucogenèse, est souvent insuffisante, accentuant encore ce risque d'hypoglycémie (189). Après l'exercice, l'organisme restaure ses réserves de glycogène ce qui va contribuer à une nouvelle diminution du taux de glucose sanguin. La combinaison de l'augmentation de la sensibilité à l'insuline et d'une réponse contre-régulatrice altérée induisent un risque d'hypoglycémie persistant (190). L'hypoglycémie constitue ainsi une préoccupation non seulement pendant l'exercice, mais aussi dans les heures suivant l'exercice et est donc un défi majeur de la pratique d'AP pour les PvDT1.



(1) Augmentation du débit sanguin (2) Sensibilité à l'insuline et translocation du transporteur de glucose 4 améliorées par la contraction musculaire (3) Augmentation de l'absorption du glucose (4) Niveaux potentiellement élevés d'insuline circulante si la réduction de l'apport basal en insuline n'est pas appliquée avant et/ou pendant l'activité physique (5) Augmentation supplémentaire de l'utilisation du glucose (6) Inhibition de la production hépatique de glucose entraînant une diminution rapide du glucose (7) Modification de la réponse contre-régulatrice, tandis que la réponse contre-régulatrice restante est à la fois inhibée et peut être largement insuffisante dans un contexte d'hyperinsulinémie relative ou absolue

Figure 11 - Illustration des mécanismes physiologiques du risque d'hypoglycémie lié à l'exercice chez les personnes vivant avec le diabète de type 1 (Figure reproduite en français issue de l'article Molveau et al. (2021) (190))

Inversement, dans certaines conditions, notamment lors d'exercices très intenses ou en cas d'administration insuffisante d'insuline exogène, l'AP peut se traduire par une hyperglycémie (191). Le stress lié à la performance ou à des conditions environnementales extrêmes (comme la chaleur) peut également favoriser cette réponse (191). Dans ces situations, la sécrétion des catécholamines, de cortisol, de glucagon et d'hormone de croissance augmente fortement (192,193). Ces hormones stimulent la glycogénolyse hépatique et la néoglucogenèse, entraînant une libération importante de glucose dans la circulation sanguine (194). En parallèle, l'insuffisance relative d'insuline limite le captage du glucose par le muscle et en restreint l'utilisation, ce qui conduit à une élévation de la glycémie. Ainsi, sur la base de ces mécanismes, Bussau et al. ont suggéré l'ajout de brèves périodes de sprint au cours d'un exercice aérobie pour atténuer le risque d'hypoglycémie (195).

V- La gestion du diabète à l'activité physique

1) Les facteurs influençant la gestion glycémique lors de l'activité physique

Chez le PvDT1 le maintien de la glycémie dans les plages cibles lors de l'exercice constitue un objectif constant. Cependant, l'AP peut entraîner des fluctuations rapides de la glycémie selon le type d'effort (*Figure 12*) (196). Ces différences peuvent s'expliquer par des réponses métaboliques et neuroendocrines distinctes (197,198). En effet, les activités aérobiques, en raison d'une utilisation importante de glucose, favorisent l'hypoglycémie, surtout lorsqu'elles sont prolongées (199). À l'inverse, les exercices de sprint, intermittents ou de résistance stimulent les hormones contre-régulatrices, entraînant une production hépatique accrue de glucose et une moindre utilisation périphérique, ce qui favorise l'hyperglycémie (196,200,201). Pour une même durée d'activité, Riddell et al. ont montré que la glycémie avait diminué de 18 mg/dL [1 mmol/L] pour une AP de type aérobique, 14 mg/dL [0,8 mmol/L] pour une AP intermittente et 9 mg/dL [0,5 mmol/L] pour une AP de type résistance (198). Des résultats similaires ont été rapportés par Reddy et al. (2019), avec une réduction moyenne de la glycémie plus faible au cours d'un exercice de résistance comparativement à un exercice aérobique (202). La durée et le type d'exercice ne sont pas seuls les facteurs à influencer la glycémie durant l'AP. Le moment de l'exercice, la concentration d'insuline présente dans l'organisme, la tendance glycémique avant l'activité, les sites d'injection d'insuline, le mode d'administration (injections vs. pompe) mais aussi la nutrition (à jeun vs postprandial et si post-repas la composition du repas), le sommeil, l'HbA1c, la durée du diabète, les habitudes en AP, le stress, l'âge et le sexe, pour les femmes le statut hormonal (moment du cycle menstruel, ménopause) impactent les variations glycémiques (137,198).

En effet, les hommes auraient également un risque plus élevé d'hypoglycémie par rapport aux femmes après une séance de renforcement musculaire, probablement dû aux réponses à l'hormone de croissance et à l'adrénaline différente chez les hommes et les femmes (203). Le cycle menstruel chez la femme influencerait également différents les variations glycémiques (137). L'entraînement régulier aurait également tendance à augmenter le risque d'hypoglycémie nocturne les jours d'exercice (204). Au contraire, effectuer une AP à jeun ou lorsque le taux d'insuline dans l'organisme (e.g. à jeun) est faible permet de diminuer le risque d'hypoglycémie (137,205). Pratiquer une AP de faible intensité après un repas ou lorsque la glycémie est haute est

particulièrement recommandé car celle-ci a tendance à ramener la glycémie dans la cible (137,206). Plus récemment, Prasanna et al. ont montré que les valeurs de glucose préexercice étaient le prédicteur le plus important de l'hypoglycémie et que finalement la durée et l'intensité de l'AP ainsi que le bolus préexercice étaient faiblement associée au risque d'hypoglycémie pendant l'AP (207).


Type et intensité d'exercice					
	Exercice après le repas, continu, soutenu, prolongé ou avec une faible réponse hormonale au stress	Activités mixtes : sports individuels et sports d'équipe	Exercice anaérobie intense, explosif, compétitif, pratiqué à jeun ou avec une réponse hormonale élevée au stress.		
Réponse glycémique moyenne à l'exercice	↓	↘	→	↗	↑
Besoins en insuline exogène proche de l'exercice	↓	↘	→	↗	↑
Besoins en glucides proche de l'exercice	↑	↗	→	↘	↓

Figure 12 - Aperçu général des tendances glycémiques et des besoins en insuline exogène et en glucides en réponse à l'activité physique chez les personnes vivant avec le diabète de type 1 (Figure reproduite en français issus de l'article de Moser et al. (2024)(207))

2) Les stratégies pour optimiser la gestion glycémique autour de l'exercice

Des stratégies nutritionnelles et insuliniqumique peuvent être mise en place avant, pendant et après l'AP afin d'essayer de réduire les fluctuations glycémiques associées à l'AP. Cependant, la forte variabilité intra et interindividuelle de la réponse glycémique lors de l'AP et les multiples

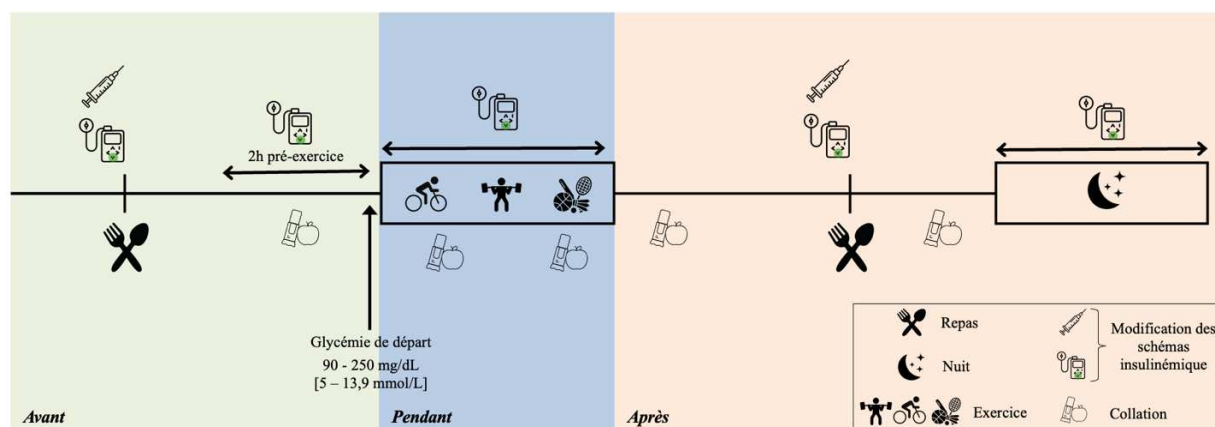
facteurs qui influencent cette réponse compliquent la mise en place des mesures de mitigation (137). Tout d'abord, il est recommandé aux PvDT1 de se situer dans une plage de 126-180 mg/dL [7-10 mmol/L] avant l'AP (137). Cette plage peut être abaissée à 90 - 126 mg/dL [5-6 mmol/L] pour une AP de type résistance ou anaérobie qui est associée à un moindre risque d'hypoglycémie. En revanche, il est conseillé de repousser l'exercice si la glycémie est inférieure à 90 mg/dL [5 mmol/L] ou supérieure à 270 mg/dL [15 mmol/L] (excepté une activité légère en l'absence de cétones).

Pour les **exercices planifiés**, si l'exercice est réalisé en période post-prandiale (<3h post-repas) une réduction du bolus d'insuline de 25 à 75 % lors du repas précédent peut être envisagée en fonction du type et de la durée de l'AP (137) (*Figure 13*). Avec certains modes d'administration de l'insuline (ex. CSII, AID) il est aussi possible de réduire l'insuline basale jusqu'à 120 minutes avant l'exercice (137,208). Si ces mesures ne suffisent pas, il est conseillé de prendre des collations avant, pendant ou après l'exercice en fonction des valeurs glycémiques. En cas d'**AP non planifiée**, il est conseillé de viser une cible glycémique plus élevée et de consommer 10–20 g de glucides au début de l'exercice si la glycémie est basse et qu'une baisse est anticipée (208). La quantité de glucides à consommer est ajustée selon la glycémie, le type, l'intensité, la durée de l'AP et aussi du type d'administration de l'insuline. Lorsque cela est possible (ex. CSII, AID), il est aussi recommandé de mettre en place des mesures tels que la réduction du débit de base dès le début de l'AP surtout si celle-ci va durer plus de 30 min.

Pendant l'AP, une surveillance des glycémies toutes les 20–30 minutes est conseillée. Les CGM facilitent grandement cette surveillance même si leur précision est un peu plus faible pendant l'AP (209). Cette surveillance des glycémies et de leur évolution permet de petites prises de glucides (3–20 g) en fonction des flèches de tendance et si la glycémie est < 126 mg/dL (7 mmol/L) (208) (*Figure 13*). Certaines modalités d'administration de l'insuline comme les systèmes AID nécessitent beaucoup de prudence pour la quantité de glucides requise afin de ne pas induire une administration d'insuline qui va ensuite majorer le risque d'hypoglycémie (190). De façon plus générale, Riddell et al. (2017) recommandent 0,5 à 1 g/kg/h de glucides selon le type, l'intensité et la durée de l'exercice (137). La répartition de ces glucides à intervalle réguliers plutôt qu'en une fois pourrait contribuer à minimiser les fluctuations glycémiques associée à l'AP (210). **Après l'AP**, une collation de 1 à 2 g/kg de glucides peut être recommandée (137). Le bolus d'insuline du

repas suivant peut être réduit de 20 à 50 % et la prise d'une collation au coucher peut être envisagée (*Figure 13*) (211). Une diminution de 20 % de l'insuline basale durant la nuit suivant l'exercice chez les PvDT1 utilisant une pompe ou une insuline basale dont la durée d'action est inférieure à 24h (ex. Glargine), peut également être envisagée afin de limiter le risque d'hypoglycémie nocturne.

Les PvDT1 doivent donc combiner de multiples stratégies pour ajuster l'insuline exogène, prendre des collations avant, pendant et après l'AP. Savoir combien, quand et comment combiner ces stratégies nécessite de l'expérience et de multiples essais-erreurs. La *Figure 13* illustre les ajustements possibles pour un exercice réalisé entre deux repas. Il est également important de noter que le sexe influence les stratégies privilégiées pour maintenir une glycémie stable pendant l'AP. En effet, les hommes privilégient les apports en glucides alors que les femmes préfèrent les réductions de dose (212).



Notes : plusieurs stratégies peuvent être combinées. Cette liste n'est pas exhaustive.

Figure 13 - Représentation des stratégies d'ajustement insulinémique et nutritionnel possible autour de l'exercice (Figure inspirée de la figure de Taleb et al. (2016) (209))

Pour les utilisateurs d'un système AID, une récente déclaration de position de l'EASD et l'ISPAD a permis d'établir de nouvelles recommandations propres à chacun des systèmes commercialisés (208). De manière générale, si l'AP est planifié, il est recommandé de fixer un objectif de glucose plus élevé 1 à 2h avant l'activité (souvent appelé mode AP), si une diminution de la glycémie est attendu ou de fixer un objectif de glucose classique ou inférieur pour une augmentation de la glycémie. Si celle-ci est prévu dans les 2h suivant un repas riche en glucides, une réduction du bolus de 25 à 33 % peut également être effectué (208).

3) Les bénéfices et limites des nouvelles technologies dans la gestion de l'AP

Les nouvelles technologies (e.g. CGM, CSII, AID) jouent un rôle important pour minimiser les variations glycémiques en permettant une meilleure anticipation et une plus grande souplesse et de multiples possibilités d'ajustement insulinémique avant, pendant et après l'AP. Selon Rilstone et al. (2024), les CGM permettent de voir le profil glycémique pendant et après l'AP et les alarmes pourraient permettre de réduire le temps en hypoglycémie de niveau 2 dans les 24 heures post-exercice (213). Dans le même sens, les pompes à insuline, permettant une plus grande souplesse dans les ajustements insulinémique, permettent également une réduction du temps passé en hyperglycémie après l'AP (214). Une récente étude de Turner et al. (2025) a montré qu'utiliser la fonction exercice du AID « Omnipod 5 » 30 ou 60 minutes avant l'AP avait permis de diminuer l'administration de l'insuline et atténuer les baisses de glucose (215). En revanche, l'incidence de l'hypoglycémie restait comparable.

Bien que prometteuse ces technologies pourraient encore être améliorées lorsque la glycémie varie rapidement par exemple pendant l'AP. Cependant il est important de garder en tête que les glycémies interstitielles mesurées par le CGM impliquent un temps de latence comparativement aux glycémies sanguines, ce délai peut être majoré pendant les variations rapides de la glycémie comme pendant l'AP et enfin l'AP pourrait aussi influencer les mesures à cause des modifications du débit sanguin sous cutané. Il faut donc interpréter les valeurs et les variations enregistrées par le CGM avec prudence et en tenant compte de ces facteurs (216). D'autres approches notamment de prédiction glycémique basées sur l'apprentissage automatique avec l'intelligence artificielle commencent à être développées mais nécessite souvent d'être associée à des capteurs d'AP pour augmenter leur fiabilité (217–220). Cependant, ces nouvelles technologies ne peuvent pas toujours être utilisées, notamment lors des sports de combat ou la plongée ou celles-ci doivent être débranchées (221). Ces outils, visibles du grand public, peuvent également renforcer le sentiment de la maladie et la stigmatisation entraînant dans certains cas l'arrêt de leur utilisation (221).

De multiples connaissances sont nécessaires pour minimiser les fluctuations glycémiques et de façon surprenante les PvDT1 qui ont le plus de connaissances ne rapportent pas moins d'hypoglycémie possiblement parce qu'ils sont plus tolérants avec ce risque (222). Pour la majorité des PvDT1 les recommandations restent peu utilisées (223) et les nombreux facteurs influençant la glycémie, associée à la forte variabilité glycémique à l'AP inter et intra-individuelle les conduisent souvent à fonctionner avec l'essai-erreur pour tenter de trouver la ou les bonnes stratégies (137,224). Malgré les progrès notables de ces dernières années, une étude récente a montré que 86 % des participants déclaraient être confrontés fréquemment à des hypoglycémies liées à l'exercice (223).

VI- Les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1

L'AP présente de nombreux bénéfices, mais la proportion de personnes atteignant les recommandations de durée et de fréquence d'AP demeure faible, tant dans la population générale que chez les PvDT1 (174). Ces faibles niveaux de pratique ont conduit plusieurs équipes de recherche à explorer les barrières à l'AP. Dans la population générale, le manque de temps apparaît comme la barrière la plus fréquemment rapportée aussi bien chez les adultes que chez les adolescents (225–231). D'autres obstacles sont également régulièrement cités, tel que le manque de motivation, le coût, l'absence d'installation sportive à proximité ou encore le fait de se sentir trop fatigué (225–231). Les femmes et les filles, plus exposées aux barrières à l'AP que leurs homologues masculins, rapportent également le manque de plaisir anticipé, une perception négative de leur corps ou de leur capacité physique, ainsi qu'une préférence pour d'autres activités comme obstacles à la pratique (226,227).

Chez les PvDT1, bien qu'il soit largement démontré que l'AP procure de nombreux bénéfices, elle implique également des contraintes spécifiques liées à la gestion du diabète, en particulier le risque d'hypoglycémie pendant et après l'exercice (137). Ainsi, des barrières liées à la gestion du diabète viennent s'ajouter aux obstacles déjà identifiés dans la population générale. Dès 2004, Thomas et al. se sont intéressés aux raisons de l'inactivité physique chez les PvDT1 et les PvDT2 (232). Comme dans la population sans diabète, la difficulté à faire de l'exercice, la fatigue, le

manque de temps et l'absence d'installations sportives locales ont été rapporté comme principales barrières. Les personnes peu actives étaient moins susceptibles de pratiquer en cas de mauvais temps, de fatigue ou s'ils avaient d'autres projet, et percevaient l'exercice intense comme risque d'hypoglycémies (232). Depuis, de nombreuses études qualitatives menées chez les PvDT1 ont confirmé que le manque de temps, de motivation et d'intérêt étaient les barrières les plus fréquemment rapportés par les participants, auxquelles s'ajoutent l'hypoglycémie et la gestion du diabète (*Tableau 1*) (183,224,233–237). Planifier, prédire et gérer la glycémie pendant l'exercice a également été décrit comme un frein à la motivation par Kime et al. (2018) (224). La gêne de devoir révéler son diabète ou la crainte d'être traité différemment, notamment dans les cours collectifs et les salles de sport, ont aussi été évoqué comme frein à la pratique (224). Par ailleurs, près de 50 % des participants de l'étude de Kennedy et al. ont déclaré avoir réduit leur AP depuis le diagnostic, et près de 30 % ont rapporté que leur professionnel de santé leur avait conseillé de ne pas faire d'exercice (233). Le manque d'informations sur la gestion du diabète pendant l'AP et la nécessité d'agir par essais/erreurs sont également souvent cités comme freins (233,234,236,237). Ferreira et al. (2023) ont montré que les personnes pratiquant une AP régulière exprimaient davantage de craintes d'une aggravation de la glycémie, de manque de soutien social, de contraintes professionnelles et de manque de temps libre comme freins que celles qui ne faisaient pas d'AP (235). Les patients sont en demande de plus d'informations pour gérer efficacement leur diabète pendant l'AP (224,236,237). Ils rapportent également une difficulté importante avec les AP non planifiées (233,236). Au contraire, les facilitateurs étaient leur culture, les conseils ou le support dans l'AP ainsi que les ateliers sur la gestion du diabète pendant l'AP (224).

<i>Auteurs</i>	<i>Population</i>	<i>Type de mesure</i>	<i>Barrières à l'activité physique</i>
<i>Thomas et al.</i> (2004)	Adultes vivant avec le diabète (57 ans) 45% de femmes N= 406 (77 DT1)	Modèle « Health Belief »	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté de l'exercice • Fatigue • Manque de temps • Absence d'installations sportives
<i>Lascar et al.</i> (2014)	Adultes (41±14 ans) 46% de femmes N=26	Entretien semi-structuré	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de temps (N=12) • Peur de l'échec et niveau d'AP (N=6) • Manque de motivation et d'intérêt, accessibilité aux structures sportives et conditions météorologiques (N=4)
<i>Kime et al.</i> (2018)	Adultes (56 ans d'âge moyen) 36% de femmes N=67	Groupe de discussion + entretien semi-structuré	<ul style="list-style-type: none"> • Hypoglycémie • Motivation notamment dû aux faites qu'il va falloir planifier, prédire et gérer la glycémie • Gêne liée au diabète : devoir révéler son diabète à la salle de sport ou leur de cours collectif

<i>Kennedy et al.</i> (2018)	Adultes (29 ans d'âge médian) 27% de femmes N=15	Groupe de discussion + entretien semi-structuré (face-à-face ou téléphonie)	<ul style="list-style-type: none"> • Hypoglycémie pendant et après l'AP et engagement professionnel (N=9) • Manque de confiance pour gérer les hypoglycémies autour de l'AP et engagement personnel (N=7) • Besoin de planifier l'AP, fatigue, coût, disponibilité et accessibilité aux structures (n=4)
<i>Oser et al.</i> (2019)	Données issues des réseaux sociaux N = 67 publications et 717 commentaires	Commentaires blogs + entretien téléphonique	<ul style="list-style-type: none"> • Impact de l'hypoglycémie sur l'AP (interruption, altération) • Besoin de planifier l'AP avec le DT1
<i>Ferreira et al.</i> (2023)	Adultes sous pompes à insuline (30±12 ans) 52% de femmes N = 95	Questions sur les barrières à l'AP [1 à 4]	<ul style="list-style-type: none"> • Peur de l'hypoglycémie (2,5±1,1) • Manque de temps libre (2,5±1,2) • Emploi du temps professionnel (2,4±1,2)
<i>Custy et al.</i> (2024)	Adolescents (13-18 ans) 50% filles N=16	Questionnaires PAQ + entretien semi-structuré (modèle Adu et al.)	<ul style="list-style-type: none"> • Fardeau du DT1 • Manque de connaissance pour la gestion du DT1 • Impact social négatif • Difficulté technologique • Difficulté d'organisation & planification • Difficulté pour appréhender les réponses physiologique
<i>Logan et al.</i> (2024)	Adultes (39±12 ans) 50% femmes N=20	Entretien semi-structuré	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de temps, d'énergie ou de motivation • Accès limité à des espaces pour faire de l'AP (surtout en hiver) • Peur de l'hypoglycémie • Fardeau de la gestion de la glycémie à l'AP : taux de glucose imprévisible, mise en place de stratégies, hypoglycémie nocturne
<i>Fulgsang et al.</i> (2024)	Adultes N = 332	Questions sur les barrières à l'activité physique	<ul style="list-style-type: none"> • Travail (32%) • Vie privée, manque de temps libre (29%) • Manque de motivation (16%) • Peur des variations de glycémie liées à l'activité physique (13%)

Tableau 1. – Études qualitatives portant sur les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1

Dubé et al. (2006) ont développé un questionnaire spécifique pour mesurer les barrières à l'AP pour les PvDT1 : le « Barriers to Physical Activity in Diabetes type 1 (BAPAD1) » (238). Composé de 11 à 13 items selon les versions, ce questionnaire est désormais largement utilisé dans la littérature (175,212,239–246). Parmi l'ensemble des obstacles étudiés, la peur de l'hypoglycémie émerge régulièrement comme la principale barrière à l'AP (*Tableau 2*) (175,212,239–246). Mais comme dans les études avec la population générale ou différentes sortes de diabète, les horaires de travail, la peur de perte de contrôle du diabète mais aussi les conditions météorologiques font également partie des freins les plus rapportés (175,212,239–246). Le BAPAD1 permet également

de calculer un score global, facilitant l'analyse des liens entre divers paramètres cliniques et psychosociaux et les barrières à l'AP. Des barrières à l'AP plus importantes ont été observées chez les personnes présentant un moins bon contrôle glycémique, des connaissances limitées sur l'insulinothérapie et les stratégies d'AP, un soutien social réduit, un âge plus avancé, le fait d'être une femme, une proportion de masse grasse plus élevée ou encore un temps accru passé en hypoglycémie nocturne post-exercice (175,212,239,243,246). À notre connaissance, une seule étude s'est intéressée à l'évolution des barrières à l'AP dans le temps (244). Elle a révélé une augmentation de la peur de l'hypoglycémie au fil du temps chez les adolescents suivis.

<i>Auteurs</i>	<i>Population</i>	<i>Barrières à l'activité physique</i>	<i>Associations – Autres résultats</i>
<i>Brazeau et al.</i> (2008)	Adultes (44±12 ans) 50% de femmes N=100	BAPAD1 score = 2,5±1,0 1) Peur de l'hypoglycémie (3,6±2,0) 2) Emplois du temps de travail (3,1±2,0) 3) Peur de perte de contrôle du diabète (2,8±1,8) 4) Faible niveau d'AP (2,8±2,9)	- Bien-être, connaissance de la pharmacocinétique de l'insuline, mise en œuvre de stratégies visant à réduire le risque d'hypoglycémie induite par l'exercice physique et un soutien social accru étaient associés à moins d'obstacles (all, $p<0,05$) - Contrôle glycémique (HbA1c) était positivement corrélé au score total BAPAD1 ($p<0,05$; $r=0,20$)
<i>Jabbour et al.</i> (2016) (a)	Enfants (9±4 ans) N=58 Adolescents (15±2 ans) N=143	BAPAD1 score = 1,6±0,9 1) Peur de l'hypoglycémie (2,5±1,2) 2) Peur de perte de contrôle du diabète (2,5±1,8) 3) Emplois du temps (2,5±1,9) BAPAD1 score = 1,7±1,2 1) Peur de l'hypoglycémie (3,2±1,9) 2) Conditions météorologiques (2,9±2,6) 3) Peur de perte de contrôle du diabète (2,4±1,7)	- Manque de soutien parentale est associé avec plus de barrières à l'AP (all, $p<0.001$; $r=0,71$ pour les enfants & $r=-0,65$ pour les adolescents) - Environ 90% des enfants et des adolescents ont déclaré que les parents décourageaient l'AP dans les deux groupes
<i>Keshawariz et al.</i> (2018)	Adultes DT1 (49±9 ans) 52% de femmes N=44	1) Peur de l'hypoglycémie (25%) 2) Peur de perte de contrôle du diabète (21%)	- Participants plus jeunes avec plus d'obstacles - Les participants avec des barrières à l'AP pratiquaient moins d'AP
<i>Livny et al.</i> (2019)	Enfants et adolescents (14±4 ans) 52% de femmes N=96	BAPAD1 = 5,8±1,0 1) Peur de l'hypoglycémie (76%) 2) Faible niveau d'AP (51%) 3) Condition météorologique	- Barrières à l'AP étaient corrélées négativement à l'HbA1c ($p<0,01$; $r=-0,30$) - Aucune différence n'a été observée avec l'utilisation de CGM ($p<0,05$)
<i>André et al.</i> (2019)	Adultes (45±15 ans) 60% de femmes N=20	BAPAD1 score = 2,1±1,4 1) Peur de l'hypoglycémie (4,0±1,8) 2) Emploi du temps de travail (3,7±2,0) 3) Conditions météorologiques (2,7±1,7)	- Corrélation négative entre le BAPAD1 score et l'âge ($P<0,05$; $r=-0,50$) - Tendance à la peur de l'hypoglycémie plus importante pour les utilisateurs de CGM par rapport aux non-utilisateurs (CGM : 4,13±1,85 vs. Non-CGM : 3,60±1,67 ; $p=0,07$)

<i>Jabour et al.</i> (2020)	Enfants (7,1±0,6 ans) 45% femmes N=28	BAPAD1 score = 2,1±1,4 1)Peur de l'hypoglycémie (2,7±1,4) 2)Conditions météorologiques (2,6±1,6) 3)Peur de perte de contrôle du diabète (2,2±1,6)	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune différence significative entre les enfants et les adolescents - Les adolescents ont attribué un score de 4 ou plus sur les barrières spécifiques au diabète deux fois plus élevé que les enfants - La barrière « peur de l'hypoglycémie » a augmenté entre les deux visites (p<0,001)
	Adolescents (15,2±03 ans) 43% femmes N=33	BAPAD-1 score = 2,3±1,3 1) Peur de l'hypoglycémie (3,1±1,9) 2) Peur de perte de contrôle du diabète (2,8±1,8) 3) Emplois du temps (2,6±1,2) Conditions météorologiques (2,6±1,6)	
<i>Prévost et al.</i> (2022)	Adultes 64.2% femmes N= 584	1)Peur de l'hypoglycémie (homme : 3,2±2,0 et femme : 4,0±2,0 ; p<0,01) 2)Conditions météorologiques (homme : 3,3±2,0, femme : 3,8±2,0 ; p<0.05)	<ul style="list-style-type: none"> - Les femmes perçoivent davantage de barrières à l'AP.
<i>Finn et al.</i> (2022)	Adultes (39 ans d'âge médian) 53% de femmes N=72	BAPAD1 score = 2,4±1,0 1)Peur de l'hypoglycémie (3,4±2,0) 2)Faible condition physique (2,9±1,9) 3)Conditions météorologiques (2,8±1,9)	<ul style="list-style-type: none"> - Les barrières à l'AP (BAPAD1 score) était corrélé positivement avec le pourcentage de masse grasse et la masse grasse.
<i>Alobaib et al.</i> (2023)	Adultes vivant avec et sans insulino-résistance, N=85	BAPAD1 score = 3,3±0,8 1)Peur de l'hypoglycémie (4,2±1,8) 2)Peur de l'hyperglycémie (4,1±1,6) 3)Faible niveau d'AP (4,1±1,3)	
<i>Parent et al.</i> (2023)	Adultes (33±11 ans) 32% de femmes N= 62	1)Peur de l'hypoglycémie (3,5±1,7) 2) Conditions météorologiques (3,1±1,9) 3)Peur de perte du contrôle du diabète Localisation des salles de sports Niveau faible d'AP (2,9±1,7)	<ul style="list-style-type: none"> - Plus les enfants/adolescents passaient de longues périodes en hypoglycémie au cours des nuits qui suivaient les séances d'AP, plus ils déclaraient que le risque d'hypoglycémie était un obstacle ($\beta = +0,365$, $p = 0,034$). - Plus les adultes avaient une proportion de séances d'AP accompagnées d'une baisse de la glycémie, moins l'hypoglycémie était un obstacle ($\beta = -0,046$, $p = 0,004$).
	Enfants (12±3 ans) 45% de femmes N= 53	1)Peur de l'hypoglycémie (3,9±2,1) 2)Peur de perte de contrôle du diabète Peur de l'hyperglycémie (2,8±2,0) 3)Conditions météorologiques (2,6±1,8)	

Tableau 2. – Études ayant recours au questionnaire BAPAD1 pour mesurer les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1

En conclusion de cette partie, l'AP, quelle qu'en soit la forme, constitue un levier majeur de santé physique et psychique pour PvDT1 (comme pour la population générale). Néanmoins, la pratique d'AP reste très hétérogène. Parmi les causes de ce manque d'activité, les variations glycémiques souvent imprévisibles induites par l'exercice, et dépendantes de multiples facteurs (type, intensité et durée de l'effort, insuline à bord, stress, moment de la journée, etc.), constituent un frein majeur. Les nouvelles technologies (CGM, CSII, AID) ont néanmoins permis d'affiner les recommandations et d'améliorer la gestion glycémique à l'exercice. Or, la majorité des PvDT1 ne semblent pas connaître ou appliquer les stratégies permettant de limiter le risque d'hypoglycémie pendant et après l'effort, traduisant un manque d'éducation spécifique à l'AP. Ce frein physiopathologique (risque hypo- et hyperglycémies) n'est pas le seul, comme la population générale, les PvDT1 rapportent le manque de temps, de motivation, la charge organisationnelle ou encore le manque de connaissances comme principales barrières à la pratique d'AP. Ces éléments rappellent que favoriser l'AP chez les PvDT1 ne relève pas seulement de la physiologie, mais aussi d'une compréhension fine de leurs barrières, en tenant compte notamment de leur mode de traitement, de leurs caractéristiques sociodémographiques et de leur profil clinique. Il apparaît également essentiel d'évaluer dans quelle mesure une intervention éducative centrée sur l'AP pourrait contribuer à réduire ces barrières.

Chapitre 2 – Problématique

I- Problématique

De nombreuses PvDT1 n'atteignent pas les recommandations en termes d'AP malgré les bénéfices que peut apporter celle-ci sur leur santé. De nombreuses études ont documenté cette problématique mais la majorité datent de 10 ans ou plus. Au cours de la dernière décennie, la prise en charge du DT1 a été profondément modifiée par la disponibilité et la démocratisation des technologies telles que le CGM, les pompes et les systèmes AID. Il est donc nécessaire de revoir les barrières à la pratique de l'AP perçues chez les PvDT1 dans le contexte actuel. Comment ces barrières sont-elles influencées par la gestion de la maladie et les caractéristiques sociodémographiques ? Y-a-t-il des facteurs prédictifs à l'augmentation ou la diminution des barrières pour la pratique de l'AP ? Ces barrières peuvent-elles être diminuées par une intervention en activité physique ?

II- Objectifs généraux

Les objectifs de cette thèse sont, d'une part, de mettre à jour les connaissances sur les barrières à l'AP chez les PvDT1 et d'évaluer l'influence des caractéristiques sociodémographiques et spécifiques à la maladie sur ces barrières dans le contexte thérapeutique actuel. D'autre part, il s'agit de déterminer si un programme de promotion de l'activité physique diminue les barrières à l'AP chez les PvDT1. Pour répondre à ces objectifs, trois études ont été mises en place :

Étude 1 : *Une étude descriptive sur les barrières à l'AP chez les PvDT1*

Étude 2 : *Une étude prospective évaluant l'évolution de ces barrières dans le temps*

Étude 3 : *Une étude sur l'impact d'un programme de promotion à l'AP sur les barrières à l'AP chez les PvDT1*

Cette démarche a pour but d'obtenir une vision d'ensemble des barrières à l'AP et de développer un nouveau questionnaire mieux adapté aux réalités actuelles. Ces analyses visent également à développer de nouvelles stratégies ciblées en fonction des besoins et des spécificités de chaque PvDT1 pour surmonter efficacement les barrières à l'AP et favoriser un engagement dans une AP régulière.

Chapitre 3 – Méthodes et résultats

I- Méthodologie générale

Pour répondre à ces objectifs, les deux premières études s'appuient sur le registre BETTER, et la troisième sur les données de l'étude PEP-1. Ces trois études s'intéressent aux barrières perçues pour la pratique de l'AP en utilisant le même questionnaire, BAPAD1.

1) Le registre BETTER

Le registre BETTER est un registre en ligne à destination des PvDT1 vivant au Canada, établi depuis 2019 (<https://type1better.com/fr/le-projet-better/le-registre>). Le registre a été coconstruit avec des patients partenaires, des chercheurs et des décideurs. Ce registre a pour objectif d'effectuer des recherches, mais aussi d'améliorer les soins, l'accès aux traitements et aux technologies. En s'inscrivant au registre, les participants ont accès à de nombreux articles, webinaires et outils pour améliorer leurs connaissances sur le diabète aussi bien sur l'AP, l'alimentation, la santé mentale, le vieillissement ou encore les finances... Le registre est présent sur les principaux réseaux sociaux (e.g. Facebook, Instagram, LinkedIn).

Les PvDT1 peuvent procéder à leur inscription seul directement sur le site internet du registre ou accompagné par les membres de l'équipe de recherche lors d'actions menées dans les hôpitaux, les cliniques et leurs d'événements sur le DT1 au Canada. À leur inscription, parents d'enfant PvDT1 (13 ans et moins) et PvDT1 (14 ans et plus) complètent une première phase des questionnaires. Les PvDT1 (14 et plus) sont ensuite invités à compléter deux autres phases optionnelles de questionnaires et également de partager leurs données de CGM, leurs tests sanguins, la liste de leur médicament, leur tour de taille ainsi que porter un podomètre (StepsCount

Piezo RxD) et enfin de compléter un journal alimentaire (rappel alimentaire sur 24 heures de l'Institut sur la nutrition et les aliments fonctionnels). En dehors du questionnaire de base toutes les autres contributions sont optionnelles. De plus, afin de suivre l'évolution dans le temps chaque année, les PvDT1 peuvent répondre à un questionnaire annuel et partager certaines données. Cette phase annuelle est elle aussi optionnelle.

La première phase obligatoire de questionnaire comprend des données sociodémographiques, l'historique de la maladie, le traitement et les complications liées au diabète (e.g. localisation, revenu, hypoglycémie sévère, utilisation CGM...). La deuxième phase optionnelle du questionnaire comprend des questions sur l'historique familial et les données de santé (e.g. poids, taille, médication, le traitement et la gestion des hypoglycémies et des hyperglycémies) à l'aide de questionnaires validés scientifiquement. La phase finale optionnelle de questionnaire comporte des questions sur les habitudes de vie telles que le sommeil, le support social, l'AP mais aussi l'humeur toujours à l'aide de questionnaires validés scientifiquement. L'essentiel des données sont donc auto-rapportées.

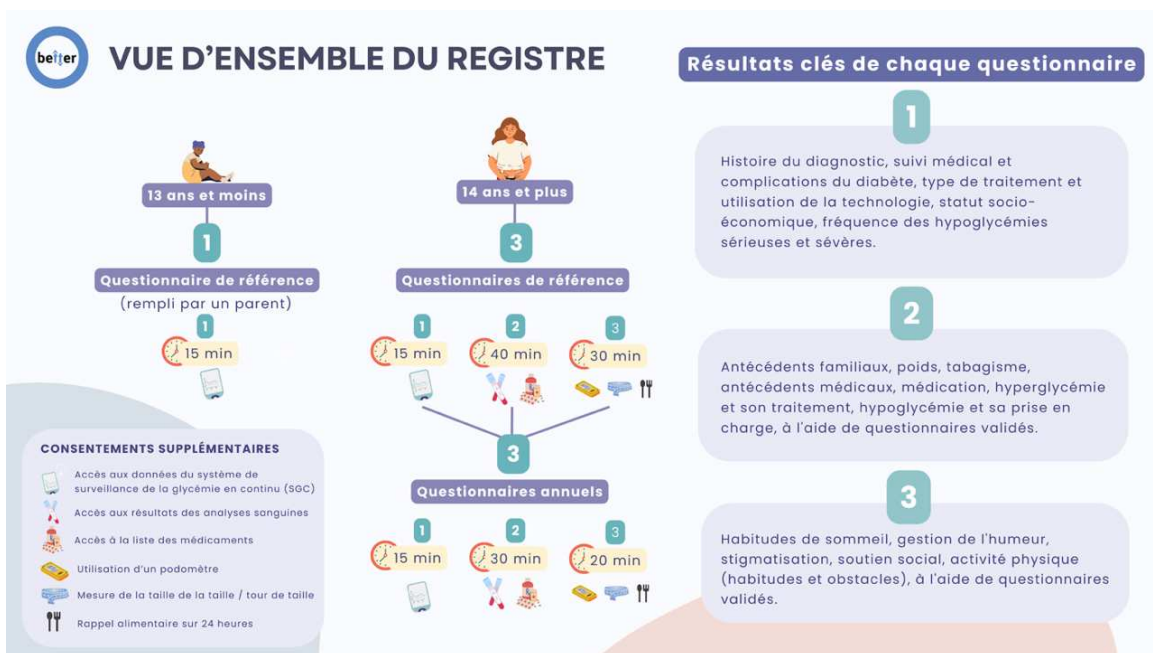


Figure 14 - Représentation du registre BETTER (Image produite par Sarah Haag)

2) L'étude PEP-1

L'étude PEP-1 est une étude clinique menée chez des PvDT1 qui a eu lieu entre 2013 et 2014 au sein de la plateforme de recherche en obésité, métabolisme et diabète (PROMD) de l'IRCM. Le recrutement a été réalisé au sein des cliniques externes du CHUM et l'IRCM, ainsi que par des annonces sur le site internet de Diabète Québec.

