

SOMMAIRE

I) INTRODUCTION

II) LE DIABETE DE TYPE 1

A. Généralités

1. Introduction
2. Epidémiologie

B. Aspects cliniques

1. Mode de révélation
2. Complications

C. Traitements

1. Traitements médicamenteux
2. Traitements non médicamenteux

D. Autocontrôles Glycémiques

1. Glucose Interstitiel
2. Sport et mesure en continu du glucose

III) PARTICULARITE DU DIABETE CHEZ L'ADOLESCENT

A. Introduction

B. Les changements physiologiques

C. Les changements comportementaux et psychosociaux

D. Qualité de vie : L'étude TEENs Study

E. Solutions proposées aux jeunes diabétiques

IV) DIABETE ET SPORT

A. Physiologie de l'exercice

1. Généralités

2. Les différentes voies de production de l'énergie

B. Spécificités du sujet diabétique

1. Les risques liés à l'activité physique

2. Facteurs affectant la réponse à l'exercice

C. Bénéfices de l'activité physique

1. Bénéfices dans la population générale

2. Bénéfices chez le diabétique de type 1

D. Adaptations pour la pratique d'une activité physique

1. Le traitement par Insuline

2. Alimentation et hydratation

3. Les contrôles glycémiques

4. Les capacités de chaque individu

5. Particularités liées à l'adolescence

E. Conclusion

V) ORGANISATION DE LA PLONGEE SOUS MARINE

A. Les Institutions

1. En France
2. Dans le monde

B. La législation

1. Les règles de mise à l'eau
2. Le certificat médical

VI) HISTOIRE DU DIABETE ET DE LA PLONGEE

A. Historique

B. Les études sur les risques liés a la plongée

1. Les études en milieu naturel
2. Les études en caisson

C. Les réglementations

D. Conclusion

VII) LES JEUNES DIABETIQUES PLONGENT A MAYOTTE : IMPACT D'UN GRAND PROJET SPORTIF CENTRE SUR LA PLONGEE SOUS MARINE CHEZ DES JEUNES DIABETIQUES DE TYPE 1

A. MATERIEL ET METHODES

1. Généralités
2. Modalités de formation
3. Description de l'étude
4. Critères d'évaluation de l'impact du projet sur la maladie diabétique
- 4) Critères d'évaluation de l'impact du projet

B. RESULTATS

1. A L'inclusion
- 2) A Marseille
3. Entre Marseille et Mayotte
4. A Mayotte
5. Après Mayotte

D) DISCUSSION

VIII) CONCLUSION

INTRODUCTION

Pendant soixante ans, les diabétiques ont adaptés leur vie à leur diabète. Le sport était en soi interdit ou déconseillé. Il était considéré que quelle que soit la -bonne- santé de la personne, son état diabétique l'empêchait à priori d'être apte à un sport. Et ces a priori étaient évidemment accrus pour les sports comme la plongée sous marine.

Même si en 1998, la Société Francophone du Diabète (SFD) a recommandée l'activité physique et sportive chez les diabétiques, la plongée sous marine reste en France l'emblème du sport interdit en cas de diabète insulino-traité (DIT).

La raison principale est le risque d'hypoglycémie en immersion et sa conséquence potentielle grave, la noyade. Les autres risques évoqués sont la confusion possible entre les accidents de décompressions neurologiques et les malaises hypoglycémiques à présentation neurologique, les risques de décompensations aiguës (acido cétose) et les risques d'aggravations de la maladie diabétique.

Or, il s'agit d'un risque supposé et non prouvé. A l'échelle internationale les expériences de deux associations, Diver Alert Network (DAN) et British Sub Aqua Confédération(BSAC) ont montrées que les diabétiques n'ont pas plus d'accidents de plongée que les non diabétiques, en d'autres termes, qu'il n'y a pas de surrisque lié au diabète.

En France, la situation évolue en 2004 : à la suite d'un travail scientifique, la Fédération Française de plongée (FFESSM) lève son interdiction après avoir réévaluée les restrictions et permet l'accès à la plongée aux DIT âgés de plus de 18 ans dans le cadre d'un protocole de mise à l'eau précis.

A la lumière de ces résultats positifs, il nous paraît important de s'intéresser aux jeunes diabétiques (14-18 ans) qui ne sont pour l'instant pas concernés par

ces prérogatives, pour des raisons historiques essentiellement administratives (autorisations parentales, responsabilités, assurances...).

Souhaitant faire partager leur passion de la plongée sous marine au plus grand nombre de diabétiques et ouvrir les portes aux plus jeunes d'entre eux, les Docteurs Lormeau Boris, Dufaitre Lise, Sola Agnès et Guillaume Goury , président de l'association Diabète et Plongée, ont organisés le projet « Les jeunes diabétiques plongent à Mayotte » en 2016 en vue de faire changer les recommandations officielles et de permettre a des jeunes diabétiques de plonger en toute sécurité sans cacher leur maladie.

Il s'agit d'un séjour de cinq jours sur l'île de Mayotte , ou un groupe de jeunes diabétiques de 14 à 18 ans effectuera 1 plongée par jour dans l'espace médian, durant lesquelles les glycémies , resucrages et quantités d'insuline seront relevées à différents moments avant pendant et après les plongées. Ce groupe d'adolescents sera ensuite suivi à 3 et 6 mois au retour du séjour.