Les critères d'inclusion étaient : être apte à donner un consentement éclairé, d'être âgé de 18 ans ou plus, présenté un IMC compris entre 17 et 35 kg/m², avoir un diagnostic de DT1 depuis ≥ 6 mois, d'être inactif (<150 minutes d'AP par semaine) et d'avoir une HbA1c comprise entre 6 % et 12 %. Les critères d'exclusion comprenaient : la présence de complications sévères (rétinopathie, neuropathie et néphropathie), une incapacité cognitive (e.g. altération de la compréhension adéquate ou la coopération à l'étude), un antécédent récent de troubles cardiaques (e.g. arythmie, angine, infarctus), une incapacité physique (e.g. hémiplégie, arthrose sévère) ou une grossesse en cours.

L'objectif principal de cette étude était d'augmenter la dépense énergétique totale quotidienne grâce à un programme hebdomadaire de promotion de l'AP de groupe sur 12 semaines, tout en évitant l'augmentation du risque d'hypoglycémie (247). Les participants étaient randomisés en deux groupes, un groupe témoin et un groupe entraînement. Les deux groupes ont reçu deux brochures d'intervention (été et hiver) sur les bénéfices de l'AP et ces conseils pratiques pour intégrer l'AP dans son quotidien ainsi qu'un podomètre comme outil motivationnel. Le groupe entraînement a bénéficié d'une séance individualisée avec le kinésiologue (analyse des résultats obtenus lors de l'évaluation physique initiale et mise en place des objectifs pour le programme d'entraînement) et d'un programme d'entraînement de groupe hebdomadaire d'une durée de 12 semaines. Les séances d'entraînement, organisés par groupes de 5 à 10 personnes, duraient 90 minutes : 30 min de discussion sur l'AP et la gestion glycémique, suivies de 60 min d'AP variée (ex. endurance, résistance).

Les participants ont été évalués à trois reprises : avant l'intervention, après les 12 semaines d'intervention ou de suivi et 9 mois après la fin du programme (*Figure 15*). Les visites d'évaluation comprenaient : une mesure de l'aptitude aérobie ($\dot{V}O_{2pic}$) et musculaire (dynamomètre), une

mesure de la composition corporelle (DXA) et des mesures anthropométriques, mesure du profil métabolique (pression artérielle, bilan lipidique et l'hémoglobine glyquée, variabilité glycémique), la fréquence et la gestion des hypoglycémies ainsi qu'un journal alimentaire. Les participants ont également complété des questionnaires sur leur bien-être et leur qualité de vie (248) ainsi que leurs barrières à l'AP (238). Dans le cadre de cette thèse, seul le questionnaire des barrières à l'AP a été analysé.

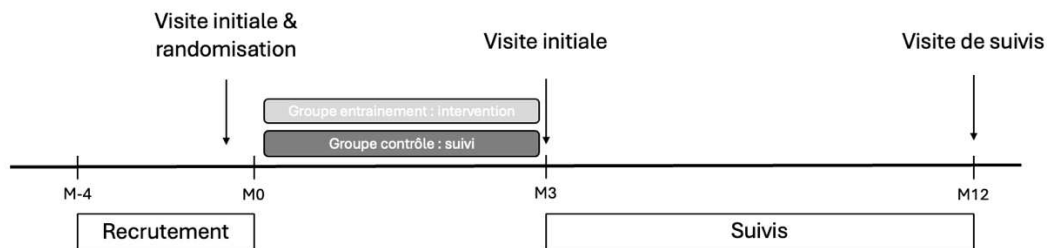


Figure 15 - Déroulement de l'étude PEP-1

3) Le questionnaire BAPAD1

Le questionnaire BAPAD1 est un questionnaire qui a été développé et validé scientifiquement par l'équipe de Dubé et collaborateurs en 2006 (238). Il est composé d'une question : « Est-ce que vous considérez que les facteurs suivants pourraient vous décourager à pratiquer régulièrement une ou des activités physiques au cours des 6 mois prochains ? » et de 13 énoncés :

- | | |
|---|---|
| 1. la perte de contrôle de votre diabète, | 8. le risque d'hyperglycémie, |
| 2. le risque d'hypoglycémie, | 9. votre état de santé excluant le diabète, |
| 3. la peur d'être fatigué, | 10. la température extérieure, |
| 4. la peur de vous blesser, | 11. la proximité des centres sportifs, |
| 5. la peur de faire un infarctus, | 12. avoir un ou des enfant(s) à charge*, |
| 6. la mauvaise condition physique, | 13. votre horaire de travail*. |
| 7. le fait d'être diabétique, | |

Pour chaque énoncé, le participant doit choisir entre 7 réponses : « extrêmement improbable (1) » ; « très improbable (2) » ; « légèrement improbable (3) » ; « ni probable ni improbable (4) » ; « légèrement probable (5) » ; « très probable (6) » ; « extrêmement probable (7) » (*Figure 16*). Des analyses sur le score BAPAD1, basé de la moyenne des scores des 11 premiers items, ont été effectuées pour les 3 études. Les items « avoir un ou des enfant(s) à charge » et « votre horaire de travail » ne sont pas inclus dans ce score (249). Pour l'étude 1, un item avec un score de 5 ou plus était considéré comme une barrière à l'AP (*Figure 16*) (244,250).

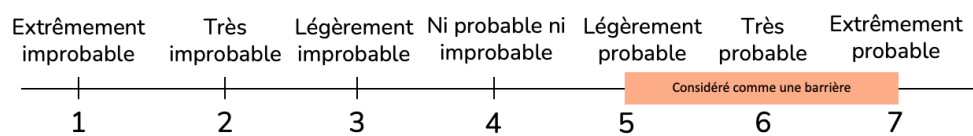


Figure 16 - Échelle de perception des items comme barrière à l'activité physique

II- Article 1 : Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies : An Analysis from the BETTER registry (publié)

Avant-propos

Ce premier article de thèse avait pour objectif de mettre à jour les barrières à l'AP perçues par les PvDT1. En effet, les dernières décennies ont été marquées par le développement de nouvelles technologies pour aider les PvDT1 à mieux vivre avec leur diabète. Néanmoins, l'étude de référence sur les barrières à l'AP perçues restait l'étude de Brazeau et al. (2008) où les CSII, les CGM et les systèmes AID restaient largement sous utilisés (239). Ainsi, grâce au registre BETTER, nous avons cherché à 1) mettre à jour les barrières à l'AP chez les PvDT1, 2) comparer les barrières à l'AP en fonction des différents modes de traitement et 3) établir de nouvelles associations entre les barrières à l'AP perçues et les caractéristiques socio-démographiques/facteurs spécifiques de la maladie.

Contributions détaillées

Pour cette étude, j'ai d'abord rédigé la première version du protocole d'accès aux données du registre BETTER avec le soutien du Dr. Rabasa-Lhoret, de la Dr. Anne-Sophie Brazeau et des coordinatrices de recherches Virginie Messier et Valérie Boudreau. Ce protocole a ensuite été affiné lors de rencontres avec les patients partenaires du registre BETTER. J'ai ensuite pu procéder à la classification par groupe, aux analyses des données puis à l'écriture de la première version du manuscrit. Celui-ci a été relu par l'ensemble des co-auteurs avant que je puisse éditer la version finale de l'article pour soumission dans le journal « Diabetes & Metabolism ». Je me suis occupée des révisions mineures ainsi que de la réponse au reviewers aidé par les Dr. Rémi Rabasa-Lhoret, Dr. Sémah Tagougui, Dr. Laure Alexandre-Heymann et Dr. Valérie Boudreau. À noter que cet article a également été présenté lors du congrès international de l'American Diabetes Association (ADA) en Juin 2024 à Orlando.

Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies : An Analysis from the BETTER registry

C.Guédet^{1,2,3} ; L.Alexandre-Heymann¹ ; J.Yardley^{1,2} ; V.Messier¹ ; V.Boudreau¹ ; T.Chahal¹ ; M.Dostie¹ ; M-E. Mathieu^{2,4} ; A-S.Brazeau^{1,5} ; S.Tagougui³ ; R.Rabasa-Lhoret^{1,2,6,7}

¹ Montreal Clinical Research Institute (IRCM), Montreal, Quebec, Canada.

² School of Kinesiology and Physical Activity Sciences, Faculty of medicine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada.

³ Université de Lille, Université d'Artois, Université du Littoral Côte d'Opale, ULR 7369 – URePSSS – Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société (URPSSS), Lille, France

⁴ CHU Sainte-Justine Azrieli Research Center, Montreal, Quebec, Canada.

⁵ School of Human Nutrition, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada

⁶ Département de Nutrition, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada

⁷ Endocrinology Division, Montreal, Quebec, Canada

Correspondance:

Pr. Rémi Rabasa-Lhoret

remi.rabasa-lhoret@ircm.qc.ca

Word count: 3606/4000 (main text), and 248 (Abstract), main text: 2 tables, 2 figures.

Supplementary: 1 table

KEYWORDS: type 1 diabetes, Physical activity, Perceived barriers, fear of hypoglycemia

Abstract

Objective: We aimed to identify barriers to physical activity for people living with type 1 diabetes (PwT1D) and their relationship with sociodemographic and disease-specific factors.

Methods: Cross-sectional study with BETTER registry participants (>14 years) who completed the BAPAD1 (Barriers to Physical Activity in T1D) questionnaire. An item with a score of 5 or more was defined as a barrier. Participants were categorized into 4 subgroups based on their insulin therapy and blood glucose monitoring modality: **1)** multiple daily injections (MDI) without continuous glucose monitoring (CGM), **2)** MDI with CGM, **3)** continuous subcutaneous insulin infusion (CSII) with CGM, and **4)** automated insulin delivery system (AID).

Results: Among 1,117 participants, the main perceived barrier was fear of hypoglycemia. BAPAD1 scores were similar across all subgroups, but more individuals in the AID group perceived "fear of hypoglycemia" and "loss of control over diabetes" as barriers. Being female, having a low income or education level, being overweight or obese, taking medication for depression, younger diabetes, higher HbA1c, presence of microvascular complications, and lack of confidence in managing hypoglycemia were associated with higher BAPAD1 score.

Conclusion: Fear of hypoglycemia remains the main barrier to physical activity for PwT1D. Technological advances alone are not sufficient to reduce perceived barriers to physical activity, highlighting the need for complementary educational and behavioral interventions.

Introduction

Regular physical activity provides significant health benefits for people living with type 1 diabetes (pwT1D) [1]. Despite these advantages, many pwT1D struggle to meet the recommended activity levels (60 minutes per day for adolescents and 150 minutes per week for adults) and only a minority of adolescents and adults achieve recommended targets [2,3].

Understanding the barriers to physical activity in this specific population is crucial for developing effective interventions. The "Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes" questionnaire (BAPAD1), developed by Dubé et al. (2006), has been instrumental in this regard [4]. Studies using this tool have consistently identified the fear of hypoglycemia as a primary obstacle to physical activity among both young people and adults living with T1D [3,5,6]. A higher BAPAD1 total score, indicative of greater perceived barriers, was positively correlated with a higher HbA1c [5]. Advancements in diabetes-specific technologies such as continuous glucose monitoring (CGM), continuous subcutaneous insulin infusion (CSII) and automated insulin delivery (AID) have improved the ease of glycemic management and transformed care [7]. These new tools could contribute to reducing the risk of exercise-induced hypoglycemia. However, two recent studies involving relatively small groups of PwT1D reported that the fear of hypoglycemia persisted, with no significant impact from technologies like CGM or CSII [3,8]. Surprisingly, Paiement et al. (2022) recently described that PwT1D using CSII reported more hypoglycemia during physical activity compared to those using MDI [9].

Moreover, several studies have identified personal and diseases-related factors that may increase the barriers to physical activity or fear of hypoglycemia in pwT1D. For example, Logan et al reported that female sex was associated with higher barriers to physical activity [10] while Brazeau et al. found that greater perceived well-being was linked to lower barriers [5]. Fear of hypoglycemia was more pronounced in women or people who reported a depressive symptom [11]. Recent severe hypoglycemia were also significantly positively associated with higher fear of hypoglycemia [12]. Others potential influencing factors, such as sociodemographic characteristics, hypoglycemia awareness and the presence of macro and microvascular complications have not been thoroughly investigated.

In the context of rapid technological advancements (e.g., CGM, CSII, AID) and the growing emphasis on precision medicine, it is crucial to assess the personal and disease-related factors that influence both the prevalence and perceived importance of barriers to physical activity. This understanding is essential for developing targeted interventions to help mitigate these barriers in PwT1D. This registry-based study, using a large modern dataset, aims to identify the most significant barriers to physical activity, with a focus on the impact of new technologies treatment and glycemic monitoring methods. Additionally, we examined the role of personal and medical factors influencing these barriers. We hypothesized that hypoglycemia would remain the primary barrier to regular physical activity, but the use of technology for insulin administration and/or glucose monitoring will be associated with lower perceived barriers.

Materials and Methods

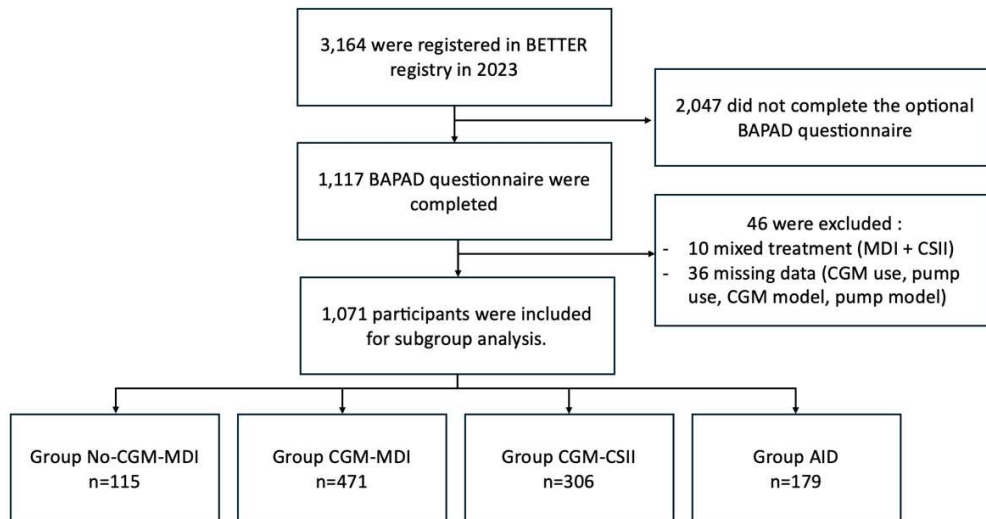
Study design

We performed a cross-sectional analysis using data extracted from the BEhaviors, Therapies, TEchnologies, and hypoglycemic Risk in T1D (BETTER) registry [13]. BETTER is a Canadian registry codeveloped with people living with T1D that mainly collects online patient reported outcomes using a series of questionnaires, including one mandatory and two optional questionnaires (<https://type1better.com/en/home>; ethical approval No. 18.232 - MP-02-2019-7992) [13].

Participants aged 14 years and older living with T1D who registered in BETTER between April 2019 and December 2023 were included in this analysis. Inclusion criteria were completed the BAPAD1 questionnaire (Figure 1). Sociodemographic characteristics included sex, age, ethnicity, residence localization (urban, rural), household income, education level, and employment status. Diabetes-related characteristics comprised duration of diabetes, recent HbA1C levels, insulin therapy (MDI, CSII, or AID), glucose monitoring method (self-monitoring capillary blood glucose or continuous glucose monitoring [CGM]), presence of microvascular (retinopathy, neuropathy, or nephropathy) or macrovascular complications (e.g., cardiovascular disease), history of severe hypoglycemia (i.e., low blood glucose levels requiring help from another person/paramedics, use of glucagon, hospitalization or loss of consciousness), medication for depression and body mass index (BMI). Validated

questionnaires were used to assess impaired awareness of hypoglycemia (Clarke scale, score ≥ 4) [14] and participant's confidence to manage hypoglycemia (Hypoglycemia Confidence Scale (HCS); 9-item questionnaire: rated on a 4-point scale from 0 (not confident at all) to 3 (very confident) [15]. The PiezoRx® pedometer, which is a validated uniaxial accelerometer, was used to assess participants' physical activity levels [16]. Only participants who wore the pedometers for more than seven days and for at least 10 hours per day were included in the analysis. Total daily physical activity was defined as the total time spent on activities with an intensity of at least 1.5 metabolic equivalents (METs) and was expressed as an average of minutes per day.

The primary outcome was assessed with the BAPAD1 questionnaire. Developed in 2006, the BAPAD1 is a validated questionnaire for measuring perceived barriers to physical activity among PwT1D and consists of thirteen items: "Loss of control over your diabetes", "Fear of hypoglycemia", "Fear of being tired", "Fear of hurting yourself", "Fear of suffering a heart attack", "A low fitness level", "The fact that you have diabetes", "Risk of hyperglycemia", "Physical health status excluding your diabetes", "Weather conditions", "The location of a gym", "Having dependent children", and "Your work schedule" [4]. Only the first 11 items are used to calculate the BAPAD1 score (i.e., average), because "Your work schedule" was withdrawn due to low discriminatory power, and "Having dependent children" was not validated for score calculation [17]. Participant rated each item from 1 to 7: "extremely unlikely", "very unlikely", "slightly unlikely", "neither likely nor unlikely", "slightly likely," "very likely," or "extremely likely" respectively. Only items with scores of 5 or greater were considered a significant barrier ("slightly likely," "very likely," or "extremely likely") [18]. For the subgroup analysis, participants were divided into four groups based on their insulin delivery and glucose monitoring methods: 1) No-CGM-MDI group for people who reported not using CGM and using MDI treatment; 2) CGM-MDI group for people who reported using CGM and MDI; 3) CGM-CSII for people who reported using CGM and a pump; and 4) AID for pwT1D using automated insulin delivery system. Participants who did not provide an answer for insulin therapy and glucose monitoring method were excluded from the subgroup analysis (Figure 1).

Figure 1 : Study flowchart

Legend: AID, automated insulin delivery; BAPAD1, Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes; CGM, continuous glucose monitoring; CSII, continuous subcutaneous insulin infusion; MDI, multiple daily insulin injections

Statistical analyses

All analyses were performed using IBM SPSS Statistics version 29 (IBM Corp, Armonk, New York, United States) and R version 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). The BAPAD1 score was calculated and analyzed for each categorical variable and is presented as the mean \pm standard deviation (SD). Depending on the variables, we used either the one-way analysis of variance (ANOVA), Kruskal-Wallis, or Mann-Whitney test. Spearman correlations were also conducted for continuous variables. We used linear regression models to explore the associations between demographic factors, diabetes-related variables, and the BAPAD1 score. Only variables that significantly correlated with the BAPAD1 score in the univariate analyses and that were not redundant were tested in this model: age, sex, household income, HbA1c, BMI, recent severe hypoglycemia, microvascular disease, medication for depression, and HCS score. The percentage of individuals perceiving each item as a barrier (score equal to or greater than 5) was calculated. The Chi-square test was employed for subgroup analyses. To account for heterogeneity within subgroups regarding age, HbA1C, household income, recent severe hypoglycemia, HCS score

and medication for depression, logistic regressions were performed for all items with significant differences between groups. A p-value of <0.05 was considered statistically significant.

Results

Study population

A total of 1,117 individuals were included in this analysis. Overall, the mean age was 43.3 ± 15.8 years old, 67% were female and 93% were Caucasians. Mean diabetes duration was 24.6 ± 16.0 years, and 37% of participants reported an HbA1c $<7.0\%$ (53 mmol/mol). More than 85% of participants used CGM. Forty-six percent of participants were on MDI treatment, whereas 53% used an insulin pump (Table 1).

In the subgroup analysis the distribution of participants was as follows: 115 participants in the No-CGM-MDI, 471 in the CGM-MDI group, 306 in the CGM-CSII group, and 179 in the AID group (Figure 1). There were no significant differences between groups regarding sex and body mass index. The No-CGM-MDI and CGM-MDI groups were older than the CGM-CSII group (No-CGM-MDI: 47.9 ± 16 and CGM-MDI: 44.6 ± 15.2 vs. CGM-CSII: 40.0 ± 16.0 ; $p < 0.05$). The AID group had a longer duration of diabetes than the CGM-MDI and CGM-CSII groups (AID: 28.3 ± 13.6 vs. CGM-MDI: 23.1 ± 16.8 and CGM-CSII: 24.0 ± 15.4 ; $p < 0.05$). Regarding blood glucose management, the AID group had the highest proportion of people with HbA1c $< 7\%$ (53 mmol/mol) (60%) compared to the other groups (No-CGM-MDI: 34%, CGM-MDI: 34% and CGM-CSII: 38%; $p < 0.001$). The No-CGM-MDI (11%) and CGM-MDI (10%) groups had a significant proportion of people with HbA1c higher than 9% (76 mmol/mol) compared to AID group (2%) ($p < 0.001$).

	Missing data	Total Sample N=1117	Sub-groups				
			No-CGM-MDI N = 115 (10.7%)	CGM-MDI N = 471(44.0%)	CGM-CSII N = 306 (28.6%)	AID N = 179 (16.7%)	P
Age (years), mean ± SD		43.3±15.8	47.9±16.7	44.6±15.2	40.0±16.0	43.3±14.7	<0.001
Sex, Females (%)	1 (0.1)	746 (66.8)	73 (63.5)	293 (62.2)	217 (70.9)	125 (69.8)	0.101
Ethnicity, Caucasian (%)	7(0.6)	1039 (93.6)	104 (91.2)	430 (92.3)	292 (95.7)	169 (94.4)	0.180
Localization, Urban (%)	99 (8.9)	861 (84.6)	85 (85.0)	368 (85.0)	232 (85.3)	144 (82.3)	0.830
Household income in Canadian dollars (%)	183 (16.4)						
≤20,000		68 (7.3)	16 (16.0)	31 (7.9)	13 (5.2)	5 (3.2)	<0.001
20,000 – 50,000		171 (18.3)	33 (33.0)	89 (22.6)	25 (10.0)	19 (12.3)	
50,000 – 80,000		197 (21.1)	25 (25.0)	86 (21.8)	54 (21.5)	25 (10.0)	
80,000 – 100,000		144 (15.4)	11 (11.0)	62 (15.7)	36 (14.3)	28 (18.1)	
>100,000		354 (37.9)	15 (15.0)	126 (32.0)	123 (49.0)	78 (50.3)	
Education (%)	15 (1.3)						
≤ High school diploma		54 (4.9)	8 (7.1)	23 (5.0)	21 (6.9)	0 (0)	<0.001
High school diploma		485 (44.0)	56 (49.6)	219 (47.2)	124 (40.8)	62 (34.8)	
≥ post-secondary		563 (51.1)	49 (43.4)	222 (47.8)	159 (52.3)	116 (65.2)	
Employment status (%)	106 (9.5)						
unemployed/volunteer/retired/caregiver		279 (27.6)	48 (44.4)	126 (29.4)	55 (20.4)	38 (22.8)	<0.001
part time		147 (14.5)	15 (13.9)	53 (12.4)	47 (17.4)	24 (14.4)	
full time		585 (57.9)	45 (41.7)	250 (58.3)	168 (62.2)	105 (62.9)	
Diabetes duration (Years), mean ± SD	5	24.6±16.0	26.6±17.8	23.1±16.8	24.0±15.4	28.3±13.6	<0.001
BMI (kg/m²), mean ± SD	5	26.5±5.2	26.5±5.2	26.4±5.3	26.5±5.1	27.2±5.5	0.437
HbA1c in % (%)	63 (5.6)						
< 7 (53 mmol/mol)		418 (37.4)	36 (34.0)	150 (34.6)	113 (38.3)	106 (59.9)	<0.001
7.1 – 9.0 (54 – 75 mmol/mol)		562 (50.3)	58 (54.7)	238 (55)	168 (56.9)	68 (38.4)	
> 9.1 (76 mmol/mol)		74 (6.6)	12 (11.3)	45 (10.4)	14 (4.7)	3 (1.7)	
CGM use, Yes (%)	1 (0.1)	967 (86.6)	/	/	/	/	
Pump use, Yes (%)	10 (0.9)	520 (47.0)	/	/	/	/	
Macrovascular complication¹, Yes (%)	7 (0.6)	89 (8.0)	14 (12.4)	47 (10.0)	17 (5.6)	9 (5.0)	0.019
Microvascular complication², Yes (%)		389 (34.8)	43 (37.4)	158 (33.5)	103 (33.7)	70 (39.1)	0.514
History of severe hypoglycemia, Yes (%)	28(2.5)	530 (48.1)	61 (53.5)	219 (47.1)	120 (39.7)	105 (59.7)	<0.001

Recent severe hypoglycemia (<12 months) among those who have previously experienced a severe episode of hypoglycemia (%)	600 (53.1)	159 (30.0)	20 (32.8)	71 (32.4)	27 (22.5)	31 (29.5)	0.257
Medication for depression, Yes (%)	4 (0.4)	257 (23.1)	24 (20.9)	95 (20.3)	64 (21.0)	56 (31.3)	0.02
HCS score, mean \pm SD	46 (4.1)	3.2 \pm 0.6	3.2 \pm 0.6	3.1 \pm 0.03	3.2 \pm 0.03	3.2 \pm 0.04	<0.001
CLARKE score, mean \pm SD	278 (24.9)	2.5 \pm 1.5	2.3 \pm 0.2	2.6 \pm 0.08	2.5 \pm 1.0	2.5 \pm 0.14	0.177
≥ 4		231 (27.5)	20 (22.7)	109 (30.5)	58 (25.7)	38 (27.0)	0.397
BAPAD1 score, mean \pm SD		2.8 \pm 1.2	2.8 \pm 0.1	2.8 \pm 0.05	2.7 \pm 0.07	2.8 \pm 0.08	0.329
Total physical activity level (mins/days), mean \pm SD	753(67.4)	75.2 \pm 30.2	64.4 \pm 23.2	77.3 \pm 32.3	75.6 \pm 28.6	79.7 \pm 31.5	0.199

Legend : AID, automated insulin delivery; BAPAD1, Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes; BMI, body mass index; CGM, continuous glucose monitoring; CSII, continuous subcutaneous insulin infusion; HbA1c, glycated hemoglobin; HCS: hypoglycemia confidence scale; MDI, multiple daily insulin injections

Notes:

¹ A "macrovascular complication" is determined by a "yes" response to the following question "A cardiovascular disease (heart attack, need a bypass (heart surgery) or dilation of an artery (opening of an artery of the heart), stroke (blocked vessel or bleeding in the brain), surgery for a blocked vessel in a leg, etc.)?"

² A "microvascular complication" is determined by a "yes" response to the following question : "Kidney disease (kidney problems, such as kidney failure (kidneys that work less efficiently) or protein in the urine)?" and/or "Neuropathy (nerve problems, e.g. reduced sensitivity (no longer feeling pain) or burning or tingling in the legs or feet, wound on foot, erectile dysfunction, etc.)?" and/or "Retinopathy or that you need eye injections for diabetes-related damages?" and/or "Ulcers on your feet?"

Table 1: Participant Characteristics

Barriers to physical activity

Overall

Mean total BAPAD1 score was 2.8 ± 1.2 . Physical activity levels were inversely correlated with BAPAD1 scores ($r = -0.141$; $p = 0.007$). BAPAD1 scores and level of physical activity were not different between subgroups based on insulin delivery and glucose monitoring methods (respectively, $p = 0.329$ and $p = 0.199$) (Table 1). Females (2.95 ± 0.04) had a higher BAPAD1 score than males (2.39 ± 0.06) ($p < 0.001$).

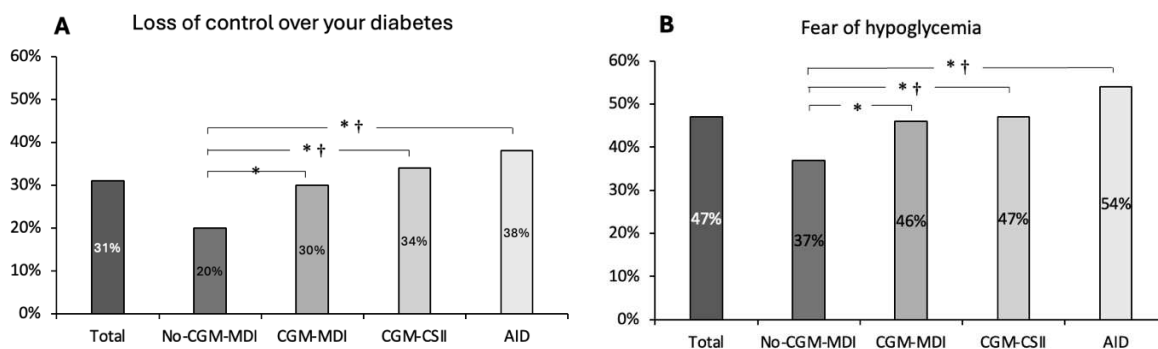
The primary barrier to physical activity for PwT1D was the fear of hypoglycemia, with 46.4% of respondents reporting that they were "slightly likely," "very likely," or "extremely likely" to experience this fear (Table 2). Weather conditions were identified as the second most significant barrier (41.7%). Loss of control over diabetes remained another important barrier, with 31.0% of participants indicating that they were "slightly likely," "very likely," or "extremely likely" to experience this barrier. In contrast, the risk of hyperglycemia, fear of injury, and fear of heart attack were less likely to be identified as a barrier (13.2%, 15.0%, and 6.5%, respectively).

Subgroups

In the subgroup analysis, four items showed significant differences between groups, despite no significant differences in overall BAPAD1 scores (Table 2). The proportion of respondents who indicated a score of 5 or higher for the item "Loss of control over your diabetes" was significantly lower in the No-CGM-MDI group (20.0%) compared to the CGM-MDI group (29.5%), the CGM-CSII group (34.0%), and the AID group (38.0%) ($p < 0.01$) (Figure 2-A). In the post-hoc comparison, after adjustment, only the No-CGM-MDI group remained significantly lower compared to the CGM-CSII group (0.795, 95%CI:0.159-1.472 $p = 0.02$) and AID group (0.925, 95%CI:0.252-1.635, $p < 0.01$). Similarly, a score of 5 or greater for the item "Fear of hypoglycemia" was reported by 36.5% of the respondents in the No-CGM-MDI group, while the proportion in the CGM-MDI, CGM-CSII, and AID groups were 45.6%, 47.4%, and 53.6%, respectively ($p < 0.05$) (Figure 2-B). Only CGM-CSII and AID group was associated with a higher proportion of respondents who had a score of higher than 5 after

adjustment (respectively, 0.572, 95%CI:0.006-1.157, $p=0.05$ and 0.809, 95%CI:0.203-1.429, $p<0.01$). For the item "Fear of suffering a heart attack", the No-CGM-MDI group demonstrated a higher proportion of respondents with scores of 5 or greater (13.0%) compared to the CGM-MDI, CGM-CSII, and AID groups, which reported proportions of 6.4%, 4.6%, and 6.1%, respectively ($p<0.05$). In contrast, the multivariate analysis showed no significant differences between groups. For the "your work schedule" item, the proportion of respondents who indicated a score ≥ 5 was also significantly lower in the No-CGM-MDI group (21.7%) than in the CGM-MDI group (38.2%), the CGM-CSII group (36.9%), and the AID group (41.9%) ($p<0.01$). Only the CGM-MDI group (0.780, 95%CI:0.211-1.385, $p<0.01$) and the AID group (0.770, 95%CI:0.124-1.444, $p<0.05$) remained significantly different after adjusting for age and HbA1c in post-hoc pairwise comparisons.

Figure 2 — Percentage of people who perceive “Loss of Control Over Your Diabetes” (A) and “Fear of Hypoglycemia” (B) as barriers to physical activity (≥ 5) by subgroups of insulin administration and glucose monitoring methods



Legend :

* $p<0.05$ with χ^2 statistical test

† $p<0.05$ after adjustment for age, HbA1C, household income, recent severe hypoglycemia, HCS score and medication for depression

Table 2: BAPAD Item results by Subgroups of insulin delivery and glucose monitoring methods

	ALL N=1117	Sub-groups				P
		No-CGM-MDI N = 115	CGM-MDI N = 471	CGM-CSII N = 306	AID N = 179	
Proportion of people who answered ≥ 5 for each BAPAD-1 item (%)						
1- Loss of control over your diabetes	346 (31.0)	23 (20.0)	139 (29.5)	104 (34.0)	68 (38.0)	0.006
2- Fear of hypoglycemia	518 (46.4)	42 (36.5)	215 (45.6)	145 (47.4)	96 (53.6)	0.037
3- Fear of being tired	249 (22.3)	30 (26.1)	95 (20.2)	66 (21.6)	47 (26.3)	0.272
4- Fear of hurting yourself	168 (15.0)	16 (13.9)	74 (15.7)	47 (15.4)	25 (14.0)	0.928
5- Fear of suffering a heart attack	73 (6.5)	15 (13.0)	30 (6.4)	14 (4.6)	11 (6.1)	0.019
6- A low fitness level	315 (28.2)	37 (32.2)	129 (27.4)	85 (27.8)	50 (27.9)	0.782
7- The fact that you have diabetes	236 (21.1)	19 (16.5)	105 (22.3)	66 (21.6)	37 (20.7)	0.594
8- Risk of hyperglycemia	148 (13.2)	10 (8.7)	61 (13.0)	43 (14.1)	28 (15.6)	0.366
9- Physical health status excluding your diabetes	271 (24.3)	31 (27.0)	110 (23.4)	71 (23.2)	43 (24.0)	0.862
10- Weather conditions	466 (41.7)	60 (52.2)	184 (39.1)	126 (41.2)	77 (43.0)	0.082
11- The location of a gym	206 (18.4)	14 (12.2)	85 (18.0)	20.9 (64)	36 (20.1)	0.205
12- Having dependent children	148 (13.2)	8 (7.0)	61 (13.0)	47 (15.4)	29 (16.2)	0.096
13- Your work schedule	407 (36.4)	25 (21.7)	180 (38.2)	113 (36.9)	75 (41.9)	0.003

Legend : AID, Automated Insulin Delivery; CGM, continuous glucose monitoring; CSII, Continuous Subcutaneous Insulin infusion; MDI, multiple daily insulin injections
Chi² statistical test

Factors associated with higher perceived barriers to physical activity

The univariate analysis showed that a higher BAPAD1 score was associated with lower education or income level, being overweight or obese, a shorter diabetes duration (<10 years), a history of severe hypoglycemia in the past year, the presence of microvascular complications, and a reported use of medication for depression ($p < 0.05$ for all variables) (Table 3). Interestingly, no correlation was observed between BAPAD1 scores and the use of different treatment modes (MDI or pump), CGM use (yes vs. no and also with vs. without alarms), or hypoglycemia prevention strategies (snacking or insulin reduction). Impaired awareness of hypoglycemia (i.e., Clarke score ≥ 4) was also not associated with the BAPAD1 score (Clarke score ≥ 4 : 2.79 ± 0.08 vs. Clarke score < 4 : 2.83 ± 0.05 ; $p = 0.538$). In the multivariate analysis, female sex, higher BMI, reported medication for depression, and lower HCS scores were associated with higher BAPAD scores (Table 2). The HCS score showed the strongest association (correlation coefficient: -0.691 ; $p < 0.001$) with the BAPAD1 score, followed by female sex and the reported use of medication for depression.

Concerning isolated BAPAD1 items, the multivariate analysis showed that older individuals were less likely to report a score of 5 or greater on all items, except for “Fear of hurting yourself”, “Risk of hyperglycemia”, “Physical health status excluding your diabetes” and “Fear of suffering a heart attack”. In contrast, “Fear of suffering a heart attack” was more frequent in older individuals (0.018 ; $p = 0.036$). Individuals with higher HbA1C levels ($> 9.0\%$) were more likely to report a score of 5 or higher for the following items: “Fear of hypoglycemia” (0.797 ; $p < 0.001$), “Fear of being tired” (0.838 ; $p < 0.005$), “Fear of suffering a heart attack” (1.802 ; $p < 0.05$), “A low fitness level” (0.745 ; $p < 0.01$), “The fact that you have diabetes” (0.898 ; $p < 0.01$) and “Having dependent children” (0.805 ; $p < 0.01$). They also tended to be more likely to report a score of 5 or higher for “Loss of control over your diabetes” item (0.518 ; $p = 0.058$).

Table 3: Factors associated with BAPAD1 Score

	Univariate			Multivariate		
	Score BAPAD1 (mean ± SD)	r	P	Coefficient	CI	P
Age* (years)		-0.095	<0.001	-0.004	-0.012-0.004	0.306
Diabetes duration (years)		-0.059	0.049			
Sex*			<0.001			
Females	2.95±0.04			0.346	0.118-0.574	0.003
Males	2.39±0.06					
Ethnicity			0.051			
Caucasian	2.75±0.04					
Others	3.05±0.15					
Household income* (Canadian dollars)			<0.001			
≤20,000	3.30±0.15					
20,000 – 50,000	2.97±0.09			-0.307	-0.769 – 0.154	0.191
50,000 – 80,000	2.81±0.09			-0.316	-0.764 – 0.133	0.167
80,000-100,000	2.77±0.11			-0.068	-0.556 – 0.419	0.783
>100,000	2.48±0.06			-0.390	-0.832 – 0.051	0.083
Education			0.002			
≤ High school diploma	3.10±0.18					
High school diploma	2.87±0.05					
≥ post-secondary	2.65±0.05					
Employment status			0.074			
unemployed/volunteer/retired/caregiver	2.79±0.08					
Part time	2.95±0.10					
Full time	2.69±0.05					
BMI* (kg/m²)		0.160	<0.001	0.041	(0.020-0.061)	<0.001
< 25	2.60±0.05					
25-30	2.71±0.06					
> 30	3.17±0.08					
HbA1c (%) *			<0.001			
< 7 (53 mmol/l)	2.56±0.05					
7.1 – 9.0 (54 – 75 mmol/l)	2.83±0.05			0.087	-0.135 – 0.309	0.442
> 9.1 (76 mmol/l)	3.41±0.15			0.243	-0.170 – 0.656	0.249

CGM use		0.200			
Yes	2.77±0.04				
No	2.68±0.11				
CGM with alarm		0.632			
Yes	2.79±0.05				
No	2.76±0.06				
Pump use		0.209			
Yes	2.71±0.05				
No	2.80±0.05				
History of severe hypoglycemia		0.681			
Yes	2.74±0.05				
No	2.78±0.05				
Recent severe hypoglycemia*		0.016	-0.135	(-0.363 - 0.092)	0.244
< 12 months	2.93±0.10				
> 12 months	2.65±0.06				
HCS score*	-0.438	<0.001	-0.691	(-0.876 - -0.506)	<0.001
CLARKE score	0.042	0.223			
Macrovascular complication¹		0.060			
Yes	2.99±0.13				
No	2.74±0.04				
Microvascular disease^{2*}		0.008	-0.120	(-0.335 - 0.096)	0.275
Yes	2.91±0.06				
No	2.69±0.04				
Reported medication for depression*		<0.001	-0.245	(-0.481 - -0.008)	0.042
Yes	3.14±0.08				
No	2.65±0.04				

Legend : AID, automated insulin delivery; **BAPAD1**, Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes; BMI, body mass index; CGM, continuous glucose monitoring; CSII, continuous subcutaneous insulin infusion; HbA1c, glycated hemoglobin; HCS: hypoglycemia confidence scale; MDI, multiple daily insulin injections

Notes:

¹ A "macrovascular complication" is determined by a "yes" response to the following question "A cardiovascular disease (heart attack, need a bypass (heart surgery) or dilation of an artery (opening of an artery of the heart), stroke (blocked vessel or bleeding in the brain), surgery for a blocked vessel in a leg, etc.)?"

² A "microvascular complication" is determined by a "yes" response to the following question : "Kidney disease (kidney problems, such as kidney failure (kidneys that work less efficiently) or protein in the urine)?" and/or "Neuropathy (nerve problems, e.g. reduced sensitivity (no longer feeling pain) or burning or tingling in the legs or feet, wound on foot, erectile dysfunction, etc.)?" and/or "Retinopathy or that you need eye injections for diabetes-related damages?" and/or "Ulcers on your feet?"

Discussion

This study sheds new light on perceived barriers to physical activity in pwT1D. Using data from the BETTER self-reported registry, we identified significant barriers to physical activity and examined the sociodemographic and diabetes-specific characteristics associated with these barriers. Our analysis included a detailed examination of subgroups based on treatment and blood glucose monitoring and insulin delivery methods, allowing us to identify the differential impact of various diabetes management technologies on perceived barriers to PA. Two main findings emerged from this analysis: 1) the primary barrier reported by participants remain the fear of hypoglycemia and 2) although mean BAPAD1 scores were similar across all treatment/glucose monitoring subgroups, contrary to our hypothesis, a greater proportion of individuals using AID systems reported fear of hypoglycemia and loss of control over their diabetes as barriers compared to those using other methods. Importantly, perceived barriers to physical activity were negatively correlated with objectively measured daily physical activity levels in the subgroup of participants who wore pedometers.

Barriers to physical activity

In this study, almost half of the participants reported 'fear of hypoglycemia' as a significant barrier to physical activity, consistent with the findings of Brazeau et al. (2008), which highlighted its importance among pwT1D [5]. Additionally, 'loss of control over diabetes' remained an important barrier, reported by nearly one-third of respondents. Developing strategies to mitigate this major barrier remains a public health priority. To date, no program has been specifically designed to reduce fear of hypoglycemia related to physical activity. However, Martyn-Nemeth et al. (2024) tested a new 8-week cognitive behavioral therapy intervention and demonstrated a significant reduction in fear of hypoglycemia in the daily lives of pwT1D [19]. It is therefore plausible that a similar intervention, specifically adapted to physical activity, could help reduce this fear. Weather conditions emerged as a new secondary barrier, likely due to the Canadian climate, with cold winters and hot summers, which are less conducive to outdoor physical activity. Indeed, it has been demonstrated that precipitation and snow accumulation can reduce daily steps by 3.6% to 8.3% [20]. Physical activity also tends to be lower in winter and higher in summer among Canadian adolescents [21]. It would be valuable to assess whether this trend is consistent

in countries with different climates. However, Koh et al. (2022) suggest increasing awareness of available infrastructure could help mitigate these environmental barriers [22]. Work schedule also prominently impacted physical activity, aligning with general population trends where lack of time is a common barrier [5,22]. Again, comparing these results with countries promoting a different work to personal life balance will be important.

Influence of the use of technologies

Contrary to our hypothesis, we found that respondents using a CGM with a CSII or an AID system were more likely to express fear of hypoglycemia and loss of control over their diabetes as barriers to physical activity than those who did not use a CGM or a CSII. The reduction in the risk of hypoglycemia and the improvement in mean blood glucose levels facilitated by technological advances [7] did not translate into lower barriers to physical activity in our study. These results could be explained by the fact that AID systems were initially proposed and recommended for people who had difficulty managing their diabetes; it is possible that these people faced more barriers to physical activity before using AID. Moreover, patients using a CGM can immediately see glycemic fluctuations caused by physical activity, unlike people using capillary blood glucose monitoring. Therefore, there is a possibility that for some people living with T1D, despite being an incredible tool to monitor PA-associated glucose fluctuations, this awareness may also be a source of anxiety. In addition, it is possible that within the context of a significantly lower hypoglycemic risk with AID technology, people living with T1D may better identify physical activity as a cause of residual hypoglycemic episodes. Godoi et al. (2023) have already shown in their meta-analysis that AID systems do not reduce the fear of hypoglycemia [23]. Nevertheless, although technological advances have improved diabetes management for pwT1D, the physical activity algorithm included in AID systems still requires further improvement [24]. These findings suggest that while CGM and AID systems help improve HbA1c levels, they can also be associated with increased perceived barriers to physical activity. Therefore, it is essential to educate patients about new recommendations on physical activity and strategies to optimize the use of these technologies.

Impact of diabetes characteristics

Diabetes-specific characteristics are also associated with barriers to physical activity: shorter diabetes duration, suboptimal glycemic management, presence of microvascular disease, lack of confidence in managing hypoglycemia, and recent severe hypoglycemia were all associated with higher barriers (Table 3). Some of these barriers could also be markers of overall difficulties in managing diabetes daily. For pwT1D experiencing these difficulties, physical activity could be perceived as even more difficult to perform given the many factors influencing glucose fluctuations during physical activity (e.g. type, duration, intensity, timing, stress, etc.) and accordingly the multiple therapeutic adjustments required [1]. Ferreira et al showed that PwT1D who exercised had better glycemic management, but those who did not adjust their treatment, such as insulin dose or diet before exercise, had more frequent hypoglycemia [25]. Concerning the association between shorter diabetes duration and higher barriers to physical activity, we can hypothesize that pwT1D learn to manage their glucose variations around physical activity over time through trial-and-errors experiments. Additionally, certain conditions may restrict physical activity temporarily (e.g., recent severe hypoglycemia with associated fear of hypoglycemia) or over the long term (e.g., significant microvascular complications such as neuropathy with increased risk of foot injury). Long-term limitations related to microvascular complications have already been reported by Wadén et al. [26]. It's important to note that diabetic peripheral neuropathy was for a long-time considered a contraindication for exercise; it is only recently that guidelines have been revised to recommend adapted physical activity even for individuals with this type of complications [27]. In parallel, a recent study demonstrated that greater knowledge about the management of T1D and physical activity was not associated with less hypoglycemia during and after physical activity [9]. Furthermore, a physical activity promotion program did not lead to a significant reduction in perceived barriers to physical activity [28]. Collectively these observations highlight that reducing barriers for physical activity is challenging and that pwT1D with established microvascular complications could face significant additional challenges.

Impact of sociodemographic characteristics

Consistent with the general population, being female, having a low income or education level, being overweight or obese, and taking medication for depression were associated with higher barriers to physical activity. For PwT1D these factors add to the barriers related to glucose management. In the general population, Daskapan et al. (2006) demonstrated that women face more barriers to physical activity than men, particularly related to "lack of time due to a busy schedule" [29]. Historically women have been less physically active than men [30]. These gender differences may be partly attributed to sociocultural factors. Women are more likely to face cumulative demands related to work, household responsibilities, and caregiving roles, all of which can significantly limit the time and energy available for physical activity [31]. In addition, among women living with T1D, physiological factors such as menstrual cycle–related glucose fluctuations may introduce additional barriers, with an increased risk of hypoglycemia during the follicular phase and hyperglycemia during the luteal phase [32]. Low socioeconomic and education status is also associated with barriers to physical activity. Limited resources have been identified as a barrier to engaging in physical activity in the general population [33], and these factors have also been associated with difficulties in glucose management among individuals with type 1 diabetes [34]. In addition, a large proportion of PwT1D are currently affected by overweight and obesity [35]. Ball et al. (2000) demonstrated that being overweight or obese was a barrier to physical activity in people without diabetes (e.g., dyspnea, joint pain, etc.) [36]. PwT1D who are overweight or obese also face these challenges, in addition to those related to diabetes. These factors can increase barriers to physical activity and may contribute to a vicious cycle of inactivity that we are committed to breaking. Finally, a bidirectional relationship exists between mental health and physical activity levels, with people living with T1D being at greater risk of depression compared to the general population [37]. While physical activity can improve mental health, individuals facing psychological challenges are often those who struggle the most to engage in it [38]. Higher depression scores have been linked to greater perceived barriers [39], potentially creating a vicious cycle of inactivity. However, professionally guided physical activity has been shown to effectively reduce depressive symptoms [38]. Identifying and supporting subgroups most affected by these barriers should be a key priority for intervention strategies.

Limitations & perspectives

The analysis of registries, a crucial tool in T1D research, is however subject to selection bias. However, for the BETTER registry we diligently work to limit this bias by employing a diverse range of recruitment methods: online (social media), in person at T1D events, in different healthcare centers, and via patient partners. Although the data collected is self-reported and may lead to biases in response and recollection, it provides valuable insights. We previously showed a high accuracy of reported versus measured data in this registry [40]. In addition, we did not collect information on the time spent in automatic mode for individuals using AID. However, recent studies showed that patients use this mode more than 90% of the time [41]. Prospective studies investigating change in physical activity barriers before and after adopting a new technology (e.g. switching to AID) could help to identify factors that influence these barriers in PwT1D.

Conclusion

Three main themes emerge from this analysis: 1) For PwT1D fear of hypoglycemia remains the primary barrier to physical activity for PwT1D, regardless of advancements in diabetes technologies, 2) Barriers demonstrated in the general population, (e.g. depression) also apply to PwT1D, 3) Despite the well demonstrated benefits for glucose management, using diabetes technologies like CGM and AID have clear benefits for glucose management, they do not appear to reduce perceived barriers to physical activity. Helping PwT1D to be more active will probably need multiple individualized concerted actions combining education and technological tools.

Acknowledgments

The authors thank the patient partners affiliated with IRCM who have informed the development and implementation of the BETTER project, particularly S. Fontaine, C. Laforest, J. Pelletier, and M. Dostie, who contributed significantly to the project. One patient partner (M. Dostie) was part of this writing group. We are also grateful to the participants who enrolled in the

BETTER registry and for the support in recruitment provided by the participating centers. We would also like to thank the biostatistician, Caroline Grou, for her help with the statistical analysis.

Author contributions

C.G. designed the study, performed statistics, and wrote the manuscript. M.D. participated in study design, data interpretation and reviewed the manuscript. L.A.H reviewed statistics, designed tables and the manuscript. V.M. prepared tables and reviewed/edited the manuscript. J.E.Y. assisted with the interpretation of the data and reviewed/edited the manuscript. A.S.B designed the study, reviewed, and edited the manuscript. S.T., T.C., V.B., M.E.M reviewed and edited the manuscript. R.R.L. designed the study and reviewed/edited the manuscript, is the guarantor of this work, had full access to all the study data, and takes responsibility for the integrity of the data and the accuracy of the data analysis. All authors approved the final version of the manuscript.

Funding statement

The BETTER registry is funded by a Strategy Patient-Oriented Research (grant number JT1-157204) and Juvenile Diabetes Research Foundation (grant number 3-SRA-2024-1523-M-N). In addition, the BETTER registry is funded through non-restrictive grants from Dexcom, Eli Lilly & Co, Novo Nordisk, and Sanofi. Funding sources were not involved in data collection, analysis, and interpretation; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. Detailed information about funding can be found at <https://type1better.com/en/about/partners/>.

Data sharing

The BETTER registry's variable list can be found at <https://www.maelstromresearch.org/mica/individual-study/better>. Deidentified individual participant data used in the analysis and results reported in this article can be available following an acceptance by the BETTER scientific committee and a duly authorized ethics board. The Cost

of providing access to data and maintenance of the registry must also be covered. To explore the possibility of having access to the BETTER registry data, please contact the research team at better@ircm.qc.ca.

References

- [1] American Diabetes Association. 5. Lifestyle Management: Standards of Medical Care in Diabetes—2019. *Diabetes Care* 2019;42:S46–60. <https://doi.org/10.2337/dc19-S005>.
- [2] De Lima VA, Mascarenhas LPG, Decimo JP, De Souza WC, Monteiro ALS, Lahart I, et al. Physical Activity Levels of Adolescents with Type 1 Diabetes Physical Activity in T1D. *Pediatr Exerc Sci* 2017;29:213–9. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0199>.
- [3] Finn M, Sherlock M, Feehan S, Guinan EM, Moore KB. Adherence to physical activity recommendations and barriers to physical activity participation among adults with type 1 diabetes. *Ir J Med Sci* 1971 - 2022;191:1639–46. <https://doi.org/10.1007/s11845-021-02741-w>.
- [4] Dubé M-C, Valois P, Prud'homme D, Weisnagel SJ, Lavoie C. Physical activity barriers in diabetes: Development and validation of a new scale. *Diabetes Res Clin Pract* 2006;72:20–7. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2005.08.008>.
- [5] Brazeau A-S, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to Physical Activity Among Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care* 2008;31:2108–9. <https://doi.org/10.2337/dc08-0720>.
- [6] Huerta-Urbe N, Chueca-Guindulain MJ, Berrade-Zubiri S, Burillo-Sánchez E, Izquierdo M, García-Hermoso A. Is fear of hypoglycemia a major barrier to an active lifestyle in children and adolescents with type 1 diabetes? The Diactive-1 Study. *Scand J Med Sci Sports* 2023;sms.14369. <https://doi.org/10.1111/sms.14369>.
- [7] Tagougui S, Taleb N, Molvau J, Nguyen É, Raffray M, Rabasa-Lhoret R. Artificial Pancreas Systems and Physical Activity in Patients with Type 1 Diabetes: Challenges, Adopted Approaches, and Future Perspectives. *J Diabetes Sci Technol* 2019;13:1077–90. <https://doi.org/10.1177/1932296819869310>.

- [8] Andre CC, Kudva YC, Dadlani V, Cescon M, Mccrady-Spitzer SK, Church MM, et al. Perceived Barriers to Physical Activity in People with Type 1 Diabetes Using CGM. *Diabetes* 2019;68:734-P. <https://doi.org/10.2337/db19-734-P>.
- [9] Paiement K, Frenette V, Wu Z, Suppère C, Messier V, Lasalle-Vaillancourt A, et al. Is Better Understanding of Management Strategies for Adults With Type 1 Diabetes Associated With a Lower Risk of Developing Hypoglycemia During and After Physical Activity? *Can J Diabetes* 2022;46:526–34. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2022.02.009>.
- [10] Prévost MS, Rabasa-Lhoret R, Talbo MK, Yardley JE, Curry EG, Brazeau A-S. Gender Differences in Strategies to Prevent Physical Activity–Related Hypoglycemia in Patients With Type 1 Diabetes: A BETTER Study. *Diabetes Care* 2022;45:e51–3. <https://doi.org/10.2337/dc21-1899>.
- [11] Nefs G, Bevelander S, Hendrieckx C, Bot M, Ruige J, Speight J, et al. Fear of hypoglycaemia in adults with Type 1 diabetes: results from Diabetes MILES – The Netherlands. *Diabet Med* 2015;32:1289–96. <https://doi.org/10.1111/dme.12739>.
- [12] Anderbro T, Amsberg S, Adamson U, Bolinder J, Lins P -E., Wredling R, et al. Fear of hypoglycaemia in adults with Type 1 diabetes. *Diabet Med* 2010;27:1151–8. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03078.x>.
- [13] Brazeau A-S, Messier V, Talbo MK, Gagnon C, Taleb N, Fortier I, et al. Self-reported Severe and Nonsevere Hypoglycemia in Type 1 Diabetes: Population Surveillance Through the BETTER Patient Engagement Registry: Development and Baseline Characteristics. *Can J Diabetes* 2022;46:813–21. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2022.05.010>.
- [14] Clarke WL, Cox DJ, Gonder-Frederick LA, Julian D, Schlundt D, Polonsky W. Reduced Awareness of Hypoglycemia in Adults With IPPM. *DIABETES CARE* 1995;18.
- [15] Polonsky WH, Fisher L, Hessler D, Edelman SV. Investigating Hypoglycemic Confidence in Type 1 and Type 2 Diabetes. *Diabetes Technol Ther* 2017;19:131–6. <https://doi.org/10.1089/dia.2016.0366>.

- [16] O'Brien MW, Wojcik WR, D'Entremont L, Fowles JR. Validation of the PiezoRx® Step Count and Moderate to Vigorous Physical Activity Times in Free Living Conditions in Adults: A Pilot Study. *Int J Exerc Sci* 2018;11:541–51. <https://doi.org/10.70252/WCBC9967>.
- [17] Brazeau AS, Mircescu H, Desjardins K, Dubé MC, Weisnagel SJ, Lavoie C, et al. The Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes (BAPAD-1) scale: Predictive validity and reliability. *Diabetes Metab* 2012;38:164–70. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2011.10.005>.
- [18] Jabbour G. Vigorous Physical Activity Is Associated With Better Glycated Hemoglobin and Lower Fear of Hypoglycemia Scores in Youth With Type 1 Diabetes: A 2-Year Follow-Up Study. *Front Physiol* 2020;11.
- [19] Martyn-Nemeth P, Duffecy J, Quinn L, Park C, Mihailescu D, Penckofer S. A cognitive behavioral therapy intervention to reduce fear of hypoglycemia in young adults with type 1 diabetes (FREE): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2019;20:796. <https://doi.org/10.1186/s13063-019-3876-4>.
- [20] Chan CB, Ryan DA, Tudor-Locke C. Relationship between objective measures of physical activity and weather: a longitudinal study. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2006;3:21. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-3-21>.
- [21] Bélanger M, Gray-Donald K, O'loughlin J, Paradis G, Hanley J. Influence of Weather Conditions and Season on Physical Activity in Adolescents. *Ann Epidemiol* 2009;19:180–6. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2008.12.008>.
- [22] Koh YS, Asharani PV, Devi F, Roystonn K, Wang P, Vaingankar JA, et al. A cross-sectional study on the perceived barriers to physical activity and their associations with domain-specific physical activity and sedentary behaviour. *BMC Public Health* 2022;22:1051. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13431-2>.
- [23] Godoi A, Reis Marques I, Padrão EMH, Mahesh A, Hespanhol LC, Riceto Loyola Júnior JE, et al. Glucose control and psychosocial outcomes with use of automated insulin delivery for 12 to 96 weeks in type 1 diabetes: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Diabetol Metab Syndr* 2023;15:190. <https://doi.org/10.1186/s13098-023-01144-4>.

- [24] Sherr JL, Heinemann L, Fleming GA, Bergenstal RM, Bruttomesso D, Hanaire H, et al. Automated Insulin Delivery: Benefits, Challenges, and Recommendations. A Consensus Report of the Joint Diabetes Technology Working Group of the European Association for the Study of Diabetes and the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 2022;45:3058–74. <https://doi.org/10.2337/dci22-0018>.
- [25] Ferreira M, Neves JS, Neves C, Carvalho D. Physical exercise and glycemic management in patients with type 1 diabetes on insulin pump therapy—a cross-sectional study. *Acta Diabetol* 2023;60:881–9. <https://doi.org/10.1007/s00592-023-02070-7>.
- [26] Wadén J, Forsblom C, Thorn LM, Saraheimo M, Rosengård-Bärlund M, Heikkilä O, et al. Physical Activity and Diabetes Complications in Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care* 2008;31:230–2. <https://doi.org/10.2337/dc07-1238>.
- [27] Kluding PM, Bareiss SK, Hastings M, Marcus RL, Sinacore DR, Mueller MJ. Physical Training and Activity in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: Paradigm Shift. *Phys Ther* 2017;97:31–43. <https://doi.org/10.2522/ptj.20160124>.
- [28] Guédet C, Tagougui S, Suppère C, Boudreau V, Mathieu M -E., Brazeau A -S., et al. Limited impact of the PEP1 structured physical activity program on perceived barriers to physical activity in people living with type 1 diabetes. *Diabet Med* 2025:e70044. <https://doi.org/10.1111/dme.70044>.
- [29] Daskapan A, Tuzun EH, Eker L. PERCEIVED BARRIERS TO PHYSICAL ACTIVITY IN UNIVERSITY STUDENTS. *Journal of Sports Science and Medicine* 2006:615–20.
- [30] Hallal PC, Andersen LB, Bull FC, Guthold R, Haskell W, Ekelund U. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet* 2012;380:247–57. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60646-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1).
- [31] Brown PR, Brown WJ, Miller YD, Hansen V. Perceived Constraints and Social Support for Active Leisure Among Mothers With Young Children. *Leis Sci* 2001;23:131–44. <https://doi.org/10.1080/014904001316896837>.

- [32] Li Z, Yardley JE, Zaharieva DP, Riddell MC, Gal RL, Calhoun P. Changing Glucose Levels During the Menstrual Cycle as Observed in Adults in the Type 1 Diabetes Exercise Initiative Study. *Can J Diabetes* 2024;S149926712400128X. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2024.06.004>.
- [33] Herazo-Beltrán Y, Pinillos Y, Vidarte J, Crissien E, Suarez D, García R. Predictors of perceived barriers to physical activity in the general adult population: a cross-sectional study. *Braz J Phys Ther* 2017;21:44–50. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2016.04.003>.
- [34] Talbo MK, Katz A, Dostie M, Legault L, Brazeau A-S. Associations Between Socioeconomic Status and Patient Experience With Type 1 Diabetes Management and Complications: Cross-sectional Analysis of a Cohort From Québec, Canada. *Can J Diabetes* 2022;46:569–77. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2022.02.008>.
- [35] Lalanne-Mistrih M-L, Bonhoure A, Messier V, Boudreau V, Lebbar M, Talbo M, et al. Overweight and Obesity in People living with Type 1 Diabetes: a cross-sectional analysis of the BETTER registry. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews* 2024. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3837>.
- [36] Ball K, Crawford D, Owen N. Obesity as a barrier to physical activity. *Aust N Z J Public Health* 2000;24:331–3. <https://doi.org/10.1111/j.1467-842X.2000.tb01579.x>.
- [37] Farooqi A, Gillies C, Sathanapally H, Abner S, Seidu S, Davies MJ, et al. A systematic review and meta-analysis to compare the prevalence of depression between people with and without Type 1 and Type 2 diabetes. *Prim Care Diabetes* 2022;16:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2021.11.001>.
- [38] Heissel A, Heinen D, Brokmeier LL, Skarabis N, Kangas M, Vancampfort D, et al. Exercise as medicine for depressive symptoms? A systematic review and meta-analysis with meta-regression. *Br J Sports Med* 2023;57:1049–57. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106282>.
- [39] Figueroa CA, Aguilera A, Hoffmann TJ, Fukuoka Y. The Relationship Between Barriers to Physical Activity and Depressive Symptoms in Community-Dwelling Women. *Womens Health Rep* 2024;5:242–9. <https://doi.org/10.1089/whr.2023.0034>.

[40] Wu Z, Rabasa-Lhoret R, Messier V, Shohoudi A, Dasgupta K, Pelletier J, et al. Self-reported haemoglobin A1c highly agrees with laboratory-measured haemoglobin A1c among adults living with type 1 diabetes: A BETTER registry study. *Diabetes Metab* 2022;48:101277. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2021.101277>.

[41] Carlson AL, Sherr JL, Shulman DI, Garg SK, Pop-Busui R, Bode BW, et al. Safety and Glycemic Outcomes During the MiniMed™ Advanced Hybrid Closed-Loop System Pivotal Trial in Adolescents and Adults with Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther* 2022;24:178–89. <https://doi.org/10.1089/dia.2021.0319>.

III- Article 2 : Changes in barriers to physical activity in adults with type 1 diabetes: Association with clinical and psychological factors (Soumis)

Avant-propos

Ce deuxième article de thèse avait pour objectif d'évaluer l'évolution des barrières à l'AP perçues par les PvDT1. En effet, peu d'articles se sont intéressés aux effets du temps sur les barrières à l'AP et les facteurs qui pouvaient influencer celles-ci que ce soit des facteurs cliniques propres à la maladie ou davantage socio-démographiques. Jabbour et al (2020) se sont intéressés à l'évolution de ces barrières chez les adolescents et avaient simplement montré que les barrières à l'AP n'avaient pas évolué de façon générale (score BAPAD1) mais que la peur de l'hypoglycémie avait augmenté entre les deux visites espacées d'un an (244). Nous nous sommes alors demandé si ces barrières évoluaient également chez les adultes, dans quel sens et si des facteurs pouvaient influencer ces changements. Ainsi, grâce au registre BETTER, nous avons cherché à 1) identifier si les barrières à l'AP changeaient au cours du temps chez les PvDT1, 2) établir de nouvelles associations entre l'évolution des barrières à l'AP perçues et les caractéristiques socio-démographiques/facteurs spécifiques de la maladie.

Contributions détaillées

Pour cette étude, j’ai d’abord rédigé la première version du protocole d’accès aux données du registre BETTER avec le soutien du Dr. Rabasa-Lhoret, de la Dr. Anne-Sophie Brazeau et des coordinatrices de recherches Virginie Messier et Valérie Boudreau. Ce protocole a ensuite été affiné lors de rencontres avec les patients partenaires du registre BETTER. J’ai ensuite pu procéder aux analyses des données avec l’aide de Laure Alexandre-Heymann et Caroline Grou puis à l’écriture de la première version du manuscrit. Celui-ci a été relu par l’ensemble des co-auteurs avant que je puisse éditer la version finale de l’article pour soumission. Cet article est soumis dans « The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism ». À noter que cet article a également valu une présentation orale au congrès international de l’American Diabetes Association (ADA) en Juin 2025 à Chicago. Ne pouvant y assister, une des co-autrices, Jane Yardley a pu présenter pour moi.

Changes in physical activity barriers in adults with type 1 diabetes: the key role of psychological factors – findings from the BETTER registry

Capucine Guédet^{1,2,3} ; Laure Alexandre-Heymann¹ ; Jane Yardley^{1,2} ; Virginie Messier¹ ; Valérie Boudreau¹ ; Claude Laforest¹ ; Marie-Eve Mathieu^{2,4} ; Anne-Sophie Brazeau^{1,5} ; Sémah Tagougui³ ; Rémi Rabasa-Lhoret^{1,2,6,7}

¹ Montreal Clinical Research Institute (IRCM), Montreal, Quebec, Canada.

² School of Kinesiology and Physical Activity Sciences, Faculty of medicine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada.

³ Université de Lille, Université d'Artois, Université du Littoral Côte d'Opale, ULR 7369 – URePSSS – Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société (URPSSS), Lille, France

⁴ CHU Sainte-Justine Azrieli Research Center, Montreal, Quebec, Canada.

⁵ School of Human Nutrition, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada

⁶ Département de Nutrition, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada

⁷ Endocrinology Division, Montreal, Quebec, Canada

Correspondance : Pr. Rémi Rabasa-Lhoret
remi.rabasa-lhoret@ircm.qc.ca

Word count: 2866/4000, and 224/250 (Abstract), 3 tables, 2 figures.

KEYWORDS: type 1 diabetes, physical activity, perceived barriers, fear of hypoglycemia

Abstract

Aims: People living with type 1 diabetes (PwT1D) are less physically active than the general population, with fear of hypoglycemia representing the major barrier. This study evaluated changes in physical activity barriers over time and associated factors.

Materials and methods: Data were drawn from the Canadian BETTER registry of PwT1D. Adults (≥ 18 years) who completed the Barriers to Physical Activity in Diabetes (BAPAD-1) questionnaire at baseline and at 1-year of follow-up were included. Higher BAPAD-1 scores indicate greater perceived barriers to PA. Changes in BAPAD-1 scores were assessed using univariate (Spearman and Pearson correlations) and multivariate (stepwise regression) analyses. Variables included treatment modality, glucose monitoring method, A1c, occurrence of severe (level-3) hypoglycemia, confidence in managing hypoglycemia, fear of hypoglycemia, body mass index (BMI), depression, diabetes distress, and stigma.

Results: Among 306 participants, there was a small but significant decrease in BAPAD-1 scores over one year (2.6 ± 1.2 vs. 2.4 ± 1.1 , $p < 0.001$). Fear of hypoglycemia was no longer the primary barrier to PA. Reductions in BMI, fear of hypoglycemia, diabetes-related distress, and perceived stigma were significant predictors of lower BAPAD-1 scores.

Conclusions: Perceived barriers to PA decreased slightly over time among PwT1D in the BETTER registry and were primarily influenced by psychological factors. Targeted strategies to reduce fear of hypoglycemia, address diabetes-related distress and stigma may help reduce PA barriers and promote PA engagement in this population.

Introduction

Physical activity (PA) plays a crucial role in the health and quality of life of people living with type 1 diabetes (PwT1D), by improving both metabolic outcomes and psychological well-being¹. However, only 27–32% of adult PwT1D meet the recommended target of 150 minutes of moderate-to-vigorous PA per week^{2,3}. One explanation for this low adherence is the complexity of managing blood glucose levels around exercise due to exogenous insulin administration⁴. Creating a better understanding of the barriers faced by pwT1D could allow targeted strategies to encourage PA participation.

Dubé et al. (2006) developed the "Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes" questionnaire (BAPAD-1)⁵, which identifies the main barriers to PA across eleven items, as well as an overall barrier score. A higher BAPAD-1 score reflects greater perceived obstacles to engaging in PA. Multiple studies have used this tool, consistently identifying fear of hypoglycemia as a major barrier to PA among both young people and adults living with T1D^{2,6,7} even in recent cohorts with high use of new therapeutics and technologies⁸. Several other factors have been associated with higher perceived barriers to PA, including female sex, overweight or obesity, high HbA1c levels, taking medication for depression, and a lack of confidence in hypoglycemia management⁸. However, these findings are based on cross-sectional data and do not provide insight into whether these barriers persist over time or how they can be mitigated. Longitudinal studies are therefore essential to deepen our understanding of how these barriers change over time and to inform the development of targeted interventions that promote sustained PA among individuals with T1D.

To date, longitudinal research exploring the evolution of barriers to PA among individuals with T1D remains limited. Jabbour et al. (2020) reported no significant change in overall perceived barriers to PA after one or two years of follow-up in children and adolescents⁷. Specific barriers such as fear of hypoglycemia, living with diabetes, weather conditions, and school/work schedules

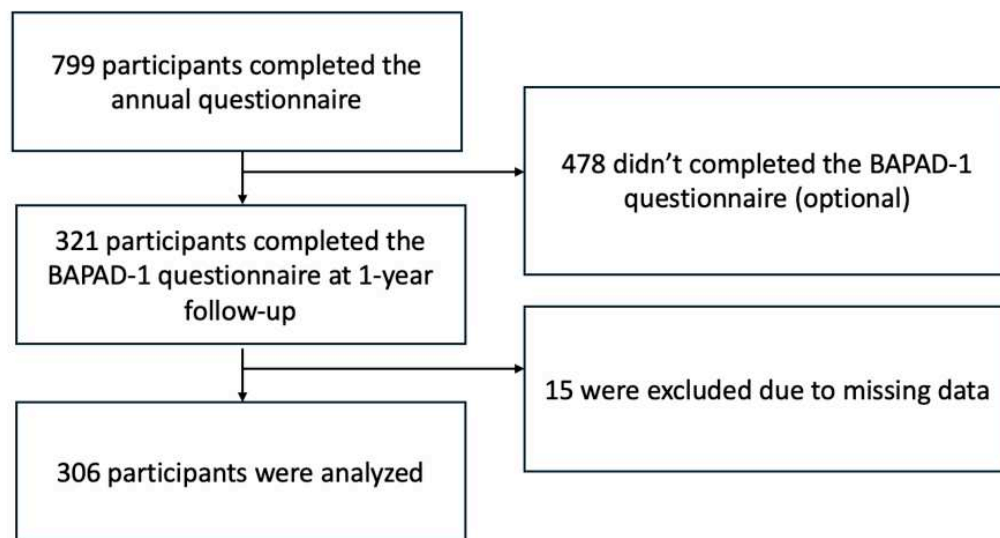
increased over time. It is important to note, however, that adolescence is a particularly challenging time for young people with T1D, who must manage their disease while navigating social, physical and emotional changes as they move into adulthood. Similarly, in adults with T1D, a 12-week intervention of one 90-minute PA promotion session per week did not improve perceived barriers⁹. In contrast, Brennan et al. found that a brief educational intervention reduced the barriers to PA¹⁰. Additional longitudinal research, including studies without intervention programs, is needed to better understand how these barriers evolve in adults living with T1D. This is particularly relevant given the potential impact that changes in the use of diabetes technology, disease parameters (e.g. frequency of hypoglycemia and HbA1c levels) and psychosocial factors could have on barriers to physical activity.

To address this gap, we used the BETTER registry, which provides comprehensive annual data on key personal, psychosocial, and clinical parameters of PwT1D¹¹. This longitudinal resource allows us to assess how new diabetes technologies, psychosocial characteristics, and disease-specific factors may influence the evolution of perceived barriers to PA. The aims of this study were 1) to assess the evolution of barriers to PA over time, and 2) to identify factors that might be associated with changes in these barriers. A better understanding of these factors could lead to strategies for more personalized and effective interventions to help PwT1D adopt and maintain an active lifestyle. Ultimately, these strategies could improve long-term metabolic and psychological outcomes.

Materials and Methods

Study design

We conducted a prospective analysis using data from the BEhaviors, Therapies, TEchnologies, and hypoglycemic Risk in T1D (BETTER) registry. BETTER is a Canadian registry developed in collaboration with PwT1D in 2019. It collects patient-reported data through online questionnaires on an annual basis (<https://type1better.com/en/home>; ethical approval No. 18.232 - MP-02-2019-7992)¹¹. Inclusion criteria were: age ≥ 18 years and completion of the BAPAD-1 questionnaire at both baseline and 1-year follow-up.

Figure 1 : Flowchart study

Developed in 2006, the BAPAD-1 is a validated questionnaire designed to assess the main perceived barriers to PA in PwT1D. It consists of eleven items, either diabetes-specific, such as fear of hypoglycemia or hyperglycemia, or more general, such as fitness level, weather conditions, or location of a gym⁵. Each item is rated from 1 (extremely unlikely) to 7 (extremely likely), and a mean of these scores is calculated to obtain the global BAPAD1 score.

Sociodemographic characteristics of sex, age, ethnicity, and duration of diabetes at enrollment were reported. Body mass index (BMI) and diabetes-related characteristics, including last HbA1C levels (categorized as <7%, 7.1 to 8%, 8.1 to 9%, and >9%) insulin delivery device type (multiple daily injections [MDI], continuous subcutaneous insulin infusion [CSII]), glucose monitoring method (capillary blood glucose monitoring or continuous glucose monitoring [CGM]), history of severe (level-3) hypoglycemia (i.e., low blood glucose level episode requiring help from another person or use of glucagon or hospitalization or loss of consciousness), number of level-1 hypoglycemic episodes in the last 3 days (i.e. measured blood glucose levels < 4.0 mmol/L [72 mg/dL] and/or disappearance of symptoms with carbohydrate intake) and impaired awareness of

hypoglycemia (Clarke scale, score ≥ 4)¹² at baseline and at 1 year of follow-up were analyzed. Validated questionnaires were used to measure participants' self-confidence to manage hypoglycemia (hypoglycemia confidence scale, HCS)¹³, fear of hypoglycemia (hypoglycemia fear survey, HFS-II)¹⁴, depression (patient health questionnaire-9, PHQ-9)¹⁵, diabetes-related distress (diabetes distress scale, DDS)¹⁶, and diabetes-associated stigma (diabetes stigma assessment scale, DSAS-1)¹⁷ (*table 1*).

Table 1 : Overview of validated questionnaires used

<i>Used questionnaires</i>	<i>Measurement</i>	<i>Composition</i>	<i>Interpretation</i>
Hypoglycemia confidence scale (HCS)	Self-confidence to manage hypoglycemia	9-item 4-point scale from 0 [not confident at all] to 3 [very confident]	Higher scores indicate more confidence to manage hypoglycemia
Hypoglycemia fear survey (HFS II)	Fear of hypoglycemia	33-item 5-point scale from 0 [never] to 4 [almost always]	Higher scores indicate more fear of hypoglycemia
Patient health questionnaire-9 (PHQ-9)	Depression	9-item 4-point scale from 0 [not at all] to 3 [nearly every day]	Higher scores indicate greater risk of depression (≥ 10 suggests possible depression)
Diabetes distress scale (DDS)	Diabetes-related distress	17-item 6-point scale from 1 [not a problem] to 6 [a very serious problem]	Higher scores indicate greater distress
Diabetes stigma assessment scale (DSAS-1)	Diabetes-associated stigmatization	19-item 5-point scale from 1 [strongly disagree] to 5 [strongly agree]	Higher scores indicate greater perceived stigma

Statistical analyses

All analyses were performed using IBM SPSS Statistics version 29 (IBM Corp, Armonk, New York, United States) and R version 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). The BAPAD-1 score was calculated, and the score for each item was presented as the mean \pm standard deviation (SD). The change in BAPAD-1 (Δ BAPAD-1) is the change in BAPAD-1 score from baseline to year 1 (Year 1 score - baseline score). Paired t-tests were performed to analyze differences between baseline and 1-year follow-up. Pearson or Spearman correlations were used to evaluate the relationships between all characteristics and BAPAD-1 score, depending on

whether the variables were continuous or categorical. A stepwise model selection using the Akaike information criterion was used to select variables in the multivariate model using a forward selection method starting from a null model. A p-value of <0.05 was considered statistically significant.

Results

Study population

A total of 306 individuals completed both the questionnaires at baseline and at 1 year of follow-up (*Figure 1*). At baseline, mean age was 49 ± 14 years, 60% were female, 98% were Caucasians and mean diabetes duration was 26 ± 16 years (*Table 2*).

Between baseline and follow-up, the average time elapsed was 1.05 ± 0.07 years. BMI, reported HbA1c, and the number of PwT1D using a pump did not significantly change over time. In contrast, after 1 year, a higher number of PwT1D used a CGM device (82 to 92%; $p<0.001$). The proportion of users of AID systems increased also over time (11% to 20%; $p<0.001$). Severe (level-3) hypoglycemia was less frequent at follow-up (15 to 8%; <0.001), and fear of hypoglycemia (represented by HFS II) and diabetes distress (represented by DDS) decreased over time ($p=0.002$ and $p<0.001$, respectively). Scores on the Hypoglycemia Confidence Scale, Clarke scale, Type 1 Diabetes Stigma Scale, and Patient Health Questionnaire-9 remained stable over time ($p > 0.05$).

Table 2 : Socio-demographic and diabetes related data at baseline and 1 year follow

	<i>Baseline</i>	<i>1 year follow-up</i>	<i>P</i>
Age (years), mean \pm SD	49.2 \pm 14.3		
Sex, Females n(%)	184 (60)		
Ethnicity, Caucasian n(%)	298 (98)		
Diabetes duration (Years), mean \pm SD	26.4 \pm 15.7		
BMI (Kg/m ²) mean \pm SD	26.3 \pm 4.7	26.5 \pm 4.7	0.251
Reported HbA1c, n(%)			0.130
< 7%	111 (36)	116 (38)	
7.1 to 8%	130 (43)	129 (42)	
8.1 to 9%	41 (13)	43 (14)	
> 9%	14 (5)	6 (2)	
Use CGM, yes n(%)	251 (82)	280 (92)	<0.001
Use Pump, yes n(%)	121 (40)	127 (42)	0.210
AID system, yes n(%)	35 (11)	60 (20)	<0.001
Recent severe (level-3) hypoglycemia, yes n(%)	47 (15)	24 (8)	<0.001
Hypoglycemia Confidence Scale, mean \pm SD	3.2 \pm 0.6	3.2 \pm 0.6	0.450
Clarke Questionnaire, mean \pm SD	1.9 \pm 1.8	1.9 \pm 1.8	0.869
Hypoglycemia Fear Survey Questionnaire, mean \pm SD	33.2 \pm 17.1	30.8 \pm 16.5	0.002
Diabetes Distress Scale, mean \pm SD	2.0 \pm 0.9	1.9 \pm 0.8	<0.001
Type 1 Diabetes Stigma Assessment Scale, mean \pm SD	39.1 \pm 15.7	39.7 \pm 15.4	0.252
Patient Health Questionnaire-9 score, mean \pm SD	4.7 \pm 4.8	4.5 \pm 4.3	0.316
Possible depression (score >10), n(%)	43 (14)	39 (13)	0.658

Legend : AID, automated insulin delivery; BMI, body mass index; CGM, continuous glucose monitoring; HbA1c, glycated hemoglobin

Notes:

A "Recent severe (level-3) hypoglycemia" is determined by "low blood sugar level episode requiring help from another person or use of glucagon or hospitalization or loss of consciousness" in the last 12 months

Change in barriers to PA

The BAPAD-1 score significantly decreased over time, from 2.6 ± 1.2 at baseline to 2.4 ± 1.1 at 1-year of follow-up ($p < 0.01$) (Table 3). Several specific barriers also showed a significant decline, including “fear of hypoglycemia,” “fear of being tired,” “fear of injury,” “low fitness level,” “physical health status (excluding diabetes),” and “gym location” ($p < 0.05$). Notably, at 1-year of follow-up, fear of hypoglycemia was no longer the primary barrier to PA.

Table 3: Evolution of BAPAD-1 score and score item over time

	<i>Baseline</i>	<i>1-year follow-up</i>	<i>Change</i>	<i>p</i>
BAPAD-1 score	2.6 ± 1.2	2.4 ± 1.1	-0.2 ± 1.0	<0.001
1- Loss of control over your diabetes	2.7 ± 1.9	2.7 ± 1.9	-0.1 ± 2.0	0.660
2- Fear of hypoglycemia	3.7 ± 2.0	3.3 ± 2.0	-0.4 ± 1.9	<0.001
3- Fear of being tired	2.6 ± 1.8	2.3 ± 1.6	-0.3 ± 1.7	0.005
4- Fear of hurting yourself	2.3 ± 1.6	2.0 ± 1.5	-0.3 ± 1.7	0.001
5- Fear of suffering a heart attack	1.7 ± 1.3	1.6 ± 1.2	-0.1 ± 1.3	0.114
6- A low fitness level	2.8 ± 1.9	2.6 ± 1.9	-0.2 ± 1.8	0.070
7- The fact that you have diabetes	2.4 ± 1.8	2.2 ± 1.6	-0.2 ± 1.7	0.093
8- Risk of hyperglycemia	2.0 ± 1.5	1.9 ± 1.4	-0.1 ± 1.6	0.382
9- Physical health status excluding your diabetes	2.7 ± 1.8	2.4 ± 1.8	-0.3 ± 1.8	0.011
10- Weather conditions	3.6 ± 2.0	3.6 ± 2.0	0.0 ± 2.3	0.941
11- The location of a gym	2.3 ± 1.7	2.0 ± 1.6	-0.3 ± 2.0	0.028
Having dependent children*	2.0 ± 1.8	2.1 ± 1.8	0.1 ± 1.8	0.379
Your work schedule*	3.1 ± 2.2	2.9 ± 2.1	-0.2 ± 2.0	0.155

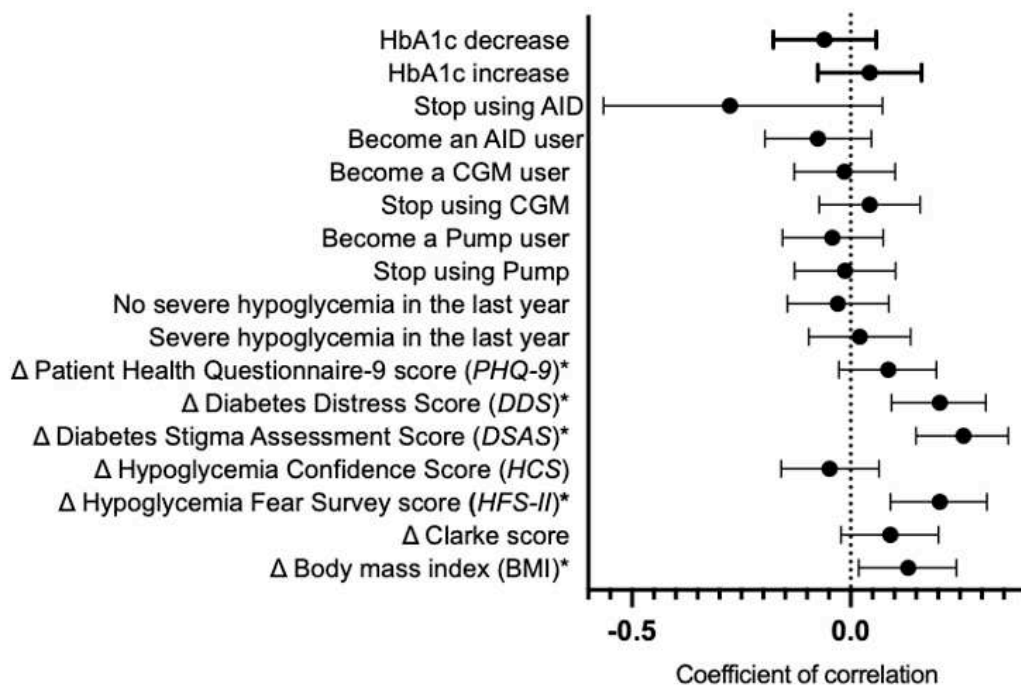
Legend : p with paired T test

* Additional exploratory items not included in total BAPAD-1 score

Exploration of Predictors of Changes in PA Barriers

Univariate analyses showed no significant association between Δ BAPAD-1 and variations in HbA1c categories, severe (level-3) hypoglycemia in the last year, initiation or discontinuation of AID system, insulin pump, or of CGM use (all $p > 0.05$) (*Figure 2*). Decreases in BMI, diabetes distress, stigma and fear of hypoglycemia were all significantly associated with a reduction in BAPAD-1 (all $p < 0.05$). In contrast, changes in depressive symptoms, as measured by the PHQ-9, showed no significant association with Δ BAPAD-1 (all, $p > 0.05$).

Figure 2: Correlation between Δ BAPAD score and other parameters



Legend : HbA1c: Glycated hemoglobin categorized as <7%, 7.1–8%, 8.1–9%, and >9% ;CGM: continuous glucose monitoring

*Statistically significant after stepwise analysis ($p < 0.05$)

A stepwise regression model was used to identify the factors most strongly associated with Δ BAPAD-1. The strongest predictors of an increase in BAPAD scores were higher levels of diabetes-related stigma, fear of hypoglycemia, diabetes distress, depression and along with a more elevated BMI (all, $p < 0.05$). Hypoglycemia confidence score tended to be associated with Δ BAPAD-1 ($p = 0.06$). In contrast, age, sex, diabetes duration, HbA1c, CGM use, insulin pump use, and recent severe (level-3) hypoglycemia did not improve model fit (all $p > 0.05$).

Discussion

This observational study is among the first to explore the evolution of barriers to PA over time in adults living with T1D. After 1 year of follow-up in the BETTER registry, the BAPAD-1 score decreased slightly, and fear of hypoglycemia was no longer the main barrier to PA. The evolution of BAPAD-1 scores over the study period was significantly associated with parallel changes in BMI, fear of hypoglycemia, diabetes-related distress, and perceived stigma. In contrast, changes in HbA1c were not associated with Δ BAPAD-1, however, most participants remained in the same HbA1c category throughout follow-up. In our multivariate analysis, decreases in BMI, fear of hypoglycemia, depression, diabetes-related distress, and stigma emerged as predictors of decreased barriers to PA over time.

Perceived barriers to PA decrease over time

There was a small but significant decrease in perceived barriers to PA between baseline and 1-year of follow-up among participants of the BETTER Registry. It is important to note that this change was measured despite scores already being relatively low, but comparable to several previous studies^{2,6-8}. To our knowledge, only one observational study has investigated the evolution of barriers to PA over time, focused on children and adolescents¹⁸. While this study did not find significant changes in BAPAD scores, it did report an increase over time in specific barriers such as school schedules, weather conditions, fear of hypoglycemia, and living with diabetes. These findings contrast with ours, but it is important to note that adolescence is often a challenging period. Our study extends the analysis to adults living with T1D. The observed decreased barriers

could be related to multiple factors including the observed significant reduction in severe (level-3) hypoglycemia, diabetes-related distress and fear of hypoglycemia. The increased usage of AID system and CGM, which coincides with better coverage of these devices in Québec, could explain some of these benefits.

While it might seem logical that an increase in CGM use would decrease barriers to PA, this relationship remains complex. In fact, one study showed no overall difference in barrier to PA between CGM users and non-users except for items “the fear of being tired”, “the fact that you have diabetes” and “the location of a gym”¹⁹. Our previous study found no direct association between CGM use and BAPAD-1 score⁸. Similarly, we failed to show a significant correlation between initiation of CGM use and Δ BAPAD-1 score in the present study. Nevertheless, Rilstone et al. demonstrated that usage of CGM is associated with reduced risk of hypoglycemia for up to 24 hours after exercise²¹. In our previous study of AID systems, we found that, when undertaking physical activity, a higher proportion of people in the AID group reported fear of hypoglycemia or loss of control over their diabetes compared to those using multiple daily injections or no CGM⁸. Yet, the benefits of AID systems in reducing the risk of hypoglycemia and improving glycemic control during physical activity were also demonstrated, even though these systems can still be improved²². We believe that it is now essential to work on reducing patients’ fears. It should be noted, however, that CGM and AID use changed for only a minority of the population (10%). Future research specifically targeting individuals who transition to new treatment modalities is needed to better understand the impact of technological advances on perceived barriers to PA.

An important result of the present study is that fear of hypoglycemia was no longer the most frequently reported barrier to PA after 1 year of follow-up. This result is particularly encouraging, as fear of hypoglycemia has consistently been identified as the primary barrier to engaging in PA for PwT1D^{2,6,22,23} including our recent analysis of individuals using new technologies⁸. In addition, the BETTER registry which was constructed with PwT1D, gives participants access to educational and supportive online resources (e.g., blogs, webinars, etc.; <https://type1better.com/>). These resources support the self-management and empowerment of PwT1D, which could contribute to a reduction in glucose fluctuations associated with PA, a reduction of perceived stigma, and a decrease in diabetes distress.

Body mass index

In the context of the increasing prevalence of obesity in PwT1D²⁴, it is noteworthy that in our study, the mean BMI remained relatively stable between baseline and the 1-year follow-up. Our previous research demonstrated that BMI significantly impacts perceived barriers to PA in PwT1D, with higher BAPAD-1 scores associated with overweight or obesity⁸. This has already been found in the general population²⁵. However, no study has looked at the impact of BMI on barriers over time. In our prospective analysis, variations in BMI were positively correlated with changes in BAPAD-1 scores. A higher BMI has been associated with alterations in the musculoskeletal system, and an increased risk of musculoskeletal pain²⁶. Furthermore, many studies focusing on people living with obesity have identified physical discomfort or pain as a major barrier to PA^{27–29}. For obese and overweight PwT1D, these physical limitations add to the burden of trying to manage glucose fluctuations associated with PA. Obesity is also linked to an increased risk of depression³⁰, representing another important barrier to PA³¹. Moreover, women with obesity reported less enjoyment during PA compared to non-obese women³². Hussien et al (2022) observed that individuals with severe obesity preferred walking (89%) and engaging in supervised PA (61%)³³. These findings highlight the need to develop targeted strategies to reduce barriers and limit the impact of excess weight, particularly for PwT1D who face additional specific barriers to PA.

Psychological Health

Nearly one in four PwT1D experience symptoms of depression³⁴. It is well established that depressive symptoms are associated with lower levels of PA, both in the general population³¹ and in PwT1D³⁵. Interestingly, regular PA is linked to fewer symptoms of mental health disorders and improved quality of life. Johansen et al. (2024) highlighted that psychological health plays a role as crucial as physical health and glycemic management in supporting PA engagement among PwT1D³⁶. Similarly, Thielen et al. (2023) reported that individuals with type 2 diabetes who experience depression or diabetes-related distress face more barriers to engaging in PA³⁷. These findings underscore the importance of better understanding the psychological barriers to PA in this population.

In our study, psychological health once again emerged as an important determinant of change in perceived barriers to PA. Specifically, reduction of diabetes-related distress, perceived stigma, and depressive symptoms were significant predictors of a reduction in BAPAD scores. Additionally, fear of hypoglycemia, which is known to be associated with depressive symptoms³⁸, and was identified as a predictor of evolving barriers to PA, highly correlated with stigma and diabetes-related distress. Given these interconnections, interventions that target both psychological well-being and self-management may be key to reducing barriers to PA. A pilot study reported that a brief educational intervention (3-hour session followed by a 1-hour booster session four weeks later), led to improvements at 12 weeks in overall barriers to PA, self-efficacy for post-exercise glucose management, diabetes distress and overall well-being¹⁰. Dyck et al (2018) found that a 4-week education and exercise program improved the self-efficacy of diabetes care providers to provide exercise advice but had no effect on PwT1D's perceived exercise self-efficacy³⁹. In contrast, a study by our team using a more intensive 12-week program, including 18 hours of PA promotion, education and exercise practice, showed no significant reduction in perceived barriers to PA⁹. These results suggest that an effective intervention may require a more comprehensive approach, perhaps combining education, exercise training and psychological or behavioral support. Psychological health needs to be considered when developing personalized strategies to promote PA in PwT1D.

Limitations & perspectives

Diabetes registries are important tools in T1D research, but they often remain subject to selection bias, particularly in prospective studies where motivation to respond may influence participation. The BETTER registry was codeveloped with the T1D community and requires self-online registration. It aims to limit bias by using multiple recruitment strategies (social media, face-to-face recruitment at T1D events and in healthcare centers, etc.) with targeted efforts to achieve social and geographical representativity (e.g., different languages, promotion to minority groups, etc.). Given the voluntary and online nature of registry participation, individuals enrolled in BETTER may be more engaged in self-management and have greater access to digital resources. This situation likely leads to an underrepresentation of individuals with lower health literacy,

limited internet access, or from socioeconomically disadvantaged backgrounds, potentially limiting the generalizability of our findings.

Although the data are self-reported, and therefore potentially subject to recall or response bias, we have previously demonstrated high agreement between self-reported and objectively measured data within this registry⁴⁰. Data for the present analysis were collected during the COVID-19 pandemic (2019-2022), which may have influenced PA levels. However, all prospective data collection was consistent throughout this period, limiting potential variability related to the pandemic. Furthermore, the literature reports conflicting effects of the pandemic on PA levels, with some increasing and others decreasing engagement in PA⁴¹. Finally, although our previous study found a negative correlation between BAPAD-1 scores and PA levels, we did not have objective measures of PA in this study⁸. Therefore, we cannot determine whether a reduction in perceived barriers led to an increase in PA.

Conclusion

Empowering individuals through education and access to information may help to reduce barriers to PA. Psychosocial factors appear to influence these barriers more than diabetes-related clinical characteristics. It is necessary to develop new tools to address fear of hypoglycemia, diabetes-specific psychological distress, and stigma experienced by PwT1D. Reducing these barriers could increase engagement in PA and improve overall health outcomes.

Acknowledgments

The authors thank the patient partners who have informed the development and implementation of the BETTER project, particularly C. Laforest, J. Pelletier, and M. Dostie, who contributed significantly to the project. One patient partner (C. Laforest) was part of this writing group. We are also grateful to the participants who enrolled in the BETTER registry and for the support in recruitment provided by the participating centers. We would also like to thank the biostatistician, Caroline Grou, for her help with the statistical analysis.

Conflict of interest

The authors declare the following financial interests/personal relationships, which may be considered as potential competing interests: L.A.H. holds a funded intercenter internship of the CardioMetabolic Health, Diabetes and Obesity Research Network. J.Y. receives funding from Diabetes Canada, Diabète Québec, the Canadian Institutes of Health Research, the Alberta Diabetes Institute, and the Women and Children's Health Research Institute, as well as in-kind support (consumables) from OneTouch and Dexcom. V.M. received purchase fees from Eli Lilly (artificial pancreas). M.E.M. is funded by the Canada Research Chairs program. A.S.B. is a Fonds de recherche du Québec en Santé Research Scholar; holds research grants from the Canadian Institutes of Health Research, Breakthrough T1D, Société Francophone du Diabète, and Diabète Québec; and has received speaker fees from Dexcom. P.A.S. has received grants from Breakthrough T1D, Canadian Institutes of Health Research, and Brain Canada and consulting or personal fees from Abbott, Bayer, Dexcom, Eli Lilly, GSK, Insulet, Novo Nordisk, Sanofi, Vertex Pharmaceuticals, and Ypsomed. He served previously as board chair for Diabetes Canada and is a co-lead for Diabetes Action Canada Innovations in Type 1 Diabetes Goal Group. He holds the Charles A. Allard Chair in Diabetes Research. R.R.L. reports 1) research grants, Diabetes Canada, AstraZeneca, Eli Lilly, Cystic Fibrosis Canada, Canadian Institutes of Health Research, Fondation Francophone pour la Recherche sur le diabète, Janssen, Breakthrough T1D, Merck, National Institutes of Health, Novo Nordisk, Société Francophone du Diabète, Sanofi, and Vertex Pharmaceuticals; 2) consulting/advisory panel, Abbott, AstraZeneca, Bayer, Boehringer Ingelheim, Dexcom, Eli Lilly, HLS Therapeutics, Institut national d'excellence en santé et services sociaux, Insulet, Janssen, Medtronic, Merck, Novo Nordisk, Pfizer, and Sanofi; 3) honoraria for conferences, Abbott, AstraZeneca, Boehringer Ingelheim, CPD Network, Dexcom, Canadian Medical & Surgical Knowledge Translation Research Group, Eli Lilly, Janssen, Medtronic, Merck, Novo Nordisk, Sanofi, Tandem Diabetes Care, and Vertex Pharmaceuticals; 4) consumable gift (in kind), Eli Lilly, and Medtronic; 5) unrestricted grants for clinical and educational activities, Abbott, Eli Lilly, Medtronic, Merck, Novo Nordisk, and Sanofi; 6) patent: T2D risk biomarkers, catheter life; and 7) purchase fees, Eli Lilly (artificial pancreas). No other potential conflicts of interest relevant to this article were reported.

Author contributions

C.G. designed the study, performed statistics, and wrote the manuscript. C.L. participated in study design, data interpretation and reviewed the manuscript. L.A.H. reviewed statistics, designed tables and the manuscript. V.M. prepared tables and reviewed/edited the manuscript. J.E.Y. assisted with the interpretation of the data and reviewed/edited the manuscript. A.S.B. designed the study, reviewed, and edited the manuscript. S.T., T.C., V.B., M.E.M. reviewed and edited the manuscript. R.R.L. designed the study and reviewed/edited the manuscript, is the guarantor of this work, had full access to all the study data, and takes responsibility for the integrity of the data and the accuracy of the data analysis. All authors approved the final version of the manuscript.

Funding statement

The BETTER registry is funded by a Strategy Patient-Oriented Research (grant number JT1-157204), Breakthrough T1D Canada (grant number 3-SRA-2024-1523-M-N), Diabetes Québec and the Diabetes research chair Mila & Brian Mulroney. In addition, the BETTER registry is funded through non-restrictive grants from Dexcom Canada, Eli Lilly & Co Canada, Novo Nordisk Canada, and Sanofi. Funding sources were not involved in data collection, analysis, and interpretation; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. Detailed information about funding can be found at <https://type1better.com/en/about/partners/>.

Data sharing

The BETTER registry's variable list can be found at <https://www.maelstromresearch.org/mica/individual-study/better>. Deidentified individual participant data used in the analysis and results reported in this article can be available following an acceptance by the BETTER scientific committee and a duly authorized ethics board. The cost of providing access to data and maintenance of the registry must also be covered. To explore the possibility of having access to the BETTER registry data, please contact the research team at better@ircm.qc.ca.

References

1. American Diabetes Association. 5. Lifestyle Management: Standards of Medical Care in Diabetes—2019. *Diabetes Care*. 2019;42(Supplement_1):S46-S60. doi:10.2337/dc19-S005
2. Finn M, Sherlock M, Feehan S, Guinan EM, Moore KB. Adherence to physical activity recommendations and barriers to physical activity participation among adults with type 1 diabetes. *Ir J Med Sci* 1971 -. 2022;191(4):1639-1646. doi:10.1007/s11845-021-02741-w
3. WU Z, YARDLEY JE, CHAHAL T, et al. 963-P: Is Using an Automated Insulin Delivery System Associated with a Higher Physical Activity Frequency? A BETTER Registry Analysis. *Diabetes*. 2024;73(Supplement_1):963-P. doi:10.2337/db24-963-P
4. MacDonald MJ. Postexercise Late-Onset Hypoglycemia in Insulin-Dependent Diabetic Patients. *Diabetes Care*. 1987;10(5):584-588. doi:10.2337/diacare.10.5.584
5. Dubé MC, Valois P, Prud'homme D, Weisnagel SJ, Lavoie C. Physical activity barriers in diabetes: Development and validation of a new scale. *Diabetes Res Clin Pract*. 2006;72(1):20-27. doi:10.1016/j.diabres.2005.08.008
6. Brazeau AS, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to Physical Activity Among Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*. 2008;31(11):2108-2109. doi:10.2337/dc08-0720
7. Jabbour G. Vigorous Physical Activity Is Associated With Better Glycated Hemoglobin and Lower Fear of Hypoglycemia Scores in Youth With Type 1 Diabetes: A 2-Year Follow-Up Study. *Front Physiol*. 2020;11.
8. Guédet C, Alexandre-Heymann L, Yardley J, et al. Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies: An Analysis from the BETTER registry. *Diabetes Metab*. Published online July 2025:101677. doi:10.1016/j.diabet.2025.101677
9. Guédet C, Tagougui S, Suppère C, et al. Limited impact of the PEP1 structured physical activity program on perceived barriers to physical activity in people living with type 1 diabetes. *Diabet Med*. Published online April 11, 2025:e70044. doi:10.1111/dme.70044

10. Brennan MC, Albrecht MA, Brown JA, Leslie GD, Ntoumanis N. Self-Management Group Education to Reduce Fear of Hypoglycemia as a Barrier to Physical Activity in Adults Living With Type 1 Diabetes: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Can J Diabetes*. 2021;45(7):619-628. doi:10.1016/j.jcjd.2021.01.001
11. Brazeau AS, Messier V, Talbo MK, et al. Self-reported Severe and Nonsevere Hypoglycemia in Type 1 Diabetes: Population Surveillance Through the BETTER Patient Engagement Registry: Development and Baseline Characteristics. *Can J Diabetes*. 2022;46(8):813-821. doi:10.1016/j.jcjd.2022.05.010
12. Clarke WL, Cox DJ, Gonder-Frederick LA, Julian D, Schlundt D, Polonsky W. Reduced Awareness of Hypoglycemia in Adults With IPPM. *DIABETES CARE*. 1995;18(4).
13. Polonsky WH, Fisher L, Hessler D, Edelman SV. Investigating Hypoglycemic Confidence in Type 1 and Type 2 Diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2017;19(2):131-136. doi:10.1089/dia.2016.0366
14. Gonder-Frederick LA, Schmidt KM, Vajda KA, et al. Psychometric Properties of the Hypoglycemia Fear Survey-II for Adults With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care*. 2011;34(4):801-806. doi:10.2337/dc10-1343
15. Kroenke K, Spitzer RL, Williams JBW. The Patient Health Questionnaire-2: Validity of a Two-Item Depression Screener. *Med Care*. 2003;41(11):1284-1292. doi:10.1097/01.MLR.0000093487.78664.3C
16. Fisher L, Polonsky WH, Hessler DM, et al. Understanding the sources of diabetes distress in adults with type 1 diabetes. *J Diabetes Complications*. 2015;29(4):572-577. doi:10.1016/j.jdiacomp.2015.01.012
17. Browne JL, Ventura AD, Mosely K, Speight J. Measuring Type 1 diabetes stigma: development and validation of the Type 1 Diabetes Stigma Assessment Scale (DSAS-1). *Diabet Med*. 2017;34(12):1773-1782. doi:10.1111/dme.13507

18. Jabbour G. Vigorous Physical Activity Is Associated With Better Glycated Hemoglobin and Lower Fear of Hypoglycemia Scores in Youth With Type 1 Diabetes: A 2-Year Follow-Up Study. *Front Physiol.* 2020;11:548417. doi:10.3389/fphys.2020.548417
19. Andre CC, Kudva YC, Dadlani V, et al. Perceived Barriers to Physical Activity in People with Type 1 Diabetes Using CGM. *Diabetes.* 2019;68(Supplement_1):734-P. doi:10.2337/db19-734-P
20. Rilstone S, Oliver N, Godsland I, Tanushi B, Thomas M, Hill N. A Randomized Controlled Trial Assessing the Impact of Continuous Glucose Monitoring with a Predictive Hypoglycemia Alert Function on Hypoglycemia in Physical Activity for People with Type 1 Diabetes (PACE). *Diabetes Technol Ther.* 2024;26(2):95-102. doi:10.1089/dia.2023.0376
21. Tagougui S, Taleb N, Molvau J, Nguyen É, Raffray M, Rabasa-Lhoret R. Artificial Pancreas Systems and Physical Activity in Patients with Type 1 Diabetes: Challenges, Adopted Approaches, and Future Perspectives. *J Diabetes Sci Technol.* 2019;13(6):1077-1090. doi:10.1177/1932296819869310
22. Ferreira M, Neves JS, Neves C, Carvalho D. Physical exercise and glycemic management in patients with type 1 diabetes on insulin pump therapy—a cross-sectional study. *Acta Diabetol.* 2023;60(7):881-889. doi:10.1007/s00592-023-02070-7
23. Cigrovski Berkovic M, Bilic-Curcic I, La Grasta Sabolic L, Mrzljak A, Cigrovski V. Fear of hypoglycemia, a game changer during physical activity in type 1 diabetes mellitus patients. *World J Diabetes.* 2021;12(5):569-577. doi:10.4239/wjd.v12.i5.569
24. Bonhoure A, Lalanne-Mistrih ML, Talbo M, et al. Gender differences in psychosocial outcomes according to BMI among adults living with type 1 diabetes: A cross-sectional BETTER analysis. *J Clin Transl Endocrinol.* 2025;41:100400. doi:10.1016/j.jcte.2025.100400
25. Ball K, Crawford D, Owen N. Obesity as a barrier to physical activity. *Aust N Z J Public Health.* 2000;24(3):331-333. doi:10.1111/j.1467-842X.2000.tb01579.x
26. Nantel J, Mathieu ME, Prince F. Physical Activity and Obesity: Biomechanical and Physiological Key Concepts. *J Obes.* 2011;2011:1-10. doi:10.1155/2011/650230

27. Egan AM, Mahmood WAW, Fenton R, et al. Barriers to exercise in obese patients with type 2 diabetes. *QJM*. 2013;106(7):635-638. doi:10.1093/qjmed/hct075
28. Joseph PL, Bonsignore A, Kunkel GF, Grace SL, Sockalingam S, Oh P. Benefits and Barriers to Exercise among Individuals with Class III Obesity. *Am J Health Behav*. 2019;43(6):1136-1147. doi:10.5993/AJHB.43.6.11
29. Baillot A, Chenail S, Barros Polita N, et al. Physical activity motives, barriers, and preferences in people with obesity: A systematic review. Kumar S, ed. *PLOS ONE*. 2021;16(6):e0253114. doi:10.1371/journal.pone.0253114
30. Chen Y, Jiang Y, Mao Y. Association between Obesity and Depression in Canadians. *J Womens Health*. 2009;18(10):1687-1692. doi:10.1089/jwh.2008.1175
31. Monteiro FC, Schuch FB, Deslandes AC, et al. Perceived barriers, benefits and correlates of physical activity in outpatients with Major Depressive Disorder: A study from Brazil. *Psychiatry Res*. 2020;284:112751. doi:10.1016/j.psychres.2020.112751
32. Leone LA, Ward DS. A Mixed Methods Comparison of Perceived Benefits and Barriers to Exercise Between Obese and Nonobese Women. *J Phys Act Health*. 2013;10(4):461-469. doi:10.1123/jpah.10.4.461
33. Hussien J, Brunet J, Romain AJ, Lemelin L, Baillot A. Living with severe obesity: adults' physical activity preferences, self-efficacy to overcome barriers and motives. *Disabil Rehabil*. 2022;44(4):590-599. doi:10.1080/09638288.2020.1773944
34. Farooqi A, Gillies C, Sathanapally H, et al. A systematic review and meta-analysis to compare the prevalence of depression between people with and without Type 1 and Type 2 diabetes. *Prim Care Diabetes*. 2022;16(1):1-10. doi:10.1016/j.pcd.2021.11.001
35. Trief PM, Xing D, Foster NC, et al. Depression in Adults in the T1D Exchange Clinic Registry. *Diabetes Care*. 2014;37(6):1563-1572. doi:10.2337/dc13-1867
36. Johansen RF, Caunt S, Heller S, et al. Factors Influencing Physical Activity Level in Adults With Type 1 Diabetes: A Cross-Sectional Study. *Can J Diabetes*. 2024;48(7):431-438.e1. doi:10.1016/j.cjcd.2024.06.002

37. Thielen SC, Reusch JEB, Regensteiner JG. A narrative review of exercise participation among adults with prediabetes or type 2 diabetes: barriers and solutions. *Front Clin Diabetes Healthc.* 2023;4:1218692. doi:10.3389/fcdhc.2023.1218692
38. Levis B, Benedetti A, Thombs BD. Accuracy of Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9) for screening to detect major depression: individual participant data meta-analysis. *BMJ.* Published online April 9, 2019;11476. doi:10.1136/bmj.11476
39. Dyck RA, Kleinman NJ, Funk DR, Yeung RO, Senior P, Yardley JE. We Can Work (It) Out Together: Type 1 Diabetes Boot Camp for Adult Patients and Providers Improves Exercise Self-Efficacy. *Can J Diabetes.* 2018;42(6):619-625. doi:10.1016/j.jcjd.2018.02.006
40. Wu Z, Rabasa-Lhoret R, Messier V, et al. Self-reported haemoglobin A1c highly agrees with laboratory-measured haemoglobin A1c among adults living with type 1 diabetes: A BETTER registry study. *Diabetes Metab.* 2022;48(1):101277. doi:10.1016/j.diabet.2021.101277
41. Bu F, Bone JK, Mitchell JJ, Steptoe A, Fancourt D. Longitudinal changes in physical activity during and after the first national lockdown due to the COVID-19 pandemic in England. *Sci Rep.* 2021;11(1):17723. doi:10.1038/s41598-021-97065-

IV- Article 3: Limited impact of the PEP1 structured physical activity program on perceived barriers to physical activity in people living with type 1 diabetes (Publié)

Avant-propos

Cette lettre de recherche a été écrite dans le but de répondre à un questionnement sur l'impact d'un programme de promotion de l'AP sur les barrières à l'AP chez les PvDT1 après la rédaction du premier article de thèse. En effet, au cours de la rédaction de celui-ci, nous avons émis l'hypothèse que l'apport de connaissances dans la gestion du DT1 au cours de l'activité physique pourrait permettre de réduire les barrières à l'AP. L'étude PEP-1 a été réalisée en 2013 au sein du laboratoire du Dr. Rabasa-Lhoret et avait déjà mené lieu à un article (247) mais les données sur le questionnaire BAPAD-1 n'avaient pas été entièrement exploitées. Au cours de cette thèse, j'ai donc choisi de réanalyser ces données pour répondre à notre hypothèse.

Contributions détaillées

Pour cet article, j'ai réalisé l'ensemble des analyses des données des questionnaire BAPAD-1 ainsi que la rédaction de la première version de cette lettre de recherche. L'ensemble des co-auteurs ont ensuite révisé le manuscrit et j'ai procédé aux corrections ainsi qu'à la soumission de la lettre de recherche dans le journal « Diabetic Medicine ».

Limited impact of the PEP1 structured Physical Activity Program on perceived Barriers to Physical Activity in People Living with Type 1 Diabetes

C. Guédet ^{1,2,3} ; S. Tagougui ³ ; C. Suppère ¹ ; V. Boudreau ¹ ; M-E. Mathieu ^{2,4} ; A-S. Brazeau ^{1,5} ; R. Rabasa-Lhoret ^{1,2,6,7}

¹ Montreal Clinical Research Institute (IRCM), Montreal, Quebec, Canada.

² School of Kinesiology and Physical Activity Sciences, Faculty of medicine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada.

³ Université de Lille, Université d'Artois, Université du Littoral Côte d'Opale, ULR 7369 – URePSSS – Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société (URPSSS), Lille, France

⁴ CHU Sainte-Justine Azrieli Research Center, Montreal, Quebec, Canada.

⁵ School of Human Nutrition, McGill University, Sainte-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada

⁶ Département de Nutrition et de médecine, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Montreal, Quebec, Canada

⁷ Endocrinology Division, Centre hospitalier de l'université de Montreal, Quebec, Canada

Correspondance :

Pr. Rémi Rabasa-Lhoret

remi.rabasa-lhoret@ircm.qc.ca

Physical activity (PA) has many benefits for people living with type 1 diabetes (PwT1D), including improved glycemic control and reduced cardiovascular risk (1). Despite these advantages, only 32% of PwT1D meet PA recommendations (2). In 2008, Brazeau et al. identified fear of hypoglycemia as the primary barrier to PA in pwT1D (3). Subsequent studies have echoed these findings, suggesting that education and promotion of PA may help mitigate these barriers (2,3). Brazeau et al. developed 3 months 'physical exercise promotion' (PEP1) program aiming to increase PA levels (4). Although no significant change in objectively measured PA level was reported, participants in the intervention group presented a trend toward increased intention to practice PA post-intervention and at the 1-year follow-up (both $p = 0.07$). However, whether perceived barriers to PA were reduced remains unclear.

To address this question, the data from the PEP-1 study (4) were analyzed for participants who completed the Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes (BAPAD) questionnaire at baseline, post-intervention and 1-year follow-up. The BAPAD questionnaire, validated by Dubé et al. (2006) (5), calculates an average score over the first 11 items. Each item is scored on a scale of 1 to 7, with 7 indicating more barriers. Inclusion criteria were: age between 18 and 65 years, a T1D diagnosis for at least 12 months, and less than 150 minutes of physical activity per week at baseline. Exclusion criteria included major microvascular and macrovascular complications in the previous 6 months, and pregnancy. Participants were randomized into two groups: control group and intervention group. All participants received brochures with information on the benefits of PA and how to incorporate it into their daily lives. The intervention group consisted of twelve sessions divided into two parts: 60 minutes of different activities (cardiovascular, muscular and flexibility) to initiate PA and introduce participants to a variety of exercises and sports, and 30 minutes of advice on PA and glycemic management in relation to PA. BAPAD scores were compared before the intervention, after the intervention, and one year after inclusion using the MIXED procedure for repeated measures in SPSS statistical software.

Data was available for 41 participants, 21 completed the intervention group and 20 the control group. The rate of attendance at the sessions in the intervention group was $82\pm 12\%$. Mean BAPAD scores for the intervention group changed from 2.7 ± 1.0 at baseline to 2.5 ± 0.7 post intervention and remained at 2.5 ± 1.1 at the 1-year follow-up, while control group scores changed from 2.8 ± 1.0 at baseline to 2.5 ± 0.9 post intervention and then to 2.7 ± 0.9 at the 1-year follow-up. No significant difference was observed in BAPAD scores between the time points or between the groups ($p>0.05$).

A 12-week PA-promotion program with a total of 18-hours of interventions did not significantly reduce overall perceived barriers to PA. One potential explanation for this finding is the relatively low BAPAD score at baseline, though it is consistent with the mean score reported by other studies (2,3,6). Future research might benefit from targeting PwT1D who report higher baseline barriers to PA. Nevertheless, this study was conducted with individuals who do not meet PA recommendations (i.e., ≥ 150 minutes of moderate to vigorous PA per week), potentially already including people who perceive a higher level of barriers to PA. Furthermore, the program focused on diabetes management and PA, introducing simple and practical activities that could be easily integrated into daily life. Adopting new behaviors and modifying perceptions, particularly regarding barriers, remain significantly challenging. Another potential reason for the absence of significant results could be the relatively short duration of the intervention. Shifting perceptions of barriers to PA often requires sustained exposure to interventions over a longer period. It is possible that the intervention was insufficient in duration to induce meaningful psychological or behavioral changes. Furthermore, the participants may have required a more tailored approach, addressing individual-specific barriers rather than a generalized program. It is also important to note that pwT1D faces many of the same barriers as the general population, such as lack of time, motivation, and energy, which are not fully addressed by the BAPAD questionnaire. It is thus unclear if reducing barriers for PA in PwT1D is extremely hard or if the BAPAD score needs some update to better capture all issues.

To conclude, the intervention did not significantly reduce barriers to PA among PwT1D. Future programs should explore new strategies, including extended durations and personalized approaches, to address these challenges and encourage greater PA engagement. Updating the BAPAD questionnaire might be necessary to inform better interventions design.

Reference :

1. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* mai 2017;5(5):377-90.
2. Finn M, Sherlock M, Feehan S, Guinan EM, Moore KB. Adherence to physical activity recommendations and barriers to physical activity participation among adults with type 1 diabetes. *Ir J Med Sci* 1971 -. août 2022;191(4):1639-46.
3. Brazeau AS, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to Physical Activity Among Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care.* 1 nov 2008;31(11):2108-9.
4. Brazeau AS, Gingras V, Leroux C, Suppère C, Mircescu H, Desjardins K, et al. A pilot program for physical exercise promotion in adults with type 1 diabetes: the PEP-1 program. *Appl Physiol Nutr Metab.* avr 2014;39(4):465-71.
5. Dubé MC, Valois P, Prud'homme D, Weisnagel SJ, Lavoie C. Physical activity barriers in diabetes: Development and validation of a new scale. *Diabetes Res Clin Pract.* avr 2006;72(1):20-7.
6. Jabbour G, Bragazzi NL. Continuous Blood Glucose Monitoring Increases Vigorous Physical Activity Levels and Is Associated With Reduced Hypoglycemia Avoidance Behavior In Youth With Type 1 Diabetes. *Front Endocrinol.* 7 sept 2021;12:722123.

Chapitre 4 – Discussion

Cette thèse présente les résultats de trois études distinctes : l'*étude 1* s'est appuyée sur les données descriptives du registre BETTER, l'*étude 2* sur ses données prospectives, et l'*étude 3* sur celles recueillies dans le cadre d'un programme de promotion de l'AP. Ces trois études de thèse ont rapporté des scores BAPAD1 similaires (*Figure 17*), autour de 2,7 sur 7, traduisant un niveau globalement modéré de barrières perçues à l'AP. Parmi ces barrières, la peur de l'hypoglycémie apparaissait comme la plus importante. Seule l'étude 2, portant sur les données prospectives du registre BETTER, a observé que la peur de l'hypoglycémie n'était pas la barrière à l'AP la plus importante après un an d'inscription au registre, dépassé par les conditions météorologiques. L'horaire de travail et la peur de perte de contrôle du diabète faisaient également partie des barrières perçues par les PvDT1 les plus importantes avec plus de 30 % des PvDT1 qui déclaraient celles-ci comme une barrière (251). La peur de l'hypoglycémie ou de perte de contrôle du diabète étaient plus marquée chez les personnes utilisant un système AID, un CGM couplé avec un traitement par MDI ou CSII comparativement à celles utilisant n'utilisant pas de CGM et un traitement MDI. Les femmes, ainsi que les personnes présentant un faible niveau d'éducation ou de revenu, semblaient plus susceptibles de percevoir des barrières à la pratique d'une AP. Ce constat concernait également les individus vivant avec un surpoids ou une obésité, souffrant de dépression ou récemment diagnostiqués. Par ailleurs, un moins bon contrôle glycémique, la présence de complications microvasculaires, un manque de confiance dans la gestion des hypoglycémies ou la survenue récente d'une hypoglycémie sévère étaient également associés à une perception accrue de ces barrières. L'étude prospective a montré que les barrières à l'AP sont susceptibles de diminuer au fil du temps pour les participants du registre BETTER. Les facteurs associés à cette diminution seraient notamment une réduction de l'IMC, de la peur de l'hypoglycémie, de la détresse et de la stigmatisation liées au diabète ainsi que de la dépression. En revanche, une intervention de promotion de l'AP de 4 mois n'a pas permis de réduire ces barrières, ni immédiatement après le programme, ni un an plus tard.

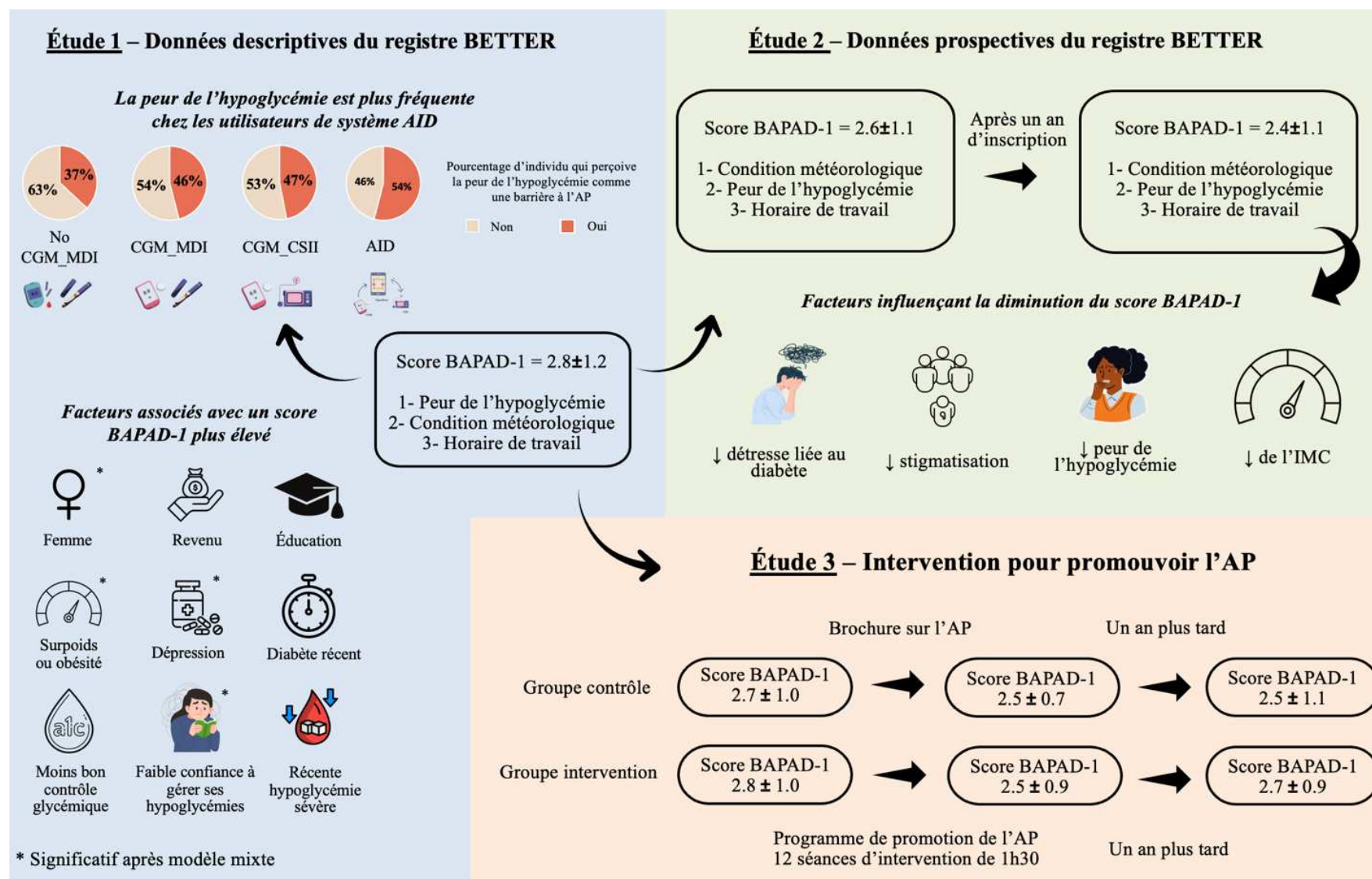


Figure 17 – Synthèse des résultats des trois études de la thèse : facteurs associés, évolution et effets d'une intervention de promotion de l'AP sur les barrières à l'AP

I- Impuissance des nouvelles technologies pour réduire les barrières à l'activité physique

Les résultats de nos deux études, descriptive et prospective du registre BETTER, qui se sont intéressées à l'impact des modalités de traitement et de surveillance glycémique, n'ont montré aucune corrélation entre les barrières à l'AP et le fait d'utiliser ou non les outils technologiques (e.g., CGM, une pompe à insuline ou un système AID). Plus surprenant encore, en divisant notre population en quatre groupes selon les modalités de surveillance glycémique et d'administration de l'insuline, nous avons observé que les personnes sans CGM et encore sous multi-injections étaient moins nombreuses à considérer la peur de l'hypoglycémie et la peur de perte de contrôle du diabète comme barrières à l'AP, comparativement aux autres groupes (CGM avec MDI, CGM avec CSII et système AID). Pourtant, de nombreuses études avaient montré que les nouvelles technologies (CGM, CSII, AID) facilitaient et amélioraient la gestion du diabète (213,252,253). Rilstone et al. (2024) avaient rapporté, dans un essai randomisé contrôlé, que l'utilisation d'un CGM diminuait le risque d'hypoglycémie pendant et après l'exercice (213). De même, Jabbour et al. (2021) avaient observé que le CGM réduisait le nombre d'hypoglycémies liées à l'AP (253). Chez des adolescents vivant avec le DT1 et pratiquant des sports d'hiver, les boucles fermées amélioraient également le contrôle glycémique et diminuaient le risque d'hypoglycémie (252). Nos résultats vont ainsi à l'encontre de l'effet positif attendu des nouvelles technologies, censées réduire certaines barrières à l'AP, notamment la peur de l'hypoglycémie. Il est toutefois essentiel de rappeler que le questionnaire BAPAD1 évalue le ressenti et la perception des personnes, et non les paramètres glycémiques objectifs. Comme pour un examen, une personne peut avoir moins de risque objectif d'échouer en étant mieux outillée mais ne pas ressentir cet avantage. Ici, un mécanisme similaire pourrait s'appliquer à l'hypoglycémie : bien que le risque soit effectivement réduit grâce aux nouvelles technologies, les PvDT1 pourraient ne pas en percevoir pleinement les bénéfices. Par ailleurs, les courbes continues fournies par les CGM permettent d'identifier plus clairement les fluctuations glycémiques associées à l'AP que les mesures capillaires. Deux autres études avaient néanmoins montré une diminution de la peur de l'hypoglycémie grâce au CGM, que ce soit dans la vie quotidienne ou lors de l'AP (253,254). La récente méta-analyse de Roos et al. (2024) avait confirmé une réduction de cette peur avec les boucles fermées (255). En revanche, Jabbour et al. (2021) n'avaient pas retrouvé de différence significative concernant la peur de

l'hypoglycémie entre multi-injections et CSII (253). Par ailleurs, les participants du registre BETTER utilisant un système AID déclarent pratiquer environ 10 % d'AP hebdomadaire en plus, toutefois sans différence statistiquement significative par rapport aux autres modalités de traitement, après ajustement pour le sexe, l'âge, la durée du diabète ainsi que les niveaux de revenus et d'éducation (256).

Les nouvelles technologies représentent des avancées majeures pour la gestion du DT1, mais leur utilisation peut aussi engendrer du stress et repose sur la confiance et les connaissances des utilisateurs. En effet, les CGM offrent une vision continue des glycémies, multipliant les informations ce qui peut aussi devenir une source de stress, comme l'a exprimé une participante de l'étude qualitative de Sørgård et al. en 2019 (257). L'AP a été également identifiée comme un contexte pouvant fragiliser la confiance en la technologie (258). Par exemple, la précision des CGM est réduite lors de l'AP comparativement au repos (259). Le temps de latence entre la glycémie sanguine et celle mesurée dans le liquide interstitiel peut ainsi compromettre la prévention, le diagnostic et le traitement des épisodes d'hypoglycémie. Zaharieva et al. ont notamment rapporté un délai de plus de dix minutes entre la glycémie interstitielle mesurée par CGM et la glycémie capillaire lors d'un exercice aérobique (260). De plus, même si les systèmes AID incorporent une fonction AP qui vise une glycémie plus haute, pour que cette fonction procure un bénéfice significatif il faut qu'elle soit mise en place 60 à 120 minutes avant l'AP ce qui nécessite une anticipation qui n'est pas toujours possible avec le mode de vie actuel (208). Rankin et al. ont rapporté que certains parents préféraient déconnecter la pompe et ajuster manuellement les doses d'insuline durant l'exercice (261). De récentes perspectives d'amélioration des systèmes AID ciblent d'ailleurs spécifiquement l'AP, avec le développement de boucles fermées intégrant du glucagon, afin de reproduire plus efficacement la physiologie du contrôle glycémique et de limiter le risque d'hypoglycémie à l'exercice (262). La performance des systèmes AID dans des conditions de variation rapide de la glycémie comme avec l'AP nécessite encore de multiples améliorations (263). L'intégration d'approches d'apprentissage automatique au sein de ces systèmes pourrait également contribuer à en améliorer les performances (217,218). Néanmoins, la majorité des études mettent tout de même en avant les bénéfices de ces nouvelles technologies, avec une diminution de la détresse liée au diabète et une amélioration de la qualité de vie et du bien-être (254,255,264). Enfin, l'accès aux nouvelles technologies reste une limite importante, surtout dans les systèmes de

santé sans couverture universelle. Les personnes ayant un niveau socioéconomique plus faible y ont souvent un accès limité, ce qui peut accentuer les inégalités et renforcer les obstacles à la pratique d'AP (112). Des études centrées sur l'AP sont nécessaires afin de mieux comprendre comment faire évoluer les nouvelles technologies pour réduire les barrières à l'AP et favoriser un engagement plus régulier dans une AP.

II- L'importance des aspects psycho-sociaux

Parmi l'ensemble des obstacles identifiés, la peur de l'hypoglycémie demeure la barrière la plus fréquemment rapportée à la pratique d'AP (175,239–241,243,244,246,251), et a déjà été associée à plusieurs reprises à un moindre niveau d'AP (241,251). Néanmoins, cette relation n'est pas systématique. Roberts et al. (2020) ont par exemple observé chez des enfants que ceux qui déclaraient le plus de peur de l'hypoglycémie pratiquaient paradoxalement davantage d'AP (265). Cela suggère un lien plus complexe et que cette peur ne conduit pas nécessairement à l'évitement suivant les individus. Il pourrait être pertinent d'observer plus précisément ce lien selon l'âge, le sexe ou d'autres paramètres psychosociaux. En effet, contrairement aux nouvelles technologies dont l'association avec les barrières à l'AP demeure peu claire, les caractéristiques psychosociales ont, elles, montré des associations robustes.

L'impact du statut socio-économique

Les revenus et le niveau d'éducation ont montré des corrélations négatives avec les barrières à l'AP. Ces résultats sont comparables à ceux observés dans la population générale, où les personnes vivant avec un plus faible revenu ou niveau d'éducation présentent davantage de barrières à l'AP (266). L'accès à l'information, le coût, l'environnement, la culture sociale ou encore les responsabilités familiales constituent autant de barrières plus présentes chez ces populations (267,267–270). Beenackers et al. (2012) ont montré que les personnes avec une position socio-économique élevée pratiquaient davantage d'AP pendant leur temps libre, comparativement à celles avec une position plus faible (271). En revanche, l'AP professionnelle était plus répandue dans ce dernier groupe, ce qui pourrait expliquer leur moindre pratique d'AP de loisir (272).

L'ensemble de ces résultats montre l'importance d'accompagner davantage les populations défavorisées dans la pratique d'une AP de loisir. Un besoin de soutien, de confiance et d'acquisition de compétences a par ailleurs été exprimé dans cette population comme élément nécessaire pour augmenter son niveau d'AP, en particulier chez les femmes (268).

L'impact non négligeable du genre

Les femmes, qu'elles vivent ou non avec le DT1 semblent plus fortement touchées par les barrières à l'AP que leurs homologues masculins (273) (251). Hoebeke et al. (2008) ont montré que, chez les femmes à faible revenu, les freins à la pratique étaient principalement liés à la fatigue, à la culture, à des problèmes de santé, mais aussi à un manque d'encouragement (267). Récemment, la responsabilité familiale a été mentionnée par 45 % d'entre elles comme une barrière à l'AP, devant le manque de confiance en soi (30 %) et la difficulté d'accès aux installations (27 %) selon Ominyi et al. (2025) (274). Les femmes ressentaient également la discrimination comme une barrière plus importante à l'AP comparativement aux hommes (270). Une récente revue de littérature chez les PvDT1 de Heyman et al. (2025) a également souligné que la peur de l'hypoglycémie était plus présente chez les femmes/filles que chez les hommes/garçons (275). Les stratégies pour limiter ce risque d'hypoglycémie diffèrent également selon le sexe : les femmes privilégient la réduction de la dose d'insuline, tandis que les hommes favorisent la prise de collations (212).

Détresse et stigmatisation : des facteurs émergents

La détresse ou la stigmatisation liée au diabète sont deux autres facteurs que nous avons identifiés comme déterminant dans l'évolution des barrières à l'AP (251). À notre connaissance, aucune étude ne s'était intéressée jusqu'à présent à l'impact spécifique de ces deux paramètres sur les barrières à l'AP. En revanche, deux études qualitatives avaient déjà rapporté l'influence négative de l'impact social ou du fait de devoir révéler leur diabète dans les salles de sport ou les cours collectifs sur leur envie à pratiquer l'AP (224,236). La stigmatisation, envers les femmes ou encore les personnes en situation d'obésité, avaient déjà été révélée comme barrières à l'AP dans la

population générale (276). La lutte contre la stigmatisation, notamment par la sensibilisation et la formation des soignants à des conseils pratiques, constitue une piste prometteuse qui pourrait également être appliquée dans le cadre de la pratique d'AP (277). La stigmatisation est par ailleurs fortement liée à la détresse liée au diabète (278,279), elle-même liée avec la peur de l'hypoglycémie, principale barrière à l'AP ce qui peut fortement expliquer notre résultat. Cette détresse liée au diabète est également souvent liée à un manque de motivation, de la fatigue ou un mauvais état de santé de façon générale (280), d'autres caractéristiques propres des barrières à l'AP.

La dépression : briser le cercle vicieux

Ce paysage psychosocial doit aussi inclure la dépression, fortement corrélée à la détresse et à la stigmatisation, et qui est de plus en plus prévalente chez les PvDT1 (94,278). En effet, les PvDT1 font face aux mêmes enjeux psychosociaux que la population générale, mais doivent en plus gérer en permanence les fluctuations glycémiques, ce qui représente une charge mentale importante et nécessite de nombreuses décisions au quotidien (281). La dépression génère des symptômes chroniques (*e.g.* fatigue, manque de motivation, prise de poids...) qui influencent fortement les barrières à l'AP (266). Bien que l'AP soit considérée comme un traitement non-médicamenteux efficace (282,283), les personnes dépressives avec ou sans DT1 pratiquent souvent moins d'AP (284–286). L'effort physique en lui-même constituait la barrière la plus importante à la pratique d'AP chez les personnes vivant sans DT1 présentant des symptômes dépressifs (286), tandis que Figueroa et al. ont montré que, chez les PvDT1 présentant des symptômes dépressifs, les principaux freins étaient l'influence sociale et le manque d'énergie (287). Néanmoins, chez les personnes présentant des symptômes dépressifs, le taux d'abandon des participants engagés dans un programme d'AP demeure faible (< 20 %) (301), soulignant ainsi l'importance de réduire les barrières initiales à la pratique. Maintenant que ces barrières sont mieux identifiées, de nouveaux leviers doivent désormais être développés, afin de rompre ce cercle vicieux et d'améliorer la santé physique et psychologique des PvDT1.

III- Impact de la santé physique

Notre étude descriptive a montré qu'un état de santé physique altéré (hors diabète) était rapporté comme un obstacle par près d'un quart des participants (251). Parmi les indicateurs de santé physique non directement liés au diabète, l'IMC est apparu comme le seul facteur positivement corrélé aux barrières à l'AP dans notre étude descriptive (251), et également comme un facteur associé à leur augmentation au fil du temps (288). À notre connaissance, aucune étude ne s'est spécifiquement intéressée à l'AP chez les PvDT1 ayant une obésité. Toutefois, il est clairement établi que les personnes en situation d'obésité rencontrent des obstacles supplémentaires à la pratique d'AP (266). Comme dans la population générale, le manque de temps et de motivation figurent parmi les barrières les plus fréquemment rapportées mais la douleur ou l'inconfort physique, la crainte de l'effort et l'essoufflement sont également souvent mentionnés (276,289). L'intolérance à l'effort est une caractéristique typique de l'obésité, principalement due à l'excès de masse grasse qui limite le fonctionnement des systèmes cardio-respiratoires et entraîne une dyspnée précoce à l'effort (290,291). Le système ostéo-articulaire est également fragilisé par la surcharge pondérale (292). Par ailleurs, l'obésité constitue un facteur de risque de dépression, elle-même associée à davantage de barrières à l'AP (251). Ces personnes font aussi souvent face à un rejet social dans le cadre de la pratique d'AP, ou craignent d'être stigmatisées (293). L'ensemble de ces facteurs s'alimente mutuellement, entretenant ainsi un véritable cercle vicieux (*Figure 18*). Pour y remédier, plusieurs études récentes soulignent la nécessité de développer des approches multimodales ciblant à la fois les dimensions motivationnelles, émotionnelles et environnementales de la pratique d'AP (276).

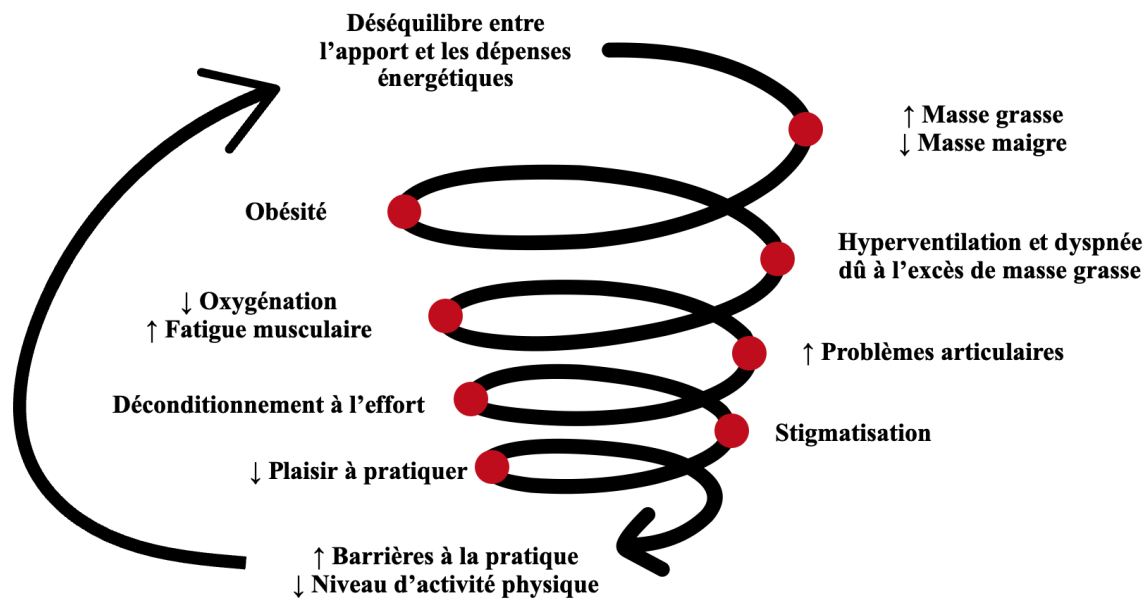


Figure 18 - Spirale de l'augmentation des barrières à l'AP chez les personnes vivant avec une obésité (*Inspirée de la figure de Simon-Rigaud et al. (2005)*)

Les complications microvasculaires, l'expérience récente d'une hypoglycémie sévère ou encore le contrôle glycémique, tous des paramètres physiologiques spécifiques aux PvDT1, ont également montré des corrélations positives avec les barrières à l'AP (251). Les complications microvasculaires en altérant la fonction des organes cibles (reins, yeux et nerfs) peuvent limiter voir contre-indiquer la pratique de certaines activités. Les recommandations suggèrent notamment d'adapter la pratique, par exemple en évitant les sports à impact en cas de neuropathie sévère ou en modérant l'entraînement en résistance chez les personnes présentant une rétinopathie proliférante (60). De plus, ces complications étant souvent associées à un équilibre glycémique suboptimal (51,55,58), elles renforcent indirectement les barrières à l'AP. En effet, l'AP constitue un facteur de fluctuation glycémique difficile à anticiper en raison de la multitude de paramètres impliqués : type, durée, intensité, moment de la journée, insuline active... (137). L'AP augmente le risque d'hypoglycémie, pendant mais aussi après l'exercice et ce jusqu'à 31 heures après l'effort (185,294). Néanmoins, les recherches se sont multipliées ces dernières années et plusieurs stratégies ont été proposées pour limiter ce risque (137,208). Cependant, leur utilisation semble

encore limitée chez les PvDT1 (212,295). Par exemple, moins de 10 % ont rapporté réduire l'insuline basale sur leur pompe à insuline avant, pendant ou après l'AP selon Prévost et al. (2022) (212). Plusieurs études récentes ont mis en évidence un manque de confiance ou de connaissances pour gérer les hypoglycémies à l'effort, traduisant le besoin d'un meilleur accompagnement des PvDT1 pour la pratique d'AP (233,236,237). Certains participants ont même rapporté que leur médecin leur avait déconseillé la pratique d'AP, ou ont exprimé leur déception face à l'absence de solutions proposées par leur professionnel de santé (233). Parallèlement, deux études ont montré que les professionnels de l'AP, intervenant en milieu scolaire ou associatif, ne se sentaient pas suffisamment compétents pour prodiguer des conseils relatifs à la gestion du diabète lors de l'exercice (296,297). Par ailleurs, les parents d'enfants vivant avec un DT1 ont déclaré reconnaître l'importance de l'AP, mais se sentir limités dans la gestion de la régulation glycémique à l'exercice (298). L'éducation des professionnels et un meilleur accompagnement des patients et de leur proche pourraient sans doute contribuer à réduire ces barrières.

IV- Agir pour favoriser l'engagement à l'activité physique chez les personnes vivant avec une diabète de type 1

L'évolution des barrières à l'AP chez les PvDT1 reste peu documentée. Si le registre BETTER a montré une diminution des barrières à l'AP avec le temps (288), les interventions structurées peinent à démontrer une efficacité supérieure au suivi standard. L'étude PEP-1, qui comprenait une intervention visant à favoriser l'engagement dans l'AP, n'a pas mis en évidence de différence significative du groupe intervention avec le groupe témoin (299). Cette étude n'a pas non plus observé de changement significatif du niveau d'AP en réponse à l'intervention, pour les deux groupes (247). Peu d'études se sont d'ailleurs intéressées à l'évolution des barrières chez les PvDT1. La littérature présente des résultats contrastés. Certaines approches, comme l'entraînement par intervalles à haute intensité à domicile, semblent prometteuses en réduisant des barrières spécifiques (temps, matériel, risque d'hypoglycémie) (300). Chez les adolescents vivant avec le DT1, Jabbour et al. (2020) avaient montré une augmentation de la barrière « peur de l'hypoglycémie » après un an de suivi en clinique (244). Obtenir plus d'informations sur les risques

de fluctuations glycémiques reliées à l'AP et intégrer les multiples moyens de réduire ces fluctuations (réduction des doses d'insuline et/ou prise de collation) reste complexe pour savoir quelle méthode choisir, quand et comment la mettre en place, etc. Par ailleurs, plusieurs études se sont intéressées à l'évolution du niveau d'AP chez les jeunes DT1 (301,302). Mitchell et al. (2018) ont observé une légère augmentation du niveau d'activité physique après quatre semaines d'intervention (+0,6 %) (301). Toutefois, une hausse similaire et numériquement supérieure a été constatée dans le groupe contrôle (+1,5 %). Cette amélioration semble donc davantage liée à un effet saisonnier, les mesures ayant été réalisées entre janvier et mars, période où les conditions météorologiques sont moins propices à la pratique d'AP, qu'à l'intervention elle-même (301). En effet, les conditions météorologiques restent une barrière majeure à l'AP (175,237,240,242,244,246,251). Quirke et al. (2018) ont, quant à eux, rapporté une diminution du temps passé en activité modérée à vigoureuse dans les deux groupes après l'intervention, probablement liée à une faible participation (302). Des résultats similaires ont été rapportés par Newton et al. (2009), qui avaient testé l'utilisation d'un podomètre, combiné ou non à des messages motivationnels, afin d'augmenter le niveau d'AP (303). Cependant, une diminution du nombre de pas a été observée après les 12 semaines d'intervention. Plus récemment, chez des adultes vivant avec un DT2, Kim et al. (2024) ont également évalué une intervention de 12 semaines basée sur des messages motivationnels envoyés via une application mobile et aucune différence significative n'a été observée entre les groupes (304). Toutefois, les participants les moins actifs (< 7500 pas/jour) ont significativement augmenté leur nombre de pas dans le groupe intervention, suggérant que ce type d'approche pourrait être bénéfique pour les individus les moins actifs. En revanche, toujours chez des adultes vivant avec un DT2, Dasgupta et al. (2017) ont observé une augmentation de 20 % du nombre de pas après un an de suivi médical (305). Récemment, une méta-analyse a conclu que l'utilisation d'applications mobiles ou de capteurs d'activité augmentait le niveau d'AP et le nombre de pas quotidiens (306). En revanche, la forte hétérogénéité des résultats a été observée, suggérant que cette méthode n'était pas adaptée à tous. L'ajout de messages textuels personnalisés semblait en améliorer l'efficacité, mais le taux d'abandon restait élevé et l'engagement diminuait avec le temps (306). D'autres méta-analyses récentes qui ont évalué les effets d'interventions physiques, motivationnelles ou comportementales sur le niveau d'AP dans la population générale et chez les personnes vivant avec une maladie chronique ont trouvé des

résultats similaires (307,308). Les interventions combinant AP et approche motivationnelle semblent produire des effets positifs à la fois sur l'augmentation du niveau d'AP et sur la réduction de la sédentarité. Ces effets seraient encore plus marqués dans les populations atteintes de maladies chroniques (308). Seulement, une nouvelle fois, ces effets sembleraient s'estomper avec le temps. Kettle et al. (2022) ont tout de même affirmé que les participants ayant suivi une intervention avaient 33 % plus de chance d'atteindre les recommandations d'AP (307). L'effet semblait également être renforcé par la durée du suivi et la diversité des intervenants. Ces augmentations étaient également plus importantes dans les études utilisant des questionnaires auto-rapportés que dans celles reposant sur des mesures objectives suggérant une surestimation du niveau d'AP. Pour les PvDT1, ces pistes d'intervention devront sûrement être combinées avec des outils pour gérer les fluctuations glycémiques induites par l'exercice.

Dans notre étude menée auprès de PvDT1, l'intervention combinée d'une nutritionniste et d'une kinésologue, à raison d'1 h 30 par semaine pendant quatre mois, ne semble pas avoir été suffisante pour induire des changements significatifs. À la lumière des résultats du registre BETTER, on peut raisonnablement penser que combiner ce type d'intervention avec un accompagnement psychologique aurait pu renforcer les bénéfices. En ce sens, l'étude pilote de Brennan et al. (2021) a montré des résultats prometteurs d'une thérapie cognitivo-comportementale visant à réduire la peur de l'hypoglycémie chez de jeunes adultes vivant avec un DT1 (309). La peur de l'hypoglycémie étant l'une des principales barrières à la pratique, intégrer une composante psychologique dans les interventions pourrait contribuer à atténuer les freins à l'AP. Une taille d'effet faible à modérée a par ailleurs été observée sur le score BAPAD1 dans cette même étude, principalement liée à une amélioration de l'item « peur de l'hypoglycémie ». Les participants les moins actifs semblaient tirer davantage de bénéfices de cette approche, comme l'ont également rapporté d'autres travaux (304,308). Ainsi cibler les PvDT1 les moins actives et/ou celles avec une plus grande peur de l'hypoglycémie pourrait permettre de maximiser les bénéfices d'une intervention.

Certaines approches semblent donc efficaces pour diminuer les barrières à l'AP et favoriser l'engagement chez les personnes les plus inactives. En revanche, ces stratégies pourraient probablement être améliorées ou davantage individualisées afin de mieux convenir aux individus

les plus réticents et de réduire l'hétérogénéité des réponses observées. La dimension psychologique apparaît déterminante pour soutenir la pratique, que ce soit par le biais d'outils motivationnels ou d'interventions comportementales. Un aspect encore peu exploré concerne la planification de l'AP, alors que le manque de temps et les contraintes professionnelles figurent parmi les barrières les plus fréquemment rapportées dans la littérature (232–237,310). Travailler sur cette dimension pourrait sûrement aider les PvDT1 à mieux anticiper et gérer les effets indésirables de l'exercice sur la glycémie, et peut-être favoriser durablement l'engagement dans la pratique d'AP. D'autant plus que les technologies conventionnelles comme les pompes à insuline (CSII) nécessite beaucoup d'anticipation pour réduire le risque d'hypoglycémie (211,311,312). Les nouvelles technologies (système AID) permettent d'espérer simplifier et réduire le besoin d'anticipation avant l'AP puis de gestion pendant l'AP (208,313).

Conclusion

En conclusion, les barrières à l'AP chez les PvDT1 demeurent assez stables au travers des années malgré les modifications thérapeutiques importantes récentes et la peur de l'hypoglycémie reste une barrière prédominante. Les nouvelles technologies, bien qu'elles aient permis une amélioration du contrôle glycémique, ne semble pas réduire le ressenti des obstacles à l'AP. À l'inverse, nos travaux ont mis en évidence l'influence majeure des facteurs psychosociaux, qui apparaissent comme de véritables prédicteurs des barrières, soulignant la nécessité d'un accompagnement ciblé des personnes les plus vulnérables. Ces résultats, issus d'analyses observationnelles, doivent cependant être interprétés avec prudence. Par ailleurs, l'accompagnement à la pratique testé dans le cadre d'un programme de promotion de l'AP dispensé par des professionnels de l'AP et des nutritionnistes n'a pas permis de réduire les barrières perçues.

Les trajectoires longitudinales observées dans le registre BETTER indiquent toutefois que ces barrières peuvent diminuer avec le temps, notamment lorsque les paramètres psychosociaux s'améliorent. Le développement d'interventions ciblées et multimodales, intégrant une composante psychologique, pourrait ainsi représenter une approche plus efficace pour soutenir la pratique. Il apparaît également essentiel de travailler sur la planification de l'AP. En effet, le manque de temps et les contraintes organisationnelles étant parmi les obstacles les plus fréquemment rapportés dans la littérature qualitative. Ce domaine, pourtant central, n'a pas pu être exploré par le questionnaire BAPAD1, car celui-ci ne comporte aucun item dédié.

Ces résultats ouvrent la voie vers des interventions plus personnalisées, combinant éducation, accompagnement et soutien psychologique, afin de réduire les barrières et de favoriser un engagement plus sûr, autonome et épanouissant chez les PvDT1, des leviers essentiels pour une pratique d'AP durable.

Forces et Limites

Les forces de cette thèse reposent avant tout sur le large échantillon issu du registre BETTER. *La première étude*, avec plus de 1000 participants, nous a permis de comparer les modes de traitement (surveillance glycémique et administration de l'insuline), ce qui n'avait jamais été fait auparavant à notre connaissance. De plus, avec l'évolution rapide de la technologie pour le traitement du DT1, il était important de réviser les barrières perçues dans le cadre des pratiques de soins actuelles. Néanmoins, il s'agit d'une étude observationnelle, permettant d'établir des associations mais ne pouvant prouver de relation de cause à effet. Ces résultats devront donc être confirmés par des études de suivi plus ciblées, capables de prendre en compte notamment le passage d'un mode de traitement à un autre.

Notre deuxième étude représente aussi une force importante puisqu'il s'agit de la première analyse prospective des barrières à l'AP chez des adultes vivant avec un DT1. Elle nous a permis de mettre en lumière le rôle clé des facteurs psycho-sociaux dans les barrières à l'AP, que ce soit la dépression, la détresse liée au diabète ou la stigmatisation. Ces aspects restent encore trop peu étudiés, alors qu'ils semblent avoir une place centrale dans le rapport à l'AP. Les limites principales concernent la taille plus réduite de l'échantillon (300 personnes) et le recul d'un an seulement. Les changements observés, notamment en termes de traitement, concernaient une minorité des participants, ce qui invite à interpréter ces résultats avec prudence.

Concernant l'étude PEP-1, la force principale était d'individualiser les conseils en fonction des besoins des participants mais plusieurs limites doivent aussi être soulignées : le fait que certains participants n'étaient pas toujours inactifs malgré l'objectif initial du recrutement, la taille relativement faible de l'échantillon, ainsi que le caractère ancien de l'étude, réalisée il y a plus de dix ans. Or, les mentalités, les traitements et la prise en charge du diabète ont considérablement évolué au cours de cette décennie. Les études qualitatives récentes ont montré que l'accompagnement dans la gestion de l'hypoglycémie constitue encore aujourd'hui une barrière majeure à la pratique d'activité physique, ce qui était sans doute perçu différemment à l'époque. En effet, le contrôle glycémique était alors moins strict et les possibilités d'ajustement plus limitées notamment chez les personnes sous multi-injections (MDI). Cette étude, qui impliquait une

infirmière, une nutritionniste et un kinésiologue, aurait peut-être un impact différent si elle était réalisée aujourd'hui. Ajouter un professionnel de la santé mentale au sein de l'équipe d'intervention aurait sans doute pu renforcer l'efficacité de la prise en charge, en offrant un soutien sur les aspects émotionnels et motivationnels souvent liés à la pratique d'AP comme nous avons pu le voir dans nos deux études de registre. Ce type d'intervention pourrait aussi avoir plus d'impact en ciblant des personnes avec plus de barrières perçues.

Enfin, une limite importante qui s'est imposée au fil des analyses concerne le questionnaire BAPAD1. Bien que très pertinent et novateur à son époque, cet outil apparaît selon moi aujourd'hui comme incomplet. Par exemple, il ne comprend aucune question sur la motivation, alors qu'il s'agit d'une des principales barrières à l'activité physique dans la population générale. Il n'existe aucune question sur l'impact des technologies, par exemple dans le registre BETTER près de 85 % des personnes utilisent un CGM, une technologie inexistante lorsque le questionnaire BAPAD1 a été établi. De plus, malgré les très nombreuses études réalisées sur le DT1 et l'AP, il est très difficile de tenir compte de tous les facteurs (type, d'exercice, intensité, durée, moment de la journée, type de traitement, sexe, etc.). Pour tenir compte de la multiplicité de ces facteurs, l'utilisation de méthodes plus récentes, comme la méthode Delphi, permettrait de compléter la mesure des barrières et de renforcer les informations disponibles sur sa construction, sa reproductibilité, sa fiabilité et sa sensibilité. Par exemple, la technologie peut aider pour la pratique de l'AP mais ce qui est actuellement disponible ne simplifie pas encore l'AP pour les PvDT1. Ces éléments sont essentiels lorsqu'on cherche à étudier les changements dans le temps ou les effets d'une intervention, comme nous l'avons fait dans les études 2 et 3. Enfin, il est important de rappeler que le BAPAD1 reste faiblement corrélé au niveau réel d'AP, comme l'avaient déjà montré Brazeau et al. (2012) ainsi que nos propres résultats dans l'étude 1 (249,251). Cette différence entre perception et mesure objective devra idéalement être réduite par une mise à jour du questionnaire BAPAD1.

Retombées potentielles

Les travaux de cette thèse offrent une compréhension approfondie et multidimensionnelle des barrières à l'AP chez les PvDT1, afin d'améliorer leur engagement dans la pratique d'activité physique.

L'analyse des données du registre a permis d'identifier plus précisément les barrières perçues pour la pratique de l'AP rencontrées par les PvDT1 de nos jours et de mettre en avant des profils plus à risque d'en présenter ou d'en développer, selon certains paramètres facilement mesurables en clinique. Ces résultats permettront aux professionnels de la santé et de l'AP d'adapter leurs conseils, et proposer un accompagnement personnalisé plus pertinent pour chaque personne. L'étude prospective ouvre aussi la voie vers une anticipation des futures barrières, ce qui pourrait permettre de développer et mettre en place des stratégies concrètes pour faciliter l'AP.

Les résultats de cette thèse pourront par ailleurs contribuer au développement de nouveaux programmes d'intervention pour favoriser l'engagement des PvDT1 dans l'AP. Les interventions pourraient se baser davantage sur les besoins réels des PvDT1, en mettant l'accent non seulement sur la gestion de la glycémie, mais aussi sur les aspects psychosociaux et comment intégrer l'AP dans son quotidien. Bien que la gestion de la glycémie soit centrale pour la gestion du DT1 la prise en compte et la prise en charge des aspects psychosociaux doit être améliorée dans le cadre des soins.

Ce travail pourrait également servir de base pour effectuer une mise à jour du questionnaire BAPAD1, afin qu'il reflète mieux les réalités actuelles : évolutions technologiques, gestion du diabète, dimensions psychologiques et sociales dans l'engagement à l'activité physique.

La gestion des fluctuations glycémiques lors de l'AP est complexe pour les personnes qui vivent avec le DT1. Cette thèse contribue ainsi à mieux comprendre pourquoi certaines personnes peinent encore à s'y engager dans une AP. En apportant une vision actuelle des barrières, elle offre à la recherche comme à la pratique clinique de nouvelles pistes pour aider les PvDT1 à bouger plus, avec plus de confiance et de plaisir.

Perceptives

À court terme, une analyse comparative des données du questionnaire BAPAD1 issues du Canada et de la Tunisie sera effectuée. Cette nouvelle étude visera à explorer les différences socio-culturelles entre deux contextes opposés, tant sur le plan de l'accès aux soins que sur la culture de l'AP. Un protocole a déjà été soumis en ce sens au comité d'éthique.

À plus long terme, j'aimerais développer une version actualisée du questionnaire BAPAD1, intégrant notamment la dimension motivationnelle et, de manière plus fine, l'impact de la gestion du diabète pendant l'AP sur les barrières. Pour ce faire, j'aimerais utiliser la méthode DELPHI afin de réunir un comité d'experts pour élaborer un outil de mesure le plus précis et pertinent possible. J'aimerais également concevoir ce nouveau questionnaire de manière à ce qu'il puisse s'adresser à la fois à la population générale et à des personnes vivant avec un diabète ou présentant une obésité, grâce à des sous-sections spécifiques.

Enfin, j'aimerais mettre en place une nouvelle étude visant à renforcer l'engagement dans l'AP chez les PvDT1. Ce programme s'appuierait sur les connaissances acquises au cours de cette thèse et impliquerait une équipe pluridisciplinaire intégrant un versant psychologique ciblant les facteurs identifiés dans nos analyses multivariées, notamment la détresse liée au diabète, la stigmatisation et la dépression.

Autres contributions scientifiques

Cette thèse porte exclusivement sur les barrières à l'activité physique (AP). Cependant, au cours de celle-ci, j'ai également eu la chance de mener une étude clinique portant sur les effets d'un programme éducatif combiné ou non à un programme d'exercice à haute intensité (HIIT) réalisé en visioconférence, chez des personnes vivant avec un diabète de type 1 (DT1) et présentant une perception altérée des hypoglycémies. L'objectif était de démontrer la faisabilité, la sécurité et l'efficacité de ce programme à distance pour restaurer la perception des symptômes d'hypoglycémie dans cette population. Les données de cette étude sont en cours d'analyse, mais montrent des résultats prometteurs. Un article présentant cette étude pilote sera publié prochainement. Les données recueillies chez les 12 participants ayant complété le programme HIIT feront également l'objet d'une analyse distincte, portant notamment sur la l'évolution de la glycémie après des séances de HIIT de durée différente, ainsi que sur l'impact du programme d'entraînement de 4 mois sur cette évolution.

Au sein du laboratoire du Dr. Rabasa-Lhoret, j'ai également eu la chance de participer aux investigations de l'étude RIDE-2, portant sur l'impact de stratégies nutritionnelles et insulinémiques (p. ex. collation, réduction de l'insuline basale) lors d'exercices continus et intermittents sur le risque d'hypoglycémie chez des PvDT1 utilisateurs de pompe à insuline. L'article issu de cette étude a été publié en 2024 (211). Dans la continuité de ces travaux, je démarre actuellement une étude sur l'impact du moment de la journée de l'exercice (matin vs après-midi) sur la régulation glycémique chez des adolescents vivant avec un DT1 à Lille.

En parallèle de mon analyse du BETTER, j'ai également collaboré à deux autres projets du registre, l'un portant sur le niveau d'activité physique autodéclaré selon le mode de traitement et de surveillance glycémique et l'autre sur l'impact du nombre de pas quotidiens sur la santé des PvDT1. Ces deux études soumises et qui sont en cours d'évaluation par pairs ont approfondi ma compréhension du lien entre AP et PvdT1, en me permettant d'aborder en plus des barrières à la pratique, le niveau d'activité et les effets de l'exercice chez cette population.

Enfin, ce PhD m'a également permis de poursuivre le projet amorcé lors de mon master, comparant une prise en charge en présentiel et en distanciel chez des adolescents en situation d'obésité, qui fera lui aussi l'objet d'une publication prochainement.

Références bibliographiques

1. Zhou B, Rayner AW, Gregg EW, Sheffer KE, Carrillo-Larco RM, Bennett JE, et al. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants. *The Lancet*. nov 2024;404(10467):2077-93.
2. Ong KL, Stafford LK, McLaughlin SA, Boyko EJ, Vollset SE, Smith AE, et al. Global, regional, and national burden of diabetes from 1990 to 2021, with projections of prevalence to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet*. juill 2023;402(10397):203-34.
3. Ogurtsova K, Guariguata L, Barengo NC, Ruiz PLD, Sacre JW, Karuranga S, et al. IDF diabetes Atlas: Global estimates of undiagnosed diabetes in adults for 2021. *Diabetes Res Clin Pract*. janv 2022;183:109118.
4. American Diabetes Association Professional Practice Committee, ElSayed NA, Aleppo G, Bannuru RR, Bruemmer D, Collins BS, et al. 2. Diagnosis and Classification of Diabetes: *Standards of Care in Diabetes—2024*. *Diabetes Care*. 1 janv 2024;47(Supplement_1):S20-42.
5. Petersmann A, Müller-Wieland D, Müller UA, Landgraf R, Nauck M, Freckmann G, et al. Definition, Classification and Diagnosis of Diabetes Mellitus. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*. déc 2019;127(S 01):S1-7.
6. Wang H, Li N, Chivese T, Werfalli M, Sun H, Yuen L, et al. IDF Diabetes Atlas: Estimation of Global and Regional Gestational Diabetes Mellitus Prevalence for 2021 by International Association of Diabetes in Pregnancy Study Group's Criteria. *Diabetes Res Clin Pract*. janv 2022;183:109050.
7. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 15. Management of Diabetes in Pregnancy: *Standards of Care in Diabetes-2024*. *Diabetes Care*. 1 janv 2024;47(Suppl 1):S282-94.

8. Ogle GD, Gregory GA, Wang F, Robinson TI, Maniam J, Magliano DJ, et al. The T1D Index: Implications of Initial Results, Data Limitations, and Future Development. *Curr Diab Rep.* 1 oct 2023;23(10):277-91.
9. Diaz-Valencia PA, Bougnères P, Valleron AJ. Global epidemiology of type 1 diabetes in young adults and adults: a systematic review. *BMC Public Health.* 17 mars 2015;15(1):255.
10. Wojszczyk M, Kulbacka J, Dziedzic K, Arczewski F, Wójcikiewicz M, Chuncia-Ileczko M, et al. Diagnosing and Managing LADA: A Review of the Overlooked Diabetes Subtype. *Qual Sport.* 5 janv 2025;37:57142.
11. Miller RG, Secrest AM, Sharma RK, Songer TJ, Orchard TJ. Improvements in the Life Expectancy of Type 1 Diabetes. *Diabetes.* 1 nov 2012;61(11):2987-92.
12. Arffman M, Hakkarainen P, Keskimäki I, Oksanen T, Sund R. Long-term and recent trends in survival and life expectancy for people with type 1 diabetes in Finland. *Diabetes Res Clin Pract.* 1 avr 2023;198:110580.
13. Cherubini V. Temporal trends in diabetic ketoacidosis at diagnosis of paediatric type 1 diabetes between 2006 and 2016: results from 13 countries in three continents. 2020;
14. Tosur M, Onengut-Gumuscu S, Redondo MJ. Type 1 Diabetes Genetic Risk Scores: History, Application and Future Directions. *Curr Diab Rep.* 8 févr 2025;25(1):22.
15. Stene L, Norris J, Rewers MJ. Risk Factors for Type 1 Diabetes. *Diabetes Am* [Internet]. 20 déc 2023; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK597412/>
16. Quinn LM, Wong FS, Narendran P. Environmental Determinants of Type 1 Diabetes: From Association to Proving Causality. *Front Immunol* [Internet]. 1 oct 2021 [cité 30 juill 2025];12. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2021.737964/full>
17. Dimitriadis G, Mitrou P, Lambadiari V, Maratou E, Raptis SA. Insulin effects in muscle and adipose tissue. *Diabetes Res Clin Pract.* 1 août 2011;93:S52-9.

18. Girard J. Les actions physiologiques de l'insuline. *Médecine Mal Métaboliques*. 1 déc 2008;2:S124-9.
19. Zhang E, Zhu H, Song B, Shi Y, Cao Z. Recent advances in oral insulin delivery technologies. *J Controlled Release*. févr 2024;366:221-30.
20. Holt RIG, DeVries JH, Hess-Fischl A, Hirsch IB, Kirkman MS, Klupa T, et al. The management of type 1 diabetes in adults. A consensus report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Diabetologia*. déc 2021;64(12):2609-52.
21. Sakar K, Cinar N, Sakar K, Cinar N. Hypoglycemia in Type 1 Diabetes Mellitus. In: *Glucose and Insulin Homeostasis* [Internet]. IntechOpen; 2024 [cité 9 sept 2025]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/chapters/1151359>
22. McCall AL, Farhy LS. Treating type 1 diabetes: from strategies for insulin delivery to dual hormonal control. *Minerva Endocrinol*. juin 2013;38(2):145-63.
23. Bennour M, Rojbi I, Rezgani I, Ben Nacef I, Mchirgui N, Khiari K, et al. Fréquence des pathologies auto-immunes au cours du diabète type 1. *Ann Endocrinol*. 1 sept 2017;78(4):426.
24. McCoy RG, Herrin J, Galindo RJ, Sindhu Swarna K, Umpierrez GE, Hill Golden S, et al. All-cause mortality after hypoglycemic and hyperglycemic emergencies among U.S. adults with diabetes, 2011–2020. *Diabetes Res Clin Pract*. 1 mars 2023;197:110263.
25. Kim JY, Jin SM, Andrade SB, Chen B, Kim JH. Real-World Continuous Glucose Monitoring Data from a Population with Type 1 Diabetes in South Korea: Nationwide Single-System Analysis. *Diabetes Technol Ther*. juin 2024;26(6):394-402.
26. Monnier L, Lapinski H, Colette C. Contributions of fasting and postprandial plasma glucose increments to the overall diurnal hyperglycemia of type 2 diabetic patients: variations with increasing levels of HbA(1c). *Diabetes Care*. mars 2003;26(3):881-5.

27. Hyperglycemic Crisis in Adults: Pathophysiology, Presentation, Pitfalls, and Prevention | Clinical Diabetes | American Diabetes Association [Internet]. [cité 4 août 2025]. Disponible sur: https://diabetesjournals.org/clinical/article/27/1/19/1796/Hyperglycemic-Crisis-in-Adults-Pathophysiology?utm_source=chatgpt.com
28. Cryer PE. The Barrier of Hypoglycemia in Diabetes. *Diabetes*. 1 déc 2008;57(12):3169-76.
29. Nakhleh A, Shehadeh N. Hypoglycemia in diabetes: An update on pathophysiology, treatment, and prevention. *World J Diabetes*. 15 déc 2021;12(12):2036-49.
30. Cryer PE. Hypoglycemia in Diabetes. In [cité 30 juill 2025]. Disponible sur: <https://www.blackwellpublishing.co.uk/content/textbookofdiabetes/downloads/chapters/c33.pdf>
31. Giugliano D, Ceriello A, Paolisso G. Oxidative Stress and Diabetic Vascular Complications. *Diabetes Care*. 1 mars 1996;19(3):257-67.
32. Desouza CV, Bolli GB, Fonseca V. Hypoglycemia, Diabetes, and Cardiovascular Events. *Diabetes Care*. 1 juin 2010;33(6):1389-94.
33. Fenalti Salla R, de David J, Schneider L, Tschiedel B, Teló GH, Schaan BD. Predictors of traffic events due to hypoglycemia in adults with type 1 diabetes: A Brazilian prospective cohort study. *Diabetes Res Clin Pract*. 1 août 2021;178:108954.
34. Wild D, Von Maltzahn R, Brohan E, Christensen T, Clauson P, Gonder-Frederick L. A critical review of the literature on fear of hypoglycemia in diabetes: Implications for diabetes management and patient education. *Patient Educ Couns*. sept 2007;68(1):10-5.
35. Polonsky WH, Fortmann AL, Price D, Fisher L. "Hyperglycemia aversiveness": Investigating an overlooked problem among adults with type 1 diabetes. *J Diabetes Complications*. 1 juin 2021;35(6):107925.

36. Chong KS, Lee YH, Chang YH, Du YF, Ou H, Kuo S. Economic burdens of type 1 diabetes and its complications: A nationwide, longitudinal analysis. *Diabetes Res Clin Pract.* 1 août 2025;226:112329.
37. Vanderniet JA, Jenkins AJ, Donaghue KC. Epidemiology of Type 1 Diabetes. *Curr Cardiol Rep.* 1 oct 2022;24(10):1455-65.
38. Lind M, Svensson AM, Kosiborod M, Gudbjörnsdóttir S, Pivodic A, Wedel H, et al. Glycemic control and excess mortality in type 1 diabetes. *N Engl J Med.* 20 nov 2014;371(21):1972-82.
39. Eeg-Olofsson K, Cederholm J, Nilsson PM, Zethelius B, Svensson AM, Gudbjörnsdóttir S, et al. Glycemic control and cardiovascular disease in 7,454 patients with type 1 diabetes: an observational study from the Swedish National Diabetes Register (NDR). *Diabetes Care.* juill 2010;33(7):1640-6.
40. Aronson D, Rayfield EJ. How hyperglycemia promotes atherosclerosis: molecular mechanisms. *Cardiovasc Diabetol.* 8 avr 2002;1:1.
41. Wu H, Norton V, Cui K, Zhu B, Bhattacharjee S, Lu YW, et al. Diabetes and Its Cardiovascular Complications: Comprehensive Network and Systematic Analyses. *Front Cardiovasc Med* [Internet]. 17 févr 2022 [cité 10 sept 2025];9. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/journals/cardiovascular-medicine/articles/10.3389/fcvm.2022.841928/full>
42. Giménez M, Gilabert R, Monteagudo J, Alonso A, Casamitjana R, Paré C, et al. Repeated episodes of hypoglycemia as a potential aggravating factor for preclinical atherosclerosis in subjects with type 1 diabetes. *Diabetes Care.* janv 2011;34(1):198-203.
43. Yang SW, Park KH, Zhou YJ. The Impact of Hypoglycemia on the Cardiovascular System: Physiology and Pathophysiology. *Angiology.* oct 2016;67(9):802-9.

44. Nathan DM, Cleary PA, Backlund JYC, Genuth SM, Lachin JM, Orchard TJ, et al. Intensive diabetes treatment and cardiovascular disease in patients with type 1 diabetes. *N Engl J Med*. 22 déc 2005;353(25):2643-53.
45. De Ritter R, De Jong M, Vos RC, Van Der Kallen CJH, Sep SJS, Woodward M, et al. Sex differences in the risk of vascular disease associated with diabetes. *Biol Sex Differ* [Internet]. déc 2020 [cité 27 juill 2025];11(1). Disponible sur: <https://bsd.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13293-019-0277-z>
46. Robert J. Sex differences in vascular endothelial cells. *Atherosclerosis*. nov 2023;384:117278.
47. de Ferranti SD, de Boer IH, Fonseca V, Fox CS, Golden SH, Lavie CJ, et al. Type 1 Diabetes Mellitus and Cardiovascular Disease. *Circulation*. 23 sept 2014;130(13):1110-30.
48. May O, Arildsen H, Damsgaard EM, Mickley H. Cardiovascular autonomic neuropathy in insulin-dependent diabetes mellitus: prevalence and estimated risk of coronary heart disease in the general population. *J Intern Med*. déc 2000;248(6):483-91.
49. Soedamah-Muthu SS, Chaturvedi N, Toeller M, Ferriss B, Reboldi P, Michel G, et al. Risk factors for coronary heart disease in type 1 diabetic patients in Europe: the EURODIAB Prospective Complications Study. *Diabetes Care*. févr 2004;27(2):530-7.
50. Ciulla TA, Amador AG, Zinman B. Diabetic Retinopathy and Diabetic Macular Edema. *DIABETES CARE*. 2003;26(9).
51. Berrabeh S, Elmehraoui O, Benouda S, Assarrar I, Rouf S, Latrech H. Prevalence and Risk Factors of Retinopathy in Type 1 Diabetes: A Cross-Sectional Study. *Cureus*. 15(10):e47993.
52. Tommerdahl KL, Shapiro ALB, Nehus EJ, Bjornstad P. Early microvascular complications in type 1 and type 2 diabetes: recent developments and updates. *Pediatr Nephrol*. janv 2022;37(1):79-93.

53. Rossing P, Groop PH, Singh R, Lawatscheck R, Tuttle KR. Prevalence of Chronic Kidney Disease in Type 1 Diabetes Among Adults in the U.S. *Diabetes Care*. 10 juin 2024;47(8):1395-9.
54. An updated overview of diabetic nephropathy: Diagnosis, prognosis, treatment goals and latest guidelines - Selby - 2020 - *Diabetes, Obesity and Metabolism* - Wiley Online Library [Internet]. [cité 4 août 2025]. Disponible sur: https://dom-pubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/dom.14007?utm_source=chatgpt.com
55. Fioretto P, Bruseghin M, Berto I, Gallina P, Manzato E, Mussap M. Renal Protection in Diabetes: Role of Glycemic Control. *J Am Soc Nephrol*. avr 2006;17(4_suppl_2):S86-9.
56. Pop-Busui R, Boulton AJM, Feldman EL, Bril V, Freeman R, Malik RA, et al. Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 1 janv 2017;40(1):136-54.
57. Diabetic gastrointestinal autonomic neuropathy: Current status and new achievements for everyday clinical practice - *European Journal of Internal Medicine* [Internet]. [cité 31 juill 2025]. Disponible sur: [https://www.ejinme.com/article/S0953-6205\(12\)00070-2/abstract](https://www.ejinme.com/article/S0953-6205(12)00070-2/abstract)
58. Tesfaye S, Chaturvedi N, Eaton SEM, Ward JD, Manes C, Ionescu-Tirgoviste C, et al. Vascular risk factors and diabetic neuropathy. *N Engl J Med*. 27 janv 2005;352(4):341-50.
59. Bjerg L, Hulman A, Charles M, Jørgensen ME, Witte DR. Clustering of microvascular complications in Type 1 diabetes mellitus. *J Diabetes Complications*. 1 avr 2018;32(4):393-9.
60. American Diabetes Association. 5. Lifestyle Management: *Standards of Medical Care in Diabetes—2019*. *Diabetes Care*. 1 janv 2019;42(Supplement_1):S46-60.
61. Conway B, Miller R, Costacou T, Fried L, Kelsey S, Evans R, et al. Temporal patterns in overweight and obesity in Type 1 diabetes. *Diabet Med J Br Diabet Assoc* [Internet]. avr 2010 [cité 26 juill 2025];27(4). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20536510/>

62. Lalanne-Mistrih ML, Bonhoure A, Messier V, Boudreau V, Lebbar M, Talbo M, et al. Overweight and Obesity in People living with Type 1 Diabetes: a cross-sectional analysis of the BETTER registry. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2024;
63. Fellingner P, Fuchs D, Wolf P, Heinze G, Luger A, Krebs M, et al. Overweight and obesity in type 1 diabetes equal those of the general population. *Wien Klin Wochenschr* [Internet]. févr 2019 [cité 26 juill 2025];131(3-4). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30617710/>
64. Baskaran C, Volkening L, Diaz M, Laffel L. A decade of temporal trends in overweight/obesity in youth with type 1 diabetes after the Diabetes Control and Complications Trial. *Pediatr Diabetes* [Internet]. juin 2015 [cité 26 juill 2025];16(4). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25039317/>
65. Van Der Schueren B, Ellis D, Faradji RN, Al-Ozairi E, Rosen J, Mathieu C. Obesity in people living with type 1 diabetes. *Lancet Diabetes Endocrinol*. nov 2021;9(11):776-85.
66. Russell-Jones D, Khan R. Insulin-associated weight gain in diabetes--causes, effects and coping strategies. *Diabetes Obes Metab* [Internet]. nov 2007 [cité 26 juill 2025];9(6). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17924864/>
67. Vilarrasa N, San Jose P, Rubio MÁ, Lecube A. Obesity in Patients with Type 1 Diabetes: Links, Risks and Management Challenges. *Diabetes Metab Syndr Obes Targets Ther*. 21 juin 2021;14:2807-27.
68. Carlson MG, Campbell PJ. Intensive Insulin Therapy and Weight Gain in IDDM. 1993;42.
69. Hirose T. Development of new basal insulin peglispro (LY2605541) ends in a disappointing result. *Diabetol Int*. mars 2016;7(1):16-7.
70. Polonsky WH, Anderson BJ, Lohrer PA, Aponte JE, Jacobson AM, Cole CF. Insulin Omission in Women With IDDM. *Diabetes Care*. 1 oct 1994;17(10):1178-85.
71. Shah VN, Akturk HK, Kruger D, Ahmann A, Bhargava A, Bakoyannis G, et al. Semaglutide in Adults with Type 1 Diabetes and Obesity. *NEJM Evid*. 22 juill 2025;4(8):EVIDoa2500173.

72. De Block CEM, De Leeuw IH, Van Gaal LF. Impact of Overweight on Chronic Microvascular Complications in Type 1 Diabetic Patients. *Diabetes Care*. 1 juill 2005;28(7):1649-55.
73. Aschner P, Gagliardino JJ, Ilkova H, Lavalle F, Ramachandran A, Mbanya JC, et al. High Prevalence of Depressive Symptoms in Patients With Type 1 and Type 2 Diabetes in Developing Countries: Results From the International Diabetes Management Practices Study. 2021;44.
74. Endomba FT, Guillaume M, Lemogne C, Chauvet-Gélinier JC. Mise au point sur les liens entre diabète et dépression. *Médecine Mal Métaboliques*. mai 2024;18(3):204-13.
75. Demmer RT, Gelb S, Suglia SF, Keyes KM, Aiello AE, Colombo PC, et al. Sex Differences in the Association Between Depression, Anxiety, and Type 2 Diabetes Mellitus. *Psychosom Med*. mai 2015;77(4):467-77.
76. Wang K, Li F, Cui Y, Cui C, Cao Z, Xu K, et al. The Association between Depression and Type 1 Diabetes Mellitus: Inflammatory Cytokines as Ferryman in between? *Mediators Inflamm*. 28 mars 2019;2019:1-11.
77. Otte C, Gold SM, Penninx BW, Pariante CM, Etkin A, Fava M, et al. Major depressive disorder. *Nat Rev Dis Primer*. 15 sept 2016;2(1):16065.
78. Moulton CD, Pickup JC, Ismail K. The link between depression and diabetes: the search for shared mechanisms. *Lancet Diabetes Endocrinol*. juin 2015;3(6):461-71.
79. Korczak DJ, Pereira S, Koulajian K, Matejcek A, Giacca A. Type 1 diabetes mellitus and major depressive disorder: evidence for a biological link. *Diabetologia*. oct 2011;54(10):2483-93.
80. Chen MH, Tsai SJ, Bai YM, Huang KL, Su TP, Chen TJ, et al. Type 1 diabetes mellitus and risks of major psychiatric disorders: A nationwide population-based cohort study. *Diabetes Metab*. janv 2022;48(1):101319.
81. Van Duinkerken E, Snoek FJ, De Wit M. The cognitive and psychological effects of living with type 1 diabetes: a narrative review. *Diabet Med*. avr 2020;37(4):555-63.

82. Speight J, Holmes-Truscott E. Challenging diabetes stigma starts and ends with all of us. *Lancet Diabetes Endocrinol.* juin 2023;11(6):380-2.
83. Baumeister H, Hutter N, Bengel J, Härter M. Quality of Life in Medically Ill Persons with Comorbid Mental Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychother Psychosom.* 1 juin 2011;80(5):275-86.
84. Lustman PJ, Anderson RJ, Freedland KE, De Groot M, Carney RM, Clouse RE. Depression and poor glycemic control: a meta-analytic review of the literature. *Diabetes Care.* 1 juill 2000;23(7):934-42.
85. De Groot M, Anderson R, Freedland KE, Clouse RE, Lustman PJ. Association of Depression and Diabetes Complications: A Meta-Analysis: *Psychosom Med.* juill 2001;63(4):619-30.
86. Trief PM, Xing D, Foster NC, Maahs DM, Kittelsrud JM, Olson BA, et al. Depression in Adults in the T1D Exchange Clinic Registry. *Diabetes Care.* 1 juin 2014;37(6):1563-72.
87. Katon WJ, Young BA, Russo J, Lin EHB, Ciechanowski P, Ludman EJ, et al. Association of Depression With Increased Risk of Severe Hypoglycemic Episodes in Patients With Diabetes. *Ann Fam Med.* 1 mai 2013;11(3):245-50.
88. Gonzalez JS, Peyrot M, McCarl LA, Collins EM, Serpa L, Mimiaga MJ, et al. Depression and Diabetes Treatment Nonadherence: A Meta-Analysis. *Diabetes Care.* 1 déc 2008;31(12):2398-403.
89. Sartorius N. Depression and diabetes. *Dialogues Clin Neurosci.* 31 mars 2018;20(1):47-52.
90. Young-Hyman D, de Groot M, Hill-Briggs F, Gonzalez JS, Hood K, Peyrot M. Psychosocial Care for People With Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 10 nov 2016;39(12):2126-40.
91. Fisher L, Polonsky WH, Hessler DM, Masharani U, Blumer I, Peters AL, et al. Understanding the sources of diabetes distress in adults with type 1 diabetes. *J Diabetes Complications.* mai 2015;29(4):572-7.

92. Levis B, Benedetti A, Thombs BD. Accuracy of Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9) for screening to detect major depression: individual participant data meta-analysis. *BMJ*. 9 avr 2019;l1476.
93. Piette JD, Richardson C, Himle J, Duffy S, Torres T, Vogel M, et al. A Randomized Trial of Telephonic Counseling Plus Walking for Depressed Diabetes Patients. *Med Care*. juill 2011;49(7):641.
94. Fiore V, Marci M, Poggi A, Giagulli VA, Licchelli B, Iacoviello M, et al. The association between diabetes and depression: a very disabling condition. *Endocrine*. févr 2015;48(1):14-24.
95. Jacobson AM, Braffett BH, Cleary PA, Gubitosi-Klug RA, Larkin ME, the DCCT/EDIC Research Group. The Long-Term Effects of Type 1 Diabetes Treatment and Complications on Health-Related Quality of Life: A 23-year follow-up of the Diabetes Control and Complications/Epidemiology of Diabetes Interventions and Complications cohort. *Diabetes Care*. 14 sept 2013;36(10):3131-8.
96. Bezerra MF, Neves C, Neves JS, Carvalho D. Time in range and complications of diabetes: a cross-sectional analysis of patients with Type 1 diabetes. *Diabetol Metab Syndr*. 27 nov 2023;15(1):244.
97. Secrest AM, Costacou T, Gutelius B, Miller RG, Songer TJ, Orchard TJ. Associations Between Socioeconomic Status and Major Complications in Type 1 Diabetes: The Pittsburgh Epidemiology of Diabetes Complication (EDC) Study. *Ann Epidemiol*. 1 mai 2011;21(5):374-81.
98. Karamanou M, Protogerou A, Tsoucalas G, Androutsos G, Poulakou-Rebelakou E. Milestones in the history of diabetes mellitus: The main contributors. *World J Diabetes*. 10 janv 2016;7(1):1-7.
99. Distiller LA. Why do some patients with type 1 diabetes live so long? *World J Diabetes*. 15 juin 2014;5(3):282-7.

100. McGibbon A, Adams L, Ingersoll K, Kader T, Tugwell B. Glycemic Management in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes*. avr 2018;42:S80-7.
101. Donnor T, Sarkar S. Insulin- Pharmacology, Therapeutic Regimens and Principles of Intensive Insulin Therapy. In: Feingold KR, Ahmed SF, Anawalt B, Blackman MR, Boyce A, Chrousos G, et al., éditeurs. *Endotext* [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc.; 2000 [cité 9 sept 2025]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK278938/>
102. Russell-Jones D, Babazono T, Cailleteau R, Engberg S, Irace C, Kjaersgaard MIS, et al. Once-weekly insulin icodec versus once-daily insulin degludec as part of a basal-bolus regimen in individuals with type 1 diabetes (ONWARDS 6): a phase 3a, randomised, open-label, treat-to-target trial. *The Lancet*. 4 nov 2023;402(10413):1636-47.
103. Cheng R, Taleb N, Stainforth-Dubois M, Rabasa-Lhoret R. The promising future of insulin therapy in diabetes mellitus. *Am J Physiol-Endocrinol Metab*. 1 mai 2021;320(5):E886-90.
104. Janež A, Guja C, Mitrakou A, Lalic N, Tankova T, Czupryniak L, et al. Insulin Therapy in Adults with Type 1 Diabetes Mellitus: a Narrative Review. *Diabetes Ther*. févr 2020;11(2):387-409.
105. Beato-Víborá PI, Quirós-López C, Lázaro-Martín L, Martín-Frías M, Barrio-Castellanos R, Gil-Poch E, et al. Impact of Sensor-Augmented Pump Therapy with Predictive Low-Glucose Suspend Function on Glycemic Control and Patient Satisfaction in Adults and Children with Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther*. nov 2018;20(11):738-43.
106. Sherr JL, Heinemann L, Fleming GA, Bergenstal RM, Bruttomesso D, Hanaire H, et al. Automated Insulin Delivery: Benefits, Challenges, and Recommendations. A Consensus Report of the Joint Diabetes Technology Working Group of the European Association for the Study of Diabetes and the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 1 déc 2022;45(12):3058-74.
107. Barnard KD, Wysocki T, Thabit H, Evans ML, Amiel S, Heller S, et al. Psychosocial aspects of closed- and open-loop insulin delivery: closing the loop in adults with Type 1 diabetes in the home setting. *Diabet Med*. 2015;32(5):601-8.

108. Yeh HC, Brown TT, Maruthur N, Ranasinghe P, Berger Z, Suh YD, et al. Comparative Effectiveness and Safety of Methods of Insulin Delivery and Glucose Monitoring for Diabetes Mellitus. *Ann Intern Med.* 4 sept 2012;157(5):336-47.
109. Addissouky TA, Ali MMA, El Sayed IET, Wang Y. Type 1 diabetes mellitus: retrospect and prospect. *Bull Natl Res Cent.* 19 avr 2024;48(1):42.
110. Heinemann L, Fleming GA, Petrie JR, Holl RW, Bergenstal RM, Peters AL. Insulin pump risks and benefits: a clinical appraisal of pump safety standards, adverse event reporting and research needs. A Joint Statement of the European Association for the Study of Diabetes and the American Diabetes Association Diabetes Technology Working Group. *Diabetologia.* 1 mai 2015;58(5):862-70.
111. Wong JC, Boyle C, DiMeglio LA, Mastrandrea LD, Abel KL, Cengiz E, et al. Evaluation of Pump Discontinuation and Associated Factors in the T1D Exchange Clinic Registry. *J Diabetes Sci Technol.* 1 mars 2017;11(2):224-32.
112. Khodabandehloo P, Fakembe P, Senga J, Shulman R, Lipscombe LL, Witteman HO, et al. Social disadvantage and technology use among adults with type 1 diabetes in Quebec: A cross-sectional study using data from the Canadian T1D (BETTER) Registry. *Diabetes Obes Metab.* juill 2025;27(7):3921-32.
113. Salle L, Julla JB, Fagherazzi G, Gourdy P, Bezerra Parente E, Hanaire H, et al. Beyond overweight, visceral adiposity is associated with estimation of cardiovascular risk in patients living with type 1 diabetes: findings from the SFDT1 cohort. *Cardiovasc Diabetol.* 14 juin 2025;24(1):256.
114. Berard LD, Siemens R, Woo V. Monitoring Glycemic Control. *Can J Diabetes.* avr 2018;42:S47-53.
115. Mauras N, Fox L, Englert K, Beck RW. Continuous glucose monitoring in type 1 diabetes. *Endocrine.* févr 2013;43(1):41-50.

116. Deiss D, Bolinder J, Riveline JP, Battelino T, Bosi E, Tubiana-Rufi N, et al. Improved Glycemic Control in Poorly Controlled Patients with Type 1 Diabetes Using Real-Time Continuous Glucose Monitoring. *Diabetes Care*. 1 janv 2007;29:2730-2.
117. Khowaja A, Adil L, Dwyer T, Barrett T, Alkhaddo J. Continuous Glucose Monitoring (CGM) use in patients with diabetes mellitus type 1 is associated with higher healthcare costs, increased hospitalizations, and social disparities in a real-world setting: Analysis of adoption pattern, impact on health services utilization and cost of care in a large integrated health system. *Diabetes Epidemiol Manag*. 1 juill 2025;19-20:100274.
118. Beck RW, Riddlesworth T, Ruedy K, Ahmann A, Bergenstal R, Haller S, et al. Effect of Continuous Glucose Monitoring on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes Using Insulin Injections: The DIAMOND Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 24 janv 2017;317(4):371-8.
119. Hermanns N, Schumann B, Kulzer B, Haak T. The Impact of Continuous Glucose Monitoring on Low Interstitial Glucose Values and Low Blood Glucose Values Assessed by Point-of-care Blood Glucose Meters: Results of a Crossover Trial. *J Diabetes Sci Technol*. 1 mai 2014;8(3):516-22.
120. Bolinder J, Antuna R, Geelhoed-Duijvestijn P, Kröger J, Weitgasser R. Novel glucose-sensing technology and hypoglycaemia in type 1 diabetes: a multicentre, non-masked, randomised controlled trial. *The Lancet*. 5 nov 2016;388(10057):2254-63.
121. Riddlesworth T, Price D, Cohen N, Beck RW. Hypoglycemic Event Frequency and the Effect of Continuous Glucose Monitoring in Adults with Type 1 Diabetes Using Multiple Daily Insulin Injections. *Diabetes Ther*. 1 août 2017;8(4):947-51.
122. Beers CAJ van, DeVries JH, Kleijer SJ, Smits MM, Geelhoed-Duijvestijn PH, Kramer MHH, et al. Continuous glucose monitoring for patients with type 1 diabetes and impaired awareness of hypoglycaemia (IN CONTROL): a randomised, open-label, crossover trial. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 1 nov 2016;4(11):893-902.
123. Polonsky WH, Hessler D, Ruedy KJ, Beck RW, DIAMOND Study Group. The Impact of Continuous Glucose Monitoring on Markers of Quality of Life in Adults With Type 1 Diabetes:

Further Findings From the DIAMOND Randomized Clinical Trial. *Diabetes Care*. juin 2017;40(6):736-41.

124. Jaklevic MC. Start-ups Tout Continuous Glucose Monitoring for People Without Diabetes. *JAMA*. 1 juin 2021;325(21):2140.

125. Muñoz Fabra E, Díez JL, Bondia J, Laguna Sanz AJ. A Comprehensive Review of Continuous Glucose Monitoring Accuracy during Exercise Periods. *Sensors*. 12 janv 2021;21(2):479.

126. Taleb N, Emami A, Suppere C, Messier V, Legault L, Chiasson JL, et al. Comparison of Two Continuous Glucose Monitoring Systems, Dexcom G4 Platinum and Medtronic Paradigm Veo Enlite System, at Rest and During Exercise. *Diabetes Technol Ther*. sept 2016;18(9):561-7.

127. Schmelzeisen-Redeker G, Schoemaker M, Kirchsteiger H, Freckmann G, Heinemann L, Del Re L. Time Delay of CGM Sensors: Relevance, Causes, and Countermeasures. *J Diabetes Sci Technol*. 1 sept 2015;9(5):1006-15.

128. Klupa T, Czupryniak L, Dzida G, Fichna P, Jarosz-Chobot P, Gumprecht J, et al. Expanding the Role of Continuous Glucose Monitoring in Modern Diabetes Care Beyond Type 1 Disease. *Diabetes Ther*. 1 août 2023;14(8):1241-66.

129. Kim JY, Kim S, Kim JH. Current Status of Continuous Glucose Monitoring Use in South Korean Type 1 Diabetes Mellitus Population—Pronounced Age-Related Disparities: Nationwide Cohort Study. *Diabetes Metab J* [Internet]. 28 avr 2025 [cité 1 août 2025]; Disponible sur: http://www.e-dmj.org/journal/view.php?doi=10.4093%2Fdmj.2024.0804&utm_source=chatgpt.com

130. DeSalvo DJ, Noor N, Xie C, Corathers SD, Majidi S, McDonough RJ, et al. Patient Demographics and Clinical Outcomes Among Type 1 Diabetes Patients Using Continuous Glucose Monitors: Data From T1D Exchange Real-World Observational Study. *J Diabetes Sci Technol*. mars 2023;17(2):322-8.

131. Canha D, Aguayo G, Cosson E, Vaduva P, Renard E, Alzaid F, et al. Clinical phenotyping of people living with type 1 diabetes according to their levels of diabetes-related distress: results from the SFDT1 cohort. *BMJ Open Diabetes Res Care*. févr 2025;13(1):e004524.
132. Meade LT, Rushton WE. Accuracy of Carbohydrate Counting in Adults. *Clin Diabetes Publ Am Diabetes Assoc*. juill 2016;34(3):142-7.
133. Schmidt S, Schelde B, Nørgaard K. Effects of advanced carbohydrate counting in patients with type 1 diabetes: a systematic review. *Diabet Med J Br Diabet Assoc*. août 2014;31(8):886-96.
134. Watt A, Ng AH, Sandison A, Furlanos S, Bramley A. Prevalence of disordered eating in adults with type 1 diabetes in an Australian metropolitan hospital. *Health Soc Care Community*. juill 2022;30(4):e974-80.
135. Goldenberg JZ, Day A, Brinkworth GD, Sato J, Yamada S, Jönsson T, et al. Efficacy and safety of low and very low carbohydrate diets for type 2 diabetes remission: systematic review and meta-analysis of published and unpublished randomized trial data. *BMJ*. 13 janv 2021;372:m4743.
136. Nguyen É, Wong K, Lalanne-Mistrih ML, Rabasa-Lhoret R, Brazeau AS. Association between low-carbohydrate-diet score, glycemia and cardiovascular risk factors in adults with type 1 diabetes. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 1 sept 2024;34(9):2143-54.
137. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. mai 2017;5(5):377-90.
138. Rydén A, Sörstadius E, Bergenheim K, Romanovschi A, Thorén F, Witt EA, et al. The Humanistic Burden of Type 1 Diabetes Mellitus in Europe: Examining Health Outcomes and the Role of Complications. *PLOS ONE*. 3 nov 2016;11(11):e0164977.

139. Kelly CS, Nguyen H, Chapman KS, Wolf WA. The emotional burden of type 1 diabetes: A cross-sectional study to understand associations between diabetes distress and glucose metrics in adulthood. *Diabet Med*. 16 août 2024;e15425.
140. Liu NF, Brown AS, Folias AE, Younge MF, Guzman SJ, Close KL, et al. Stigma in People With Type 1 or Type 2 Diabetes. *Clin Diabetes Publ Am Diabetes Assoc*. janv 2017;35(1):27-34.
141. Molla GJ, Ismail-Beigi F, Larijani B, Khaloo P, Moosaie F, Alemi H, et al. Smoking and Diabetes Control in Adults With Type 1 and Type 2 Diabetes: A Nationwide Study From the 2018 National Program for Prevention and Control of Diabetes of Iran. *Can J Diabetes*. 1 avr 2020;44(3):246-52.
142. Akturk HK, Taylor DD, Camsari UM, Rewers A, Kinney GL, Shah VN. Association Between Cannabis Use and Risk for Diabetic Ketoacidosis in Adults With Type 1 Diabetes. *JAMA Intern Med*. janv 2019;179(1):115-8.
143. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes—2025. *Diabetes Care*. 9 déc 2024;48(Supplement_1):S86-127.
144. Kudrnáčová M, Kudrnáč A. Better sleep, better life? testing the role of sleep on quality of life. *PLOS ONE*. 15 mars 2023;18(3):e0282085.
145. Vézina-Im LA, Turcotte AF, Messier V, Turcotte S, Brossard A, Pelletier J, et al. BETTER sleep: Sleep quality among adults living with type 1 diabetes in Canada. *J Diabetes Complications*. 1 oct 2025;39(10):109137.
146. Global Recommendations on Physical Activity for Health [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2010 [cité 8 août 2025]. (WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee). Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK305057/>
147. Rooney D, Gilmartin E, Heron N. Prescribing exercise and physical activity to treat and manage health conditions. *Ulster Med J*. janv 2023;92(1):9-15.

148. Jetté M, Sidney K, Blümchen G. Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clin Cardiol.* 1990;13(8):555-65.
149. Strath SJ, Kaminsky LA, Ainsworth BE, Ekelund U, Freedson PS, Gary RA, et al. Guide to the Assessment of Physical Activity: Clinical and Research Applications. *Circulation.* 12 nov 2013;128(20):2259-79.
150. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 1985;100(2):126-31.
151. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity. *Med Sci Sports Exerc.* août 2003;35(8):1381.
152. Prince SA, Adamo KB, Hamel ME, Hardt J, Gorber SC, Tremblay M. A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 6 nov 2008;5:56.
153. Sylvia LG, Bernstein EE, Hubbard JL, Keating L, Anderson EJ. A Practical Guide to Measuring Physical Activity. *J Acad Nutr Diet.* févr 2014;114(2):199-208.
154. Wake AD. Protective effects of physical activity against health risks associated with type 1 diabetes: “Health benefits outweigh the risks”. *World J Diabetes.* 15 mars 2022;13(3):161-84.
155. Bohn B, Herbst A, Pfeifer M, Krakow D, Zimny S, Kopp F, et al. Impact of Physical Activity on Glycemic Control and Prevalence of Cardiovascular Risk Factors in Adults With Type 1 Diabetes: A Cross-sectional Multicenter Study of 18,028 Patients. *Diabetes Care.* 1 août 2015;38(8):1536-43.
156. Heyman E, Toutain C, Delamarche P, Berthon P, Briard D, Youssef H, et al. Exercise Training and Cardiovascular Risk Factors in Type 1 Diabetic Adolescent Girls. *Pediatr Exerc Sci.* nov 2007;19(4):408-19.

157. 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.
158. Brazeau AS, Leroux C, Mircescu H, Rabasa-Lhoret R. Physical activity level and body composition among adults with Type 1 diabetes. *Diabet Med* [Internet]. nov 2012 [cité 7 juill 2024];29(11). Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1464-5491.2012.03757.x>
159. Lehmann R, Kaplan V, Bingisser R, Bloch KE, Spinas GA. Impact of Physical Activity on Cardiovascular Risk Factors in IDDM. *Diabetes Care*. 1 oct 1997;20(10):1603-11.
160. Rasmussen OW, Lauszus FF. Effects of Postprandial Exercise on Glycemic Response in IPPM Subjects. *Diabetes Care*. 1994;17(10):1203-5.
161. Wu N. Cardiovascular Health Benefits of Exercise Training in Persons Living with Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis.
162. Beraki Å, Magnuson A, Särnblad S, Åman J, Samuelsson U. Increase in physical activity is associated with lower HbA1c levels in children and adolescents with type 1 diabetes: Results from a cross-sectional study based on the Swedish pediatric diabetes quality registry (SWEDIABKIDS). *Diabetes Res Clin Pract*. juill 2014;105(1):119-25.
163. Huerta-Urbe N, Ramírez-Vélez R, Izquierdo M, García-Hermoso A. Association Between Physical Activity, Sedentary Behavior and Physical Fitness and Glycated Hemoglobin in Youth with Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*. janv 2023;53(1):111-23.
164. Tracy EL, Berg CA, Kent De Grey RG, Allen NA, Litchman ML, Butner J, et al. The benefits of daily exercise on blood glucose levels and affect among adults with type 1 diabetes. *J Behav Med*. déc 2020;43(6):1056-61.

165. Gal JJ, Li Z, Willi SM, Riddell MC. Association between high levels of physical activity and improved glucose control on active days in youth with type 1 diabetes. *Pediatr Diabetes*. nov 2022;23(7):1057-63.
166. Buse JB, Ginsberg HN, Bakris GL, Clark NG, Costa F, Eckel R, et al. Primary Prevention of Cardiovascular Diseases in People With Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*. 1 janv 2007;30(1):162-72.
167. Fisher L, Hessler D, Polonsky W, Strycker L, Masharani U, Peters A. Diabetes distress in adults with type 1 diabetes: Prevalence, incidence and change over time. *J Diabetes Complications*. août 2016;30(6):1123-8.
168. Khater D, Omar M. Frequency and risk factors of depression in type 1 diabetes in a developing country. *J Pediatr Endocrinol Metab* [Internet]. 28 janv 2017 [cité 28 août 2024];30(9). Disponible sur: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jpem-2016-0414/html>
169. 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*. mars 2012;55(3):542-51.
170. Pemberton J, Li Z, Gal RL, Turner LV, Bergford S, Calhoun P, et al. Duration of physical activity required to Ameliorate hyperglycemia without causing hypoglycemia in type 1 diabetes: A T1DEXI adults and pediatric cohort analyses. *Diabetes Res Clin Pract*. févr 2025;220:111981.
171. Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell MC, Dunstan DW, Dempsey PC, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 1 nov 2016;39(11):2065-79.
172. Strain T, Flaxman S, Guthold R, Semanova E, Cowan M, Riley LM, et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5·7 million participants. *Lancet Glob Health*. 1 août 2024;12(8):e1232-43.

173. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1·6 million participants. *Lancet Child Adolesc Health*. janv 2020;4(1):23-35.
174. Xu L, Li T, He W, Cao D, Wu C, Qin L. Prevalence of sufficient physical activity among general adult population and sub-populations with chronic conditions or disability in the USA. *Eur J Public Health*. 22 août 2023;33(5):891-6.
175. Finn M, Sherlock M, Feehan S, Guinan EM, Moore KB. Adherence to physical activity recommendations and barriers to physical activity participation among adults with type 1 diabetes. *Ir J Med Sci* 1971 -. août 2022;191(4):1639-46.
176. Matson RIB, Leary SD, Cooper AR, Thompson C, Narendran P, Andrews RC. Objective Measurement of Physical Activity in Adults With Newly Diagnosed Type 1 Diabetes and Healthy Individuals. *Front Public Health* [Internet]. 7 déc 2018 [cité 15 juill 2025];6. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2018.00360/full>
177. Telford DM, Signal DM, Hofman PL, Gusso S. Physical Activity in Adolescents with and without Type 1 Diabetes during the New Zealand COVID-19 Pandemic Lockdown of 2020. *Int J Environ Res Public Health*. 23 avr 2021;18(9):4475.
178. Murillo S, Brugnara L, Ríos S, Ribas V, Servitja JM, Novials A. People with type 1 diabetes exhibit lower exercise capacity compared to a control population with similar physical activity levels. *Diabetes Res Clin Pract*. mai 2024;211:111655.
179. Gómez-Peralta F, Menéndez E, Conde S, Conget I, Novials A, on behalf of SED and SED1 study investigators, et al. Physical activity patterns in type 1 diabetes in Spain: The SED1 study. *BMC Sports Sci Med Rehabil* [Internet]. 26 juill 2023 [cité 11 juill 2025];15(1). Disponible sur: <https://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13102-023-00695-3>
180. Vézina-Im LA, Morin CM, Desroches S. Sleep, Diet and Physical Activity Among Adults Living With Type 1 and Type 2 Diabetes. *Can J Diabetes*. oct 2021;45(7):659-65.

181. McCarthy MM, Whittemore R, Grey M. Physical Activity in Adults With Type 1 Diabetes. *Diabetes Educ.* févr 2016;42(1):108-15.
182. Moura BPD, Colombo BP, Miranda VPN, Caetano IT, Sasaki JE, Amorim PRDS. Sociodemographic factors associated with physical activity and sedentary behavior in Brazilian adults living with type 1 diabetes: a cross-sectional study. *Sao Paulo Med J* [Internet]. 2025 [cité 11 juill 2025];143(3). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-31802025000300207&tlng=en
183. Johansen RF, Caunt S, Heller S, Sander SE, Søndergaard E, Molsted S, et al. Factors Influencing Physical Activity Level in Adults With Type 1 Diabetes: A Cross-Sectional Study. *Can J Diabetes.* oct 2024;48(7):431-438.e1.
184. Basu A, Dube S, Veettil S, Slama M, Kudva YC, Peyser T, et al. Time Lag of Glucose From Intravascular to Interstitial Compartment in Type 1 Diabetes. *J Diabetes Sci Technol.* 1 janv 2015;9(1):63-8.
185. McDonald J. Postexercise Late-Onset Hypoglycemia in Insulin-Dependent Diabetic Patients. 1987. 10(584-588).
186. Christensen NJ, Galbo H. Sympathetic Nervous Activity During Exercise. *Annu Rev Physiol.* oct 1983;45(1):139-53.
187. Edgerton DS, Kraft G, Smith M, Farmer B, Williams PE, Coate KC, et al. Insulin's direct hepatic effect explains the inhibition of glucose production caused by insulin secretion. *JCI Insight* [Internet]. 23 mars 2017 [cité 6 août 2024];2(6). Disponible sur: <https://insight.jci.org/articles/view/91863>
188. Pereira RM, Moura LPD, Muñoz VR, Silva ASRD, Gaspar RS, Ropelle ER, et al. Molecular mechanisms of glucose uptake in skeletal muscle at rest and in response to exercise. *Mot Rev Educ Física* [Internet]. 2017 [cité 6 août 2024];23(spe). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-65742017000500202&lng=en&tlng=en

189. Ben Brahim N, Place J, Renard E, Breton MD. Identification of Main Factors Explaining Glucose Dynamics During and Immediately After Moderate Exercise in Patients With Type 1 Diabetes. *J Diabetes Sci Technol*. 1 nov 2015;9(6):1185-91.
190. Molveau J, Rabasa-Lhoret R, Taleb N, Heyman E, Myette-Côté É, Suppère C, et al. Minimizing the Risk of Exercise-Induced Glucose Fluctuations in People Living With Type 1 Diabetes Using Continuous Subcutaneous Insulin Infusion: An Overview of Strategies. *Can J Diabetes*. oct 2021;45(7):666-76.
191. Riddell MC, Perkins BA. Type 1 Diabetes and Vigorous Exercise: Applications of Exercise Physiology to Patient Management. *Can J Diabetes*. janv 2006;30(1):63-71.
192. Sigal J, Fisher J, Morais JA. Glucoregulation During and After Intense Exercise: Effects of α -Adrenergic Blockade.
193. Hall B, Żebrowska A, Sikora M, Siatkowski S, Robins A. The Effect of High-Intensity Interval Exercise on Short-Term Glycaemic Control, Serum Level of Key Mediator in Hypoxia and Pro-Inflammatory Cytokines in Patients with Type 1 Diabetes—An Exploratory Case Study. *Nutrients*. janv 2023;15(17):3749.
194. Sigal RJ, Fisher SJ, Manzon A, Morais JA, Halter JB, Vranic M, et al. Glucoregulation during and after intense exercise: Effects of α -adrenergic blockade. *Metabolism*. 1 mars 2000;49(3):386-94.
195. Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, Fournier PA. The 10-s maximal sprint: a novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes. *Diabetes Care*. mars 2006;29(3):601-6.
196. Shetty VB, Fournier PA, Davey RJ, Retterath AJ, Paramalingam N, Roby HC, et al. Effect of Exercise Intensity on Glucose Requirements to Maintain Euglycemia During Exercise in Type 1 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. mars 2016;101(3):972-80.

197. Athanasiou N, Bogdanis GC, Mastorakos G. Endocrine responses of the stress system to different types of exercise. *Rev Endocr Metab Disord.* avr 2023;24(2):251-66.
198. Riddell MC, Li Z, Gal RL, Calhoun P, Jacobs PG, Clements MA, et al. Examining the Acute Glycemic Effects of Different Types of Structured Exercise Sessions in Type 1 Diabetes in a Real-World Setting: The Type 1 Diabetes and Exercise Initiative (T1DEXI). *Diabetes Care.* 1 avr 2023;46(4):704-13.
199. Bally L, Laimer M, Stettler C. Exercise-associated glucose metabolism in individuals with type 1 diabetes mellitus: *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* juill 2015;18(4):428-33.
200. Sigal RJ, Fisher S, Halter JB, Vranic M, Marliss EB. The roles of catecholamines in glucoregulation in intense exercise as defined by the islet cell clamp technique. *Diabetes.* févr 1996;45(2):148-56.
201. Bally L, Zueger T, Buehler T, Dokumaci AS, Speck C, Pasi N, et al. Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study. *Diabetologia.* avr 2016;59(4):776-84.
202. Reddy R, Wittenberg A, Castle JR, El Youssef J, Winters-Stone K, Gillingham M, et al. Effect of Aerobic and Resistance Exercise on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes.* 1 août 2019;43(6):406-414.e1.
203. Brockman NK, Sigal RJ, Kenny GP, Riddell MC, Perkins BA, Yardley JE. Sex-Related Differences in Blood Glucose Responses to Resistance Exercise in Adults With Type 1 Diabetes: A Secondary Data Analysis. *Can J Diabetes.* 1 avr 2020;44(3):267-273.e1.
204. Duriez L, Lespagnol E, Berthoin S, Parent C, Dereumetz J, Tagougui S, et al. Impact of 2 Months Exercise Training on Glycaemic Metrics on Days with and Without Exercise in Adults with Type 1 Diabetes: A Pilot Single-Arm Study. *Med Sci Sports Exerc.* 17 janv 2025;10.1249/MSS.0000000000003750.

205. Tagougui S, Taleb N, Legault L, Suppère C, Messier V, Boukabous I, et al. A single-blind, randomised, crossover study to reduce hypoglycaemia risk during postprandial exercise with closed-loop insulin delivery in adults with type 1 diabetes: announced (with or without bolus reduction) vs unannounced exercise strategies. *Diabetologia*. nov 2020;63(11):2282-91.
206. Yardley JE. Reassessing the evidence: prandial state dictates glycaemic responses to exercise in individuals with type 1 diabetes to a greater extent than intensity. *Diabetologia*. déc 2022;65(12):1994-9.
207. Prasanna S, Barua S, Siller AF, Johnson JJ, Sabharwal A, DeSalvo DJ. Hypoglycemia risk with physical activity in type 1 diabetes: a data-driven approach. *Front Digit Health* [Internet]. 19 mai 2023 [cité 15 juill 2025];5. Disponible sur: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fdgth.2023.1142021/full>
208. Moser O, Zaharieva DP, Adolfsson P, Battelino T, Bracken RM, Buckingham BA, et al. The use of automated insulin delivery around physical activity and exercise in type 1 diabetes: a position statement of the European Association for the Study of Diabetes (EASD) and the International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD). *Diabetologia*. févr 2025;68(2):255-80.
209. Taleb N, Rabasa-Lhoret R. Can somatostatin antagonism prevent hypoglycaemia during exercise in type 1 diabetes? *Diabetologia*. 1 août 2016;59(8):1632-5.
210. Goulet-Gélinas L, Saade MB, Suppère C, Fortin A, Messier V, Taleb N, et al. Comparison of two carbohydrate intake strategies to improve glucose control during exercise in adolescents and adults with type 1 diabetes. *Nutr Metab Cardiovasc Dis NMCD*. 9 avr 2021;31(4):1238-46.
211. Molveau J, Myette-Côté É, Guédet C, Tagougui S, St-Amand R, Suppère C, et al. Impact of pre- and post-exercise strategies on hypoglycemic risk for two modalities of aerobic exercise among adults and adolescents living with type 1 diabetes using continuous subcutaneous insulin infusion: A randomized controlled trial. *Diabetes Metab*. janv 2025;51(1):101599.

212. Prévost MS, Rabasa-Lhoret R, Talbo MK, Yardley JE, Curry EG, Brazeau AS. Gender Differences in Strategies to Prevent Physical Activity–Related Hypoglycemia in Patients With Type 1 Diabetes: A BETTER Study. *Diabetes Care*. 1 mars 2022;45(3):e51-3.
213. Rilstone S, Oliver N, Godsland I, Tanushi B, Thomas M, Hill N. A Randomized Controlled Trial Assessing the Impact of Continuous Glucose Monitoring with a Predictive Hypoglycemia Alert Function on Hypoglycemia in Physical Activity for People with Type 1 Diabetes (PACE). *Diabetes Technol Ther*. févr 2024;26(2):95-102.
214. Yardley J, Iscoe K, Sigal R, Kenny G, Perkins B, Riddell M. Insulin pump therapy is associated with less post-exercise hyperglycemia than multiple daily injections: an observational study of physically active type 1 diabetes patients. *Diabetes Technol Ther* [Internet]. janv 2013 [cité 9 sept 2025];15(1). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23216304/>
215. Turner LV, Sherr JL, Zaharieva DP, Baran J, Hirsch IB, Bode BW, et al. Use of the Omnipod 5 Automated Insulin Delivery System Activity Feature Reduces Insulin Delivery and Attenuates the Drop in Glycemia Associated With Exercise in a Randomized Controlled Trial. *Diabetes Care*. 18 juill 2025;dc250141.
216. Yardley JE, Sigal RJ, Kenny GP, Riddell MC, Lovblom LE, Perkins BA. Point Accuracy of Interstitial Continuous Glucose Monitoring During Exercise in Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther*. janv 2013;15(1):46-9.
217. Moro O, Sebastiani G. Prediction of hypoglycaemia in subjects with type 1 diabetes during physical activity. *Open Health* [Internet]. 14 févr 2025 [cité 12 juill 2025];6(1). Disponible sur: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/ohe-2025-0060/html>
218. Mosquera-Lopez C, Ramsey KL, Roquemen-Echeverri V, Jacobs PG. Modeling risk of hypoglycemia during and following physical activity in people with type 1 diabetes using explainable mixed-effects machine learning. *Comput Biol Med*. mars 2023;155:106670.

219. Zaharieva DP, Addala A. Current and Novel Strategies to Reduce Fear of Hypoglycemia as a Barrier to Physical Activity in Adults and Youth With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes*. févr 2022;46(1):1-2.
220. Kalita D, Sharma H, Panda J, Mirza K. Platform for precise, personalised glucose forecasting through continuous glucose and physical activity monitoring and deep learning. *Med Eng Phys* [Internet]. oct 2024 [cité 15 sept 2025];132. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39428134/>
221. Binek A, Rembierz-Knoll A, Polańska J, Jarosz-Chobot P. Reasons for the discontinuation of therapy of personal insulin pump in children with type 1 diabetes. *Pediatr Endocrinol Diabetes Metab* [Internet]. 18 févr 2016 [cité 9 sept 2025];21(2). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26901138/>
222. Paiement K, Frenette V, Wu Z, Suppère C, Messier V, Lasalle-Vaillancourt A, et al. Is Better Understanding of Management Strategies for Adults With Type 1 Diabetes Associated With a Lower Risk of Developing Hypoglycemia During and After Physical Activity? *Can J Diabetes*. juill 2022;46(5):526-34.
223. Henske J, Albashaireh A, Turner LV, Beach G, Riddell MC. Are Regular Aerobic Exercisers With Type 1 Diabetes Following Current Physical Activity Self-Management Guidelines? Insights From an Online Survey. 2025;43(3).
224. Kime NH, Pringle A, Rivett MJ, Robinson PM. Physical activity and exercise in adults with type 1 diabetes: understanding their needs using a person-centered approach. *Health Educ Res*. 1 oct 2018;33(5):375-88.
225. Yu F, Fernandez R, Chidarikire S, Mackay L, Smith M. Associated factors, barriers, and interventions to promote physical activity and reduce sedentary time in academics: a systematic review. *BMC Public Health*. 13 août 2025;25(1):2753.
226. Moreno JP, Johnston CA. Barriers to Physical Activity in Women. *Am J Lifestyle Med*. mai 2014;8(3):164-6.

227. Zelenović M, Manić M, Stamenković A, Čaprić I, Božić D. Barriers to physical activity in adolescents: A systematic review. *Turk J Kinesiol.* 31 mars 2021;7(1):22-30.
228. Ashton LM, Hutchesson MJ, Rollo ME, Morgan PJ, Collins CE. Motivators and Barriers to Engaging in Healthy Eating and Physical Activity: A Cross-Sectional Survey in Young Adult Men. *Am J Mens Health.* 1 mars 2017;11(2):330-43.
229. Souza ALK de, Santos LP dos, Rech CR, Rodriguez-Añez CR, Alberico C, Borges LJ, et al. Barriers to physical activity among adults in primary healthcare units in the National Health System: a cross-sectional study in Brazil. *Sao Paulo Med J.* 2022;140:658-67.
230. Leininger LJ, Adams KJ, DeBeliso M. Differences in health promotion program participation, barriers and physical activity among faculty, staff and administration at a university worksite. *Int J Workplace Health Manag.* 9 nov 2015;8(4):246-55.
231. Mohammadi M, Azizmalayeri K. The study of factors affecting sports participation (physical, psychological, familial, social, cultural, administrative-opportunities and economic) faculty and staff of the University of Malayer city from their perspective. 1 janv 2016;11:3969-75.
232. Thomas N, Alder E, Leese G. Barriers to physical activity in patients with diabetes. *Postgrad Med J.* mai 2004;80(943):287-91.
233. Kennedy A, Narendran P, Andrews RC, Daley A, Greenfield SM. Attitudes and barriers to exercise in adults with a recent diagnosis of type 1 diabetes: a qualitative study of participants in the Exercise for Type 1 Diabetes (EXTOD) study. *BMJ Open.* janv 2018;8(1):e017813.
234. Oser TK, Minnehan KA, Wong G, Parascando J, McGinley E, Radico J, et al. Using Social Media to Broaden Understanding of the Barriers and Facilitators to Exercise in Adults With Type 1 Diabetes. *J Diabetes Sci Technol.* mai 2019;13(3):457-65.
235. Ferreira M, Neves JS, Neves C, Carvalho D. Physical exercise and glycemic management in patients with type 1 diabetes on insulin pump therapy—a cross-sectional study. *Acta Diabetol.* 24 mars 2023;60(7):881-9.

236. Custy C, Mitchell M, Dunne T, McCaffrey A, Neylon O, O’Gorman C, et al. A thematic analysis of barriers and facilitators of physical activity, and strategies for management of blood glucose levels around physical activity for adolescents with type 1 diabetes. *Clin Nutr Open Sci.* août 2024;56:265-86.
237. Logan JE, Prévost M, Brazeau AS, Hart S, Maldaner M, Scrase S, et al. The Impact of Gender on Physical Activity Preferences and Barriers in Adults With Type 1 Diabetes: A Qualitative Study. *Can J Diabetes.* août 2024;48(6):401-8.
238. Dubé MC, Valois P, Prud’homme D, Weisnagel SJ, Lavoie C. Physical activity barriers in diabetes: Development and validation of a new scale. *Diabetes Res Clin Pract.* avr 2006;72(1):20-7.
239. Brazeau AS, Rabasa-Lhoret R, Strychar I, Mircescu H. Barriers to Physical Activity Among Patients With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care.* 1 nov 2008;31(11):2108-9.
240. Jabbour G, Henderson M, Mathieu ME. Barriers to Active Lifestyles in Children with Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes.* avr 2016;40(2):170-2.
241. Keshawarz A, Piropato AR, Brown TL, Duca LM, Sippl RM, Wadwa RP, et al. Lower objectively measured physical activity is linked with perceived risk of hypoglycemia in type 1 diabetes. *J Diabetes Complications.* nov 2018;32(11):975-81.
242. Livny R, Said W, Shilo S, Bar-Yoseph R, Gal S, Oren M, et al. Identifying sources of support and barriers to physical activity in pediatric type 1 diabetes.
243. Andre CC, Kudva YC, Dadlani V, Cescon M, Mccrady-Spitzer SK, Church MM, et al. Perceived Barriers to Physical Activity in People with Type 1 Diabetes Using CGM. *Diabetes.* 1 juin 2019;68(Supplement_1):734-P.
244. Jabbour G. Vigorous Physical Activity Is Associated With Better Glycated Hemoglobin and Lower Fear of Hypoglycemia Scores in Youth With Type 1 Diabetes: A 2-Year Follow-Up Study. *Front Physiol.* 2020;11.

245. Alobaid AM, Zulyniak MA, Ajjan RA, Brož J, Hopkins M, Campbell MD. Barriers to Exercise in Adults with Type 1 Diabetes and Insulin Resistance. *Can J Diabetes*. avr 2023;S1499267123000977.
246. Parent C, Lespagnol E, Berthoin S, Tagougui S, Heyman J, Stuckens C, et al. Barriers to Physical Activity in Children and Adults Living With Type 1 Diabetes: A Complex Link With Real-life Glycemic Excursions. *Can J Diabetes*. mars 2023;47(2):124-32.
247. Brazeau AS, Gingras V, Leroux C, Suppère C, Mircescu H, Desjardins K, et al. A pilot program for physical exercise promotion in adults with type 1 diabetes: the PEP-1 program. *Appl Physiol Nutr Metab*. avr 2014;39(4):465-71.
248. Topp CW, Østergaard SD, Søndergaard S, Bech P. The WHO-5 Well-Being Index: A Systematic Review of the Literature. *Psychother Psychosom*. 28 mars 2015;84(3):167-76.
249. Brazeau AS, Mircescu H, Desjardins K, Dubé MC, Weisnagel SJ, Lavoie C, et al. The Barriers to Physical Activity in Type 1 Diabetes (BAPAD-1) scale: Predictive validity and reliability. *Diabetes Metab*. avr 2012;38(2):164-70.
250. Marlow AL, King BR, Trost SG, Weaver N, Smart CE. Healthy weight and overweight adolescents with type 1 diabetes mellitus do not meet recommendations for daily physical activity and sleep. *Diabetes Res Clin Pract*. sept 2023;203:110879.
251. Guédet C, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Messier V, Boudreau V, Chahal T, et al. Exploring perceived barriers to physical activity among individuals with type 1 diabetes in the era of new technologies: An Analysis from the BETTER registry. *Diabetes Metab*. juill 2025;101677.
252. Breton MD, Cherňavsky DR, Forlenza GP, DeBoer MD, Robic J, Wadwa RP, et al. Closed-Loop Control During Intense Prolonged Outdoor Exercise in Adolescents With Type 1 Diabetes: The Artificial Pancreas Ski Study. *Diabetes Care*. 1 déc 2017;40(12):1644-50.

253. Jabbour G, Bragazzi NL. Continuous Blood Glucose Monitoring Increases Vigorous Physical Activity Levels and Is Associated With Reduced Hypoglycemia Avoidance Behavior In Youth With Type 1 Diabetes. *Front Endocrinol.* 7 sept 2021;12:722123.
254. Lind M, Polonsky W, Hirsch IB, Heise T, Bolinder J, Dahlqvist S, et al. Continuous Glucose Monitoring vs Conventional Therapy for Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes Treated With Multiple Daily Insulin Injections: The GOLD Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 24 janv 2017;317(4):379-87.
255. Roos T, Hermanns N, Groß C, Kulzer B, Haak T, Ehrmann D. Effect of automated insulin delivery systems on person-reported outcomes in people with diabetes: a systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine.* oct 2024;76:102852.
256. Chahal T, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Grou C, Guédet C, Messier V, et al. Automated Insulin Delivery System Use and Physical Activity Levels in Adults with Type 1 Diabetes: A BETTER Registry Analysis.
257. Sjørgård B, Iversen MM, Mårtensson J. Continuous glucose monitoring in adults with type 1 diabetes: A balance between benefits and barriers: A critical incident study. *J Clin Nurs.* sept 2019;28(17-18):3318-29.
258. Tanenbaum ML, Iturralde E, Hanes SJ, Suttiratana SC, Ambrosino JM, Ly TT, et al. Trust in hybrid closed loop among people with diabetes: Perspectives of experienced system users. *J Health Psychol.* mars 2020;25(4):429-38.
259. Larose S, Rabasa-Lhoret R, Roy-Fleming A, Suppère C, Tagougui S, Messier V, et al. Changes in Accuracy of Continuous Glucose Monitoring Using Dexcom G4 Platinum Over the Course of Moderate Intensity Aerobic Exercise in Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther.* juin 2019;21(6):364-9.
260. Zaharieva DP, Turksoy K, McGaugh SM, Pooni R, Vienneau T, Ly T, et al. Lag Time Remains with Newer Real-Time Continuous Glucose Monitoring Technology During Aerobic Exercise in Adults Living with Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther.* juin 2019;21(6):313-21.

261. Rankin D, Kimbell B, Hovorka R, Lawton J. Adolescents' and their parents' experiences of using a closed-loop system to manage type 1 diabetes in everyday life: qualitative study. *Chronic Illn*. 1 déc 2022;18(4):742-56.
262. Kadiyala N, Hovorka R, Boughton CK. Closed-loop systems: recent advancements and lived experiences. *Expert Rev Med Devices*. 2 oct 2024;21(10):927-41.
263. Zaharieva DP, Morrison D, Paldus B, Lal RA, Buckingham BA, O'Neal DN. Practical Aspects and Exercise Safety Benefits of Automated Insulin Delivery Systems in Type 1 Diabetes. *Diabetes Spectr*. 1 mai 2023;36(2):127-36.
264. Hayek AAA, Robert AA, Dawish MAA. Evaluation of FreeStyle Libre Flash Glucose Monitoring System on Glycemic Control, Health-Related Quality of Life, and Fear of Hypoglycemia in Patients with Type 1 Diabetes. *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*. 10 déc 2017;10:1179551417746957.
265. Roberts AJ, Taplin CE, Isom S, Divers J, Saydah S, Jensen ET, et al. Association between fear of hypoglycemia and physical activity in youth with type 1 diabetes: The SEARCH for diabetes in youth study. *Pediatr Diabetes*. nov 2020;21(7):1277-84.
266. Hasan ABMN, Sharif AB, Jahan I. Perceived barriers to maintain physical activity and its association to mental health status of Bangladeshi adults: a quantile regression approach. *Sci Rep*. 2 juin 2023;13:8993.
267. Hoebeke R. Low-income women's perceived barriers to physical activity: focus group results. *Appl Nurs Res*. 1 mai 2008;21(2):60-5.
268. Withall J, Jago R, Fox KR. Why some do but most don't. Barriers and enablers to engaging low-income groups in physical activity programmes: a mixed methods study. *BMC Public Health*. 28 juin 2011;11(1):507.
269. Bantham A, Taverno Ross SE, Sebastião E, Hall G. Overcoming barriers to physical activity in underserved populations. *Prog Cardiovasc Dis*. 1 janv 2021;64:64-71.

270. Moreno-Llamas A, García-Mayor J, De La Cruz-Sánchez E. Physical activity barriers according to social stratification in Europe. *Int J Public Health*. nov 2020;65(8):1477-84.
271. Beenackers MA, Kamphuis CB, Giskes K, Brug J, Kunst AE, Burdorf A, et al. Socioeconomic inequalities in occupational, leisure-time, and transport related physical activity among European adults: A systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 19 sept 2012;9(1):116.
272. Finger JD, Tylleskär T, Lampert T, Mensink GB. Physical activity patterns and socioeconomic position: the German National Health Interview and Examination Survey 1998 (GNHIES98). *BMC Public Health*. 15 déc 2012;12(1):1079.
273. Sequeira S, Cruz C, Pinto D, Santos L, Marques A. Prevalence of barriers for physical activity in adults according to gender and socioeconomic status. *Br J Sports Med*. déc 2011;45(15):A18.3-A19.
274. Ominyi J, Clifton A. Barriers and Enablers to Physical Activity Participation Among Women in Underserved Communities: A Mixed-Methods Study. *Women*. mars 2025;5(1):5.
275. Heyman E, Peters TM, Lespagnol E, Parent C, Brazeau A, Yardley JE. Exploring gender differences in physical activity and related barriers in children and adults living with type 1 diabetes: A narrative review. *Diabet Med*. 9 sept 2025;e70132.
276. Zhao X, Duaso M, Ghazaleh HA, Guo X, Forbes A. Barriers and Facilitators to Physical Activity in People With Young-Onset (Aged 18-40 Years) Type 2 Diabetes: A Qualitative Study. *J Clin Nurs*. juin 2025;34(6):2386-99.
277. Ashraf MN, Cheng AYY. Impact of Living with Stigma in Persons with Type 1 Diabetes: A Patient–Physician Perspective. *Diabetes Ther*. 1 févr 2024;15(2):311-6.
278. Guo X, Wu S, Tang H, Li Y, Dong W, Lu G, et al. The relationship between stigma and psychological distress among people with diabetes: a meta-analysis. *BMC Psychol*. 24 août 2023;11:242.

279. Hernar I, Cooper JG, Nilsen RM, Skinner TC, Strandberg RB, Iversen MM, et al. Diabetes Distress and Associations With Demographic and Clinical Variables: A Nationwide Population-Based Registry Study of 10,186 Adults With Type 1 Diabetes in Norway. *Diabetes Care*. 1 janv 2024;47(1):126-31.
280. Fisher L, Hessler DM, Polonsky WH, Mullan J. When Is Diabetes Distress Clinically Meaningful? *Diabetes Care*. 1 févr 2012;35(2):259-64.
281. Karakuş KE. Effects of Diabetes Technologies on Decision Making Feedback Loop in Type 1 Diabetes. *Clin Diabetol*. 28 févr 2023;12(1):71-3.
282. Recchia F, Leung CK, Chin EC, Fong DY, Montero D, Cheng CP, et al. Comparative effectiveness of exercise, antidepressants and their combination in treating non-severe depression: a systematic review and network meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med*. déc 2022;56(23):1375-80.
283. Phillips WT, Kiernan M, King AC. Physical Activity as a Nonpharmacological Treatment for Depression: A Review. *Complement Health Pract Rev*. avr 2003;8(2):139-52.
284. Ahola AJ, Tikkanen-Dolenc H, Forsblom C, Harjutsalo V, Groop PH, on behalf of the FinnDiane Study Group. Symptoms of depression are associated with reduced leisure-time physical activity in adult individuals with type 1 diabetes. *Acta Diabetol*. oct 2021;58(10):1373-80.
285. Firth J, Siddiqi N, Koyanagi A, Siskind D, Rosenbaum S, Galletly C, et al. The Lancet Psychiatry Commission: a blueprint for protecting physical health in people with mental illness. *Lancet Psychiatry*. août 2019;6(8):675-712.
286. Monteiro FC, Schuch FB, Deslandes AC, Vancampfort D, Mosqueiro BP, Messinger MF, et al. Perceived barriers, benefits and correlates of physical activity in outpatients with Major Depressive Disorder: A study from Brazil. *Psychiatry Res*. févr 2020;284:112751.

287. Figueroa CA, Aguilera A, Hoffmann TJ, Fukuoka Y. The Relationship Between Barriers to Physical Activity and Depressive Symptoms in Community-Dwelling Women. *Womens Health Rep.* 1 mars 2024;5(1):242-9.
288. Guédet C, Alexandre-Heymann L, Yardley J, Messier V, Boudreau V, Laforest C, et al. Changes in physical activity barriers in adults with type 1 diabetes: the key role of psychological factors – findings from the BETTER registry.
289. Baillot A, Chenail S, Barros Polita N, Simoneau M, Libourel M, Nazon E, et al. Physical activity motives, barriers, and preferences in people with obesity: A systematic review. Kumar S, éditeur. *PLOS ONE*. 23 juin 2021;16(6):e0253114.
290. Bernhardt V, Babb TG. Exertional dyspnoea in obesity. *Eur Respir Rev.* déc 2016;25(142):487-95.
291. O'Donnell DE, O'Donnell CDJ, Webb KA, Guenette JA. Respiratory Consequences of Mild-to-Moderate Obesity: Impact on Exercise Performance in Health and in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Pulm Med.* 2012;2012:1-12.
292. Anandacoomarasamy A, Caterson I, Sambrook P, Fransen M, March L. The impact of obesity on the musculoskeletal system. *Int J Obes.* févr 2008;32(2):211-22.
293. Hamer O, Larkin D, Relph N, Dey P. Fear as a barrier to physical activity in young adults with obesity: a qualitative study. *Qual Res Sport Exerc Health.* 2 janv 2023;15(1):18-34.
294. Basu R, Johnson ML, Kudva YC, Basu A. Exercise, Hypoglycemia, and Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther.* juin 2014;16(6):331-7.
295. AlBurno H, Mercken L, De Vries H, Al Mohannadi D, Schneider F. Determinants of healthful eating and physical activity among adolescents and young adults with type 1 diabetes in Qatar: A qualitative study. Chisati EM, éditeur. *PLOS ONE*. 6 juill 2022;17(7):e0270984.

296. Ryninks K, Sutton E, Thomas E, Jago R, Shield JPH, Burren CP. Attitudes to Exercise and Diabetes in Young People with Type 1 Diabetes Mellitus: A Qualitative Analysis. Chao L, éditeur. PLOS ONE. 14 oct 2015;10(10):e0137562.
297. Ngamy T, Statham L, Smith B, Smith JR, Lloyd J, Clarke R, et al. A mixed methods exploration of the experiences of physical activity providers in supporting children and adolescents with type 1 diabetes in the UK. *Eur J Pediatr* [Internet]. 24 avr 2025 [cité 11 juill 2025];184(5). Disponible sur: <https://link.springer.com/10.1007/s00431-025-06139-z>
298. Giblin S, Scully P, Dalton N, Connolly M, McCaffrey A, Sheikhi A, et al. Parent and child perceptions of physical activity with type 1 diabetes. *BMJ Open Diabetes Res Care*. nov 2022;10(6):e002977.
299. Guédet C, Tagougui S, Suppère C, Boudreau V, Mathieu M -E., Brazeau A -S., et al. Limited impact of the PEP1 structured physical activity program on perceived barriers to physical activity in people living with type 1 diabetes. *Diabet Med*. 11 avr 2025;e70044.
300. Scott SN, Shepherd SO, Strauss JA, Wagenmakers AJM, Cocks M. Home-based high-intensity interval training reduces barriers to exercise in people with type 1 diabetes. *Exp Physiol*. avr 2020;105(4):571-8.
301. Mitchell F, Wilkie L, Robertson K, Reilly JJ, Kirk A. Feasibility and pilot study of an intervention to support active lifestyles in youth with type 1 diabetes: The ActivPals study. *Pediatr Diabetes*. 1 mai 2018;19(3):443-9.
302. Quirk H, Glazebrook C, Blake H. A physical activity intervention for children with type 1 diabetes- steps to active kids with diabetes (STAK-D): a feasibility study. *BMC Pediatr*. 7 févr 2018;18:37.
303. Newton KH, Wiltshire EJ, Elley CR. Pedometers and Text Messaging to Increase Physical Activity. *Diabetes Care*. mai 2009;32(5):813-5.

304. Kim G, Kim S, Lee YB, Jin SM, Hur KY, Kim JH. A randomized controlled trial of an app-based intervention on physical activity and glycemic control in people with type 2 diabetes. *BMC Med.* 1 mai 2024;22(1):185.
305. Dasgupta K, Rosenberg E, Joseph L, Cooke AB, Trudeau L, Bacon SL, et al. Physician step prescription and monitoring to improve ARTERIAL health (SMARTER): A randomized controlled trial in patients with type 2 diabetes and hypertension. *Diabetes Obes Metab.* mai 2017;19(5):695-704.
306. Laranjo L, Ding D, Heleno B, Kocaballi B, Quiroz JC, Tong HL, et al. Do smartphone applications and activity trackers increase physical activity in adults? Systematic review, meta-analysis and metaregression. *Br J Sports Med.* 1 avr 2021;55(8):422-32.
307. Kettle VE, Madigan CD, Coombe A, Graham H, Thomas JJC, Chalkley AE, et al. Effectiveness of physical activity interventions delivered or prompted by health professionals in primary care settings: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ.* 23 févr 2022;e068465.
308. Zhu S, Sinha D, Kirk M, Michalopoulou M, Hajizadeh A, Wren G, et al. Effectiveness of behavioural interventions with motivational interviewing on physical activity outcomes in adults: systematic review and meta-analysis. *The BMJ.* 10 juill 2024;386:e078713.
309. Brennan MC, Albrecht MA, Brown JA, Leslie GD, Ntoumanis N. Self-Management Group Education to Reduce Fear of Hypoglycemia as a Barrier to Physical Activity in Adults Living With Type 1 Diabetes: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Can J Diabetes.* oct 2021;45(7):619-28.
310. Lascar N, Kennedy A, Hancock B, Jenkins D, Andrews RC, Greenfield S, et al. Attitudes and Barriers to Exercise in Adults with Type 1 Diabetes (T1DM) and How Best to Address Them: A Qualitative Study. Petersen I, éditeur. *PLoS ONE.* 19 sept 2014;9(9):e108019.
311. Tagougui S, Legault L, Heyman E, Messier V, Suppere C, Potter KJ, et al. Anticipated Basal Insulin Reduction to Prevent Exercise-Induced Hypoglycemia in Adults and Adolescents Living with Type 1 Diabetes. *Diabetes Technol Ther.* mai 2022;24(5):307-15.

312. Roy-Fleming A, Taleb N, Messier V, Suppère C, Cameli C, Elbekri S, et al. Timing of insulin basal rate reduction to reduce hypoglycemia during late post-prandial exercise in adults with type 1 diabetes using insulin pump therapy: A randomized crossover trial. *Diabetes Metab.* juin 2019;45(3):294-300.
313. Tagougui S, Taleb N, Molveau J, Nguyen É, Raffray M, Rabasa-Lhoret R. Artificial Pancreas Systems and Physical Activity in Patients with Type 1 Diabetes: Challenges, Adopted Approaches, and Future Perspectives. *J Diabetes Sci Technol.* nov 2019;13(6):1077-90.

Annexes

I- Annexe 1 : Questionnaire BAPAD1

Est-ce que vous considérez que les facteurs suivants pourraient vous décourager à pratiquer une ou des activités physiques au cours des 6 prochains mois? *Pour chaque énoncé, vous avez à choisir entre 7 réponses.*

	Extrêmement improbable	Très improbable	Légèrement improbable	Ni probable ni improbable	Légèrement probable	Très probable	Extrêmement probable
La perte de contrôle de votre diabète							
Le risque d'hypoglycémie							
La peur d'être fatigué							
La peur de vous blesser							
La peur de faire un infarctus							
La mauvaise condition physique							
Le fait d'être diabétique							
Le risque d'hyperglycémie							
Votre état de santé physique excluant le diabète							
La température extérieure							
La proximité des centres sportifs							
Avoir un ou des enfant(s) à charge							
Votre horaire de travail							

II- Annexe 2 : Questionnaire CLARKE

- 1) Choisissez la phrase qui vous décrit de façon la plus précise.
 - Je ressens toujours des symptômes quand mon taux de sucre sanguin est bas.
 - Je ressens parfois des symptômes quand mon taux de sucre sanguin est bas.
 - Je n'ai plus de symptômes quand mon taux de sucre sanguin est bas.

- 2) Avez-vous perdu la sensation de certains de vos symptômes que vous ressentiez auparavant quand votre taux de sucre sanguin était bas (ex : tremblements, sudations, anxiété, confusion, difficulté de concentration ou nausée ou autres symptômes)?
 - Oui
 - Non

- 3) Dans les derniers 6 mois, combien de fois avez-vous eu des hypoglycémies modérées à sévères (épisodes où vous vous sentiez confus, désorienté ou léthargique et où vous n'étiez pas en mesure de vous traiter vous-même)?
 - Jamais
 - Une ou deux fois
 - À tous les deux mois
 - Chaque mois
 - Plus qu'une fois par mois

- 4) Dans les 12 derniers mois, combien de fois avez-vous éprouvé une hypoglycémie sévère (épisode où vous avez perdu connaissance ou avez eu des convulsions et avez eu besoin d'un traitement avec du ou du glucose intraveineux)?
 - Jamais
 - 1 fois
 - 2 fois
 - 3 fois
 - 4 fois
 - 5 fois
 - 6 fois
 - 7 fois
 - 8 fois
 - 9 fois
 - 10 fois
 - 11 fois
 - 12 fois ou plus

- 5) Dans le dernier mois, combien de fois avez-vous eu des mesures de sucre sanguin inférieures à 3,8 mmol/L AVEC des symptômes (ex: tremblements, sudations, anxiété, confusion, difficulté de concentration, nausée ou autres symptômes)?
- Jamais
 - 1 à 3 fois
 - 1 fois/semaine
 - 2 à 3 fois/semaine
 - 4 à 5 fois/semaine
 - Presque tous les jours
- 6) Dans le dernier mois, combien de fois avez-vous eu des taux de sucre sanguin inférieurs à 3,8 mmol/L SANS symptômes (ex: tremblements, sudations, anxiété, confusion, difficulté de concentration, nausée ou autres symptômes)?
- Jamais
 - 1 à 3 fois
 - 1 fois/semaine
 - 2 à 3 fois/semaine
 - 4 à 5 fois/semaine
 - Presque tous les jours
- 7) Indiquez à quelle valeur votre taux de sucre sanguin doit être pour ressentir des symptômes (ex: tremblements, sudations, anxiété, confusion, difficulté de concentration, nausée ou autres symptômes)
- 3,3 - 3,8 mmol/L
 - 2,8 - 3,3 mmol/L
 - 2,2 - 2,7 mmol/L
 - Moins que 2,2 mmol/L
- 8) Indiquez dans quelle mesure vos symptômes (ex.: tremblements, sudations, anxiété, confusion, difficulté de concentration, nausée ou autres symptômes) vous permettent de savoir que votre taux de sucre sanguin est bas.
- Jamais
 - Rarement
 - Parfois
 - Souvent
 - Toujours

III- Annexe 3 : Patient health questionnaire-9 (PHQ-9)

Au cours des 2 dernières semaines, à quelle fréquence avez-vous été gêné par les problèmes suivants :

	Jamais	Plusieurs jours	Plus de la moitié du temps	Presque tous les jours
Peu d'intérêt ou de plaisir à faire les choses				
Être triste ou déprimé ou désespéré				
Difficultés à s'endormir ou à rester endormi, ou dormir trop				
Se sentir fatigué ou manquer d'énergie				
Avoir peu d'appétit				
Avoir une mauvaise opinion de soi-même, ou avoir le sentiment d'être nul, ou d'avoir déçu sa famille ou s'être déçu soi-même				
Avoir du mal à se concentrer, par exemple, pour lire le journal ou regarder la télévision				
Bouger ou parler si lentement que les autres auraient pu le remarquer. Ou au contraire, être si agité que vous avez eu du mal à tenir en place par rapport à d'habitude				
Penser qu'il vaudrait mieux mourir ou envisager de vous faire du mal d'une manière ou d'une autre				

À quel point ce(s) problème(s) a-t-il (ont-ils) rendu votre travail, vos tâches à la maison ou votre capacité à vous entendre avec les autres difficile(s)?

- Pas du tout difficile(s)
- Assez difficile(s)
- Très difficile(s)
- Extrêmement difficile(s)

IV- Annexe 4 : Diabetes distress scale (DDS)

Il peut parfois être difficile de vivre avec le diabète. Le diabète peut entraîner de nombreux problèmes et complications dont la gravité peut varier considérablement. On présente ci-dessous 17 problèmes éventuels que les personnes qui vivent avec le diabète peuvent rencontrer. Songez au niveau d'inquiétude ou de détresse que chacun d'entre-eux vous a occasionné au cours du dernier mois, puis choisissez la réponse correspondante.

	1-Pas un problème	2- Un léger problème	3- Un problème moyen	4- Un problème relativement grave	5- Un problème grave	6- Un problème très grave
J'ai l'impression que le diabète accapare une trop grande partie de mon énergie mentale et physique tous les jours.						
J'ai l'impression que mon médecin n'en connaît pas suffisamment sur le diabète et les soins pour les personnes vivant avec le diabète.						
Je ressens de la colère, de la peur ou de la dépression quand je pense à la vie avec le diabète.						
J'ai l'impression que mon médecin ne me donne pas des directives suffisamment claires sur la prise en charge de mon diabète.						
J'ai l'impression que je ne vérifie pas ma glycémie assez souvent.						
J'ai l'impression que j'échoue souvent dans la prise en charge de mon diabète.						
J'ai l'impression que ma famille ou mes amis ne me soutiennent pas suffisamment dans mes efforts pour prendre mon diabète en charge (ex: planification d'activités qui ne tiennent pas compte de mon horaire, encouragement à manger les «mauvais» aliments).						
J'ai l'impression que le diabète contrôle ma vie.						
J'ai l'impression que mon médecin ne prend pas mes préoccupations au sérieux.						
Je n'ai pas confiance en ma capacité à prendre mon diabète en charge de jour en jour.						

J'ai l'impression que je vais finir par avoir des complications graves à long terme, peu importe ce que je fais.						
J'ai l'impression que je ne suis pas suffisamment mon plan de repas.						
J'ai l'impression que ma famille ou mes amis ne comprennent pas combien la vie avec le diabète est difficile.						
Je me sens dépassé par les exigences de la vie avec le diabète.						
J'ai l'impression que je ne peux pas voir mon médecin suffisamment régulièrement pour mon diabète.						
Je ne suis pas suffisamment motivé pour maintenir la prise en charge de mon diabète.						
J'ai l'impression que ma famille ou mes amis ne me donnent pas le soutien émotionnel que j'aimerais recevoir d'eux.						

V- Annexe 5 : Diabetes stigma assessment scale (DSAS)

Les énoncés suivants portent sur la vie avec le diabète et sur le traitement du diabète. Choisissez la réponse qui correspond le mieux à votre degré d'accord avec chaque énoncé.

	Fortement en désaccord	En désaccord	Incertain	En accord	Fortement en accord
On m'a exclu de certaines activités parce que j'ai le diabète de type 1					
Certaines personnes ont moins d'attentes envers moi parce que j'ai le diabète de type 1					
J'ai été victime de discrimination au travail parce que j'ai le diabète de type 1					
Certaines personnes pensent que je ne suis pas fiable parce que j'ai le diabète de type 1					
J'ai été rejeté par d'autres personnes (par exemple des amis, des collègues, des partenaires amoureux) à cause de mon diabète de type 1					
Certaines personnes me considèrent comme une personne de moindre valeur parce que j'ai le diabète de type 1					
Certaines personnes font des suppositions erronées sur ce que je peux et ne peux pas faire à cause de mon diabète de type 1					
Certaines personnes pensent que j'ai besoin d'insuline parce que je n'ai pas pris soin de moi					
Parce que j'ai le diabète de type 1, certaines personnes me jugent si je mange des aliments sucrés ou si je bois des boissons sucrées (ex. gâteaux, bonbons, boissons gazeuses)					
Certaines personnes pensent que je suis irresponsable quand ma gestion du diabète n'est pas « parfaite »					
Certaines personnes supposent que c'est de ma faute si j'ai le diabète de type 1 (ex. je mange trop de sucre, que j'aurais pu l'éviter)					

Certaines personnes pensent que je suis responsable de mon diabète de type 1					
Je me sens gêné par ce que les gens pourraient penser si j'ai besoin d'aide lors d'une hypoglycémie					
Je suis inquiet de dire aux gens que j'ai le diabète de type 1 au cas où ils réagiraient négativement					
Je suis embarrassé par tous les outils dont j'ai besoin pour gérer mon diabète de type 1 (ex. stylo à insuline, pompe à insuline, lecteur de glycémie)					
Pour éviter les réactions négatives, je ne dis pas aux gens que j'ai le diabète de type 1					
Ça me gêne de devoir gérer mon diabète en public (p. ex., vérifier ma glycémie, me donner une injection/un bolus d'insuline, refuser de la nourriture, manger plus de nourriture)					
Si je devais m'injecter de l'insuline en public, les gens penseraient que je me drogue					
Je m'inquiète de ce que les gens vont penser s'ils me voient m'injecter de l'insuline, ou mesurer ma glycémie en public					

VI- Annexe 6 : Hypoglycemia confidence scale (HCS)

Dans quelle mesure êtes-vous confiant de pouvoir éviter des problèmes en lien avec l'hypoglycémie:

	1- Pas confiant du tout	2- Un peu confiant	3- Modérément confiant	4- Très confiant
Quand vous faites de l'exercice?				
Quand vous dormez?				
Quand vous conduisez?				
Quand vous êtes dans un contexte social?				
Quand vous êtes seul?				

En général, dans quelle mesure êtes-vous confiant que vous pouvez:

	1- Pas confiant du tout	2- Un peu confiant	3- Modérément confiant	4- Très confiant
Éviter des problèmes sérieux causés par l'hypoglycémie?				
Reconnaître et réagir à l'hypoglycémie avant que votre taux de sucre sanguin ne descende trop bas?				
Continuer à faire les choses que vous voulez vraiment faire dans votre vie, malgré le risque d'hypoglycémie?				

Si vous avez un(e) conjoint(e), dans quelle mesure croyez-vous que votre conjoint(e) est confiant(e) de votre capacité à éviter de graves problèmes en lien avec l'hypoglycémie?

- Pas confiant du tout
- Un peu confiant
- Modérément confiant
- Très confiant
- Je n'ai pas de conjoint(e)

VII- ANNEXE 7 : Hypoglycemia fear survey II (HFS-II)

Voici une liste de choses que les personnes qui vivent avec le diabète font pour éviter l'hypoglycémie. Lisez attentivement chaque énoncé. Indiquez à quelle fréquence vous avez fait chacune de ces choses au cours des 6 derniers mois.

	0- Jamais	1- Rarement	2- Parfois	3- Souvent	4- Très souvent
Manger des grosses collations					
Essayer de maintenir mon taux de sucre sanguin au-dessus de 8,3 mmol/L					
Diminuer ma dose d'insuline quand mon taux de sucre sanguin est bas					
Contrôler mon taux de sucre sanguin au moins 6 fois par jour					
Veiller à être accompagné lors de mes sorties					
Limiter mes déplacements sur de longues distances					
Limiter ma conduite (voiture, camion, vélo)					
Éviter de rendre visite à des amis					
Demeurer à la maison même si je veux sortir					
Limiter mes exercices/activités physiques					
Veiller à ce qu'il y ait d'autres personnes autour de moi					
Éviter les relations sexuelles					
Maintenir ma glycémie plus élevée que d'habitude lorsque je suis avec des gens					
Maintenir ma glycémie plus élevée que d'habitude lorsque je fais des choses importantes (ex: réunion)					
Demander à des personnes de vérifier que je vais bien plusieurs fois pendant la journée ou la nuit					

Voici une liste de soucis (inquiétudes) que les personnes qui vivent avec le diabète ont parfois. Lisez attentivement chaque énoncé. Indiquez à quelle fréquence vous avez été inquiété par chacun de ces soucis au cours des 6 derniers mois.

	0- Jamais	1- Rarement	2- Parfois	3- Souvent	4- Très souvent
Ne pas reconnaître/réaliser que je suis en hypoglycémie					
Ne pas avoir de nourriture ou de jus à portée de main					
M'évanouir en public					
Me mettre dans une situation embarrassante ou d'embarrasser mes amis en public					
Faire un épisode d'hypoglycémie lorsque je suis seul					
Paraître stupide ou saoul					
Perdre le contrôle (ne plus se contrôler)					
N'avoir personne autour de moi pour m'aider lors d'un épisode d'hypoglycémie					
Faire un épisode d'hypoglycémie en conduisant					
Faire une erreur ou avoir un accident					
Recevoir des commentaires négatifs ou être critiqué					
Ne pas avoir les idées claires lorsque j'ai des personnes sous ma responsabilité					
Me sentir étourdi ou pris de vertiges					
Me blesser ou blesser quelqu'un accidentellement					
Me causer des blessures ou dommages permanents affectant ma santé ou mon corps					
Voir un épisode d'hypoglycémie interférer avec des choses importantes					
Avoir un épisode d'hypoglycémie durant le sommeil					
Devenir trop émotif et difficile à vivre					

VIII- ANNEXE 8 : International questionnaire physical activity (IPAQ)

Nous nous intéressons au temps que vous avez passé à être actif physiquement ces 7 derniers jours. Merci de répondre à chaque question même si vous ne vous considérez pas comme une personne physiquement active. Pensez aux activités que vous faites au travail, à domicile et dans votre jardin, pour vos déplacements d'un endroit à l'autre et pendant votre temps libre pour les loisirs, l'exercice ou le sport.

- 1) Pensez à toutes les activités intenses que vous avez faites au cours des 7 derniers jours. Les activités physiques intenses font référence aux activités qui vous demandent un effort physique important et vous font respirer beaucoup plus difficilement que normalement. Pensez seulement aux activités que vous avez effectuées pendant au moins 10 minutes d'affilée. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez fait des activités physiques intenses comme porter des charges lourdes, creuser, faire de la danse aérobique ou du vélo à haut intensité?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

Si >0, quand vous avez fait des activités physiques intenses au cours d'un de ces jours, combien de temps (en minutes) y avez-vous consacré en moyenne?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

- 2) Pensez à toutes les activités modérées que vous avez faites au cours des 7 derniers jours. Les activités physiques modérées font référence aux activités qui vous demandent un effort physique modéré et vous font respirer un peu plus difficilement que normalement. Pensez seulement aux activités que vous avez effectuées pendant au moins 10 minutes d'affilée. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez fait des activités physiques modérées comme porter des charges légères, faire du vélo tranquillement ou jouer au tennis en double? Ne pas inclure la marche.

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

Si >0, Quand vous avez fait des activités physiques modérées au cours d'un de ces jours, combien de temps (en minutes) y avez-vous consacré en moyenne?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

- 3) Pensez au temps que vous avez passé à marcher au moins 10 minutes d'affilée au cours des 7 derniers jours. Cela comprend la marche au travail et à la maison, la marche pour vous rendre d'un lieu à un autre, et tout autre type de marche que vous auriez pu faire pendant votre temps libre pour la détente, le sport ou les loisirs. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez marché au moins 10 minutes d'affilée?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

Si >0, Quand vous avez marché au cours d'un de ces jours, combien de temps (en minutes) y avez-vous consacré en moyenne?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

- 4) La dernière question porte sur le temps que vous avez passé assis ces 7 derniers jours. Incluez le temps passé au travail, à la maison, le temps passé à étudier ou en stage et le temps de loisirs. Cela peut comprendre le temps passé assis à votre bureau, assis lors d'une visite chez des amis, le temps passé à lire ou bien le temps passé assis ou allongé à regarder la télé. En moyenne, ces 7 derniers jours, combien de temps (en heures) avez-vous passé assis pendant un jour de semaine?

_____ (Entrer uniquement un chiffre. Utiliser un point pour les décimales. exemple: 2.5. Si vous ne connaissez pas la réponse, vous pouvez passer à la prochaine question.)

IX- ANNEXE 9 : Formations suivies

Université de Lille :

- Préparer sa mobilité à l'international (2023)
- Veille et stratégie de recherche documentaire (2023)
- Gérer efficacement sa documentation avec Zotero : Initiation (2023)
- Practice makes perfect (Année 2024-2025)
- Construire un projet entrepreneurial (2025)

⇒ Parcours Graduate Program :

- From cohorts to cutting-edge researches - ST8 (2023)
- Ethics, health and society - ST10 (2023)
- Physiopathology and molecular basis of diseases and treatments applied to precision health - ST3 (2024)
- Data reuse from health records and statistical analysis of omics data - ST4 (2024)
- “Precision health” Day (2024)

Université de Montréal :

- Éthique en recherche (Hiver 2023)
- Rédaction scientifique en anglais (Hiver 2023)
- Séminaire doctorale II (Hiver 2023)
- Adaptation du mouvement et régulation de l'exercice (Été 2023)
- Exercice & Métabolisme (Automne 2023)
- Plan de perfectionnement en sciences de la santé (Automne 2023)
- Communication orale scientifique II (Hiver 2024)
- Séminaire doctorale I (Hiver 2024)

Formation interne - IRCM Laboratoire et Clinique du Dr.Rabasa-Lhoret :

- Éthique :
 - Éthique – Santé et service sociaux du Québec (2023) – Module 1, 3.1, 3.2 et 3.3
 - Collaborative Institutional Training Initiative (CITI Program) – Good Clinical Practice (Stage 1)
 - Modes opératoires normalisés de l'institut de recherches cliniques de Montréal – MON002, MON003, MON004, MON006, MON007, MON008, MON009, MON011, MON013, MON014, MON015
- Prise en charge du diabète :
 - Hypoglycémie sévère
 - Technologie et diabète (programme de pompe)
 - Insulinothérapie

Séminaires scientifiques :

- Duo de conférences nutrition, exercice physique & relation patient (Lille, 2023)
- Conférence 'Exercise, diabetes, and cognition: a translational approach' (Lille, 2023)
- Congrès SFD - Société Francophone du Diabète (Montpellier, 2023)
- Congrès AQSAP - Association québécoise des sciences de l'activité physique (Montréal 2023)
- Congrès CMDO - Réseau de recherche en santé cardiométabolique, diabète et obésité (Mt-Orford, 2024)
- Congrès Diabetes & Obesity Update (Virtuel, 2024)
- Congrès ADA – American Diabetes Association (Orlando, 2024)
- Camp d'hiver – CMDO - Réseau de recherche en santé cardiométabolique, diabète et obésité (Mt-Orford, 2025)
- Congrès CMDO - Réseau de recherche en santé cardiométabolique, diabète et obésité (Mt-Orford, 2025)
- Congrès SFD - Société Francophone du Diabète (Paris, 2025)
- Congrès Diabetes & Obesity Update (Virtuel, 2025)

X- Annexes 10 : Liste des financements obtenus

2022 : Bourse Mob-Lil-Ex - « Mobilité internationale Master » - Université de Lille, France

Projet : Étude FIT3 – Laboratoire LAPS (Pr. Marie-Ève Mathieu)

Financement obtenu : 1200 €

2023 : Bourse de voyage pour le congrès SFD – Société francophone du diabète, France

Congrès : Société francophone du Diabète (SFD) – Montpellier 2023

Présentation : « Impact d'un entraînement en visioconférence chez l'adolescent en situation d'obésité sur l'aptitude aérobie et la composition corporelle : résultats préliminaires »

Financement obtenu : 450 €

2023 : « International mobility grant PhD » - Graduat program - Université de Lille, France

Projet : Étude Feel-Hiit – Laboratoire Dr. Rémi Rabasa-Lhoret

Financement obtenu : 3000 €

2024 : « International mobility grant PhD » - Graduat program - Université de Lille, France

Projet : Étude BETTER « Les barrières à l'activité physique chez les personnes vivant avec un diabète de type 1 » – Laboratoire Dr. Rémi Rabasa-Lhoret

Financement obtenu : 3000 €

2024 : « Bourse de congrès internationale » - École doctorale biologie santé de Lille, France

Congrès : 84th scientific sessions – American Diabetes Association (ADA) – Orlando 2025

Présentation orale : “Enhancing physical activity engagement among individuals with type 1 diabetes: Exploring perceived barriers in the era of new technologies”

Financement obtenu : 450€

2025 : « Bourse de participation à un congrès scientifique » - AQSAP, Association québécoise des sciences de l'activité physique, Canada

Congrès : CMDO 2025

Présentation par affiche : Les barrières à l'activité physique perçues par les personnes vivant avec le diabète de type 1

Financement obtenu : 250\$CA

2025 : « Programme d'aide au rayonnement du savoir étudiant des cycles supérieurs » - Université de Montréal, Canada

Congrès : CMDO 2025

Présentation par affiche : Les barrières à l'activité physique perçues par les personnes vivant avec le diabète de type 1

Financement obtenu : 500\$CA

2025 : « Bourse de mobilité international – Cotutelle de thèse » - Université de Montréal, Canada

Projet : ChronoDiab « Effets du rythme circadien sur la régulation glycémique lors d'exercices modérés continus et intermittents intenses chez des adolescents vivant avec le diabète de type 1 »

Financement obtenu : 7500\$CA

2025 : « Bourse Travel Awards » - Can Tap Talent funding by Canadian Institutes of Health Research (CIHR) and Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC)

Congrès : 85th scientific sessions – American Diabetes Association (ADA) – Chicago 2025

Présentation orale : « Changes in Barriers to Physical Activity in Adults with Type 1 Diabetes—Association with Clinical and Psychological Factors »

Financement obtenu : 2000\$CA (*Renoncé*)

2025 : « Bourse pour congrès internationaux hors Québec » - Réseau de recherche en santé cardiométabolique, diabète et obésité (CMDO)

Congrès : 85th scientific sessions – American Diabetes Association (ADA) – Chicago 2025

Présentation orale : « Changes in Barriers to Physical Activity in Adults with Type 1 Diabetes — Association with Clinical and Psychological Factors »

Financement obtenu : 500\$CA (*Renoncé*)

XI- Annexes 11 : Activités d'enseignement

Université de Lille :

- **Enseignante vacataire (76h)**
- **Attaché temporaire d'enseignement et de recherche (192h – en cours)**

Année	Type d'enseignement	Niveau	Nature	Heures équivalent TD
2022-2023	Obésité et APA	Master 1 / CU	CM	6h
2023-2024	Obésité et APA	Master 1 / CU	CM	6h
2024-2025	Anatomie et physiologie	Deust 1	CM/TD	37h
2024-2025	Maladies métaboliques et APA	CU	CM/TD	18h
2024-2025	Obésité, diabète de type 2 et APA	Master 1 / CU	CM/TD	9h
2025-2026	Physiologie	Licence 1 et 2	TD	64h
2025-2026	Biomécanique	Licence 1	TD	10h
2025-2026	Analyse des déterminants de la condition physique	Licence 1 et 2	TD	42h
2025-2026	Anatomie	Licence 1 et 2	TD	66h
2025-2025	Maladies métaboliques et APA	CU	CM/TD	20h

APA : Activité physique adaptée ; CM : cours magistraux ; CU : certificat universitaire ; TD : travaux dirigés

Tableau représentant les matières enseignées, leurs volumes horaires et le public étudiant auxquelles elles étaient adressées.

Université de Montréal :

- **Auxiliaire d'enseignement (40h) (2023-2024)**
 - Accompagnement des professeurs et des étudiants dans les cours de kinésiologie, surveillance des examens

Résumé

Le diabète de type 1 (DT1) est une maladie auto-immune chronique caractérisée par une hyperglycémie persistante, résultant d'une absence de sécrétion d'insuline secondaire à destruction des cellules bêta pancréatiques. À ce jour, cette pathologie demeure incurable et nécessite une prise en charge complexe reposant sur l'administration d'insuline pour le reste de la vie, la surveillance glycémique et l'adoption d'un mode de vie sain. Parmi les stratégies non pharmacologiques, la pratique régulière d'une activité physique (AP) constitue un levier majeur pour améliorer le contrôle glycémique et réduire le risque de complications associées au DT1. Cependant, la proportion de personnes vivant avec un DT1 (PvDT1) atteignant les recommandations d'AP reste faible. Cette thèse s'est ainsi intéressée à l'étude des barrières à l'activité physique perçues par les PvDT1 et à leur évolution dans le temps. La première étude a montré que la peur de l'hypoglycémie demeure la principale barrière à l'AP, malgré les avancées technologiques (capteurs de glucose en continu [CGM], pompes à insuline [CSII], systèmes automatisés d'administration d'insuline [AID]). Une plus grande proportion d'utilisateurs de ces technologies percevait la peur de l'hypoglycémie et la peur de perte de contrôle du diabète comme des barrières à l'AP, comparativement aux personnes sous multi-injections sans CGM. Par ailleurs, plusieurs facteurs psychosociaux (sexe, niveau d'éducation, revenu), cliniques (IMC, complications microvasculaires) et comportementaux (épisodes récents d'hypoglycémie sévère, confiance en la gestion des hypoglycémies) se sont révélés être associés à un niveau plus élevé de barrières. La deuxième étude a mis en évidence une diminution des barrières à l'AP au fil du temps, influencée par des facteurs principalement psychosociaux tels qu'une diminution de la détresse liée au diabète, de la stigmatisation, de la dépression ou encore de l'IMC. Enfin, la troisième étude a évalué l'impact d'une intervention de promotion de l'activité physique sur la perception des barrières à l'AP. Les résultats n'ont montré aucune diminution significative des barrières, à court comme à long terme, malgré les 18 heures d'intervention réalisées. Ces travaux contribuent à une meilleure compréhension de la complexité des barrières à l'exercice et soulignent la nécessité de développer des approches plus individualisées et adaptées afin de favoriser l'engagement des PvDT1 dans l'AP.

Mots-clés : Diabète de type 1, activité physique, freins à l'activité physique

Abstract

Type 1 diabetes (T1D) is a chronic autoimmune disease characterized by persistent hyperglycemia. This condition results from the destruction of pancreatic beta cells and the subsequent absence of insulin secretion. Currently, there is no permanent cure for this condition, which requires complex management involving lifetime insulin administration, blood glucose monitoring, and adopting a healthy lifestyle. Among non-pharmacological strategies, regular physical activity (PA) is key to improving glycemic control and reducing the risk of T1D-related complications. However, few people living with T1D achieve the recommended level of PA. This thesis focuses on studying the perceived barriers to physical activity among people with T1D and how these barriers evolve over time. The first study revealed that, despite technological advances such as continuous glucose monitors (CGM), insulin pumps (CSII), and automated insulin delivery systems (AID), fear of hypoglycemia remains the main barrier to PA. A greater proportion of technology users reported fear of hypoglycemia and fear of losing control of their diabetes as barriers to PA than individuals on multiple daily injections without CGM did. Several psychosocial (e.g., sex, education level, income), clinical (e.g., BMI, microvascular complications), and behavioral (e.g., recent episodes of severe hypoglycemia, confidence in hypoglycemia management) factors were also associated with higher perceived barriers. The second study revealed a decrease in barriers to PA over time, primarily influenced by psychosocial factors, including reductions in diabetes distress, stigma, depression, and BMI. Finally, the third study assessed the impact of a physical activity promotion intervention on perceived barriers to PA. The results showed no significant reduction in barriers in the short or long term despite 18 hours of intervention. Overall, this work improves our understanding of the complexities of exercise barriers faced by people with type 1 diabetes and emphasizes the need for more individualized, tailored approaches to reduce these barriers and encourage regular physical activity.

Keywords: Type 1 diabetes, Physical activity, Barriers to physical activity