L'objectif principal de l'étude « Impact d'un grand projet sportif centré sur la plongée sous marine chez des adolescents diabétiques de type 1 » est d'évaluer les conséquences à court et moyen terme d'un tel projet sur la maladie chez des jeunes (14 à 18 ans) diabétiques de type 1 (DT1). Pendant le séjour seront relevés le nombre d'hypoglycémies avant pendant et après les plongées, les évolutions glycémiques, les prises de glucides, les changements de doses d'insuline. Et avant et après le séjour à 3 et 6 mois, nous relèveront les Hémoglobines glycosylées (HbA1c) ainsi qu'un questionnaire de qualité de vie.

Les objectifs secondaires sont de valider les prérogatives de la FFESSM du DT1 chez le jeune 14 à 18 ans, d'étudier l'intérêt des systèmes de mesure en continu du glucose dans ces conditions, de comparer les résultats entre Mahorais et Métropolitains et de comparer les résultats obtenus (HbA1c, baisse glycémique, prise de glucides) avec les DT1 adultes.

Le travail se développera comme suit :

- Nous commencerons par exposer un rappel sur les bases physiologiques, les présentations cliniques et les bases du traitement du diabète de type 1. Une

importance particulière sera attribuée aux systèmes de surveillance en continu du glucose qui ont équipés les enfants de notre étude, et aux particularités liées à l'adolescence dans l'histoire de la maladie chronique.

- Une seconde partie sera ensuite dédiée aux spécificités et aux difficultés de la pratique d'activités sportives pour les diabétiques de type 1.

- Dans une troisième et quatrième partie nous développerons les spécificités de la plongée sous marine, dans ses bases physiologiques et son organisation institutionnelle d'une part, et dans l'histoire du diabète et de la plongée d'autre part.

- La cinquième et dernière partie du travail sera dédiée à l'étude elle-même qui a permise, à la vue de ses résultats très positifs, de proposer des protocoles de mise à l'eau pour les diabétiques dès l'âge de 14 ans.

Rapport-Gratuit.com

II) LE DIABETE DE TYPE I

A. Généralités.

A.1. Introduction

D'après l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), on compte environ 5% de diabétiques connus en France en 2015, soit 3.3 Millions d'individus.

Une augmentation de la prévalence est observée depuis les années 2000 mais semble diminuer, avec un taux de croissance annuel de 5.4% entre 2006 et 2009 et 2.3% entre 2009 et 2013.

En fait, ces chiffres regroupent deux maladies bien différentes :

-Le diabète de type 1, ou insulino-dépendant survient le plus souvent avant l'âge de 20 ans et représente moins de 10% des diabètes. En 2007, il concerne 15 enfants sur 100 000.

-Le diabète de type 2, ou non insulino-dépendant survient le plus souvent après 50 ans et représente plus de 90% des diabètes.

Nous développerons dans cet exposé uniquement le DIT car c'est sur ce dernier que porte notre étude.

A.2 Epidémiologie

Si l'on considère les données de l'étude Entred en 2007 (1) (Échantillon national témoin représentatif des personnes diabétiques), 5,6% des personnes diabétiques traitées étaient identifiées comme DT1 en métropole (France hors départements d'outre-mer).

On peut donc estimer à environ 122 000 le nombre de personnes DT1 en France métropolitaine en 2007.

Le DT1 survient à tout âge mais surtout avant 20 ans avec un pic de fréquence vers 12 ans.

L'incidence avant l'âge de 15 ans en France est de 15 pour 100 000, et il existe un important gradient Nord-Sud notamment en Europe avec une incidence de 42 pour 100 000 en Finlande.

Ce gradient s'expliquerait par des raisons génétiques imparfaitement connues, et des facteurs environnementaux presque totalement inconnus, bien que les virus soient largement incriminés.

En 2007, d'après les données de consommation médicale, la moyenne d'âge de la population des DT1 en France métropolitaine est de 42 ans ; 62% des DT1 (IC95%: [56%-68%]) sont âgés de moins de 45 ans et 18% de 55 ans et plus.

L'âge moyen est resté globalement stable entre 2001 et 2007 (-1 an).

Moins de la moitié des DT1 (48% [42%-54%]) sont des hommes, alors qu'en 2001 il y avait un peu plus d'hommes.

Enfin, il semble exister une augmentation de incidence dans le monde de 3% par an depuis les années 2000 sans qu'on ne connaisse la raison.

B. Aspects cliniques

B.1. Mode de révélation

Le syndrome cardinal

Dans 98% des cas, le diabète de type 1 est diagnostiqué chez l'enfant devant l'association classique polyurie-polydipsie-polyphagie-amaigrissement, conséquences de l'hyperglycémie.

L'amaigrissement est secondaire à la déshydratation et à l'état catabolique lié à l'insulinopénie : lipolyse et catabolisme musculaire par défaut d'apport glucidique intra cellulaire.

S'en suit une polyphagie compensatrice dans le but de renouveler les stocks de lipides.

Il faut comprendre que ce syndrome cardinal n'apparaît que pour des glycémies supérieures à 3g/l, il arrive que le diabète soit diagnostiqué de manière fortuite lors d'un bilan sanguin de routine pour une infection par exemple.

L'acido cétose diabétique.

Cette situation complique ou révèle un diabète de type 1 dans 25 à 40% des cas.

Elle peut entraîner un coma acido-cétoïque comportant un risque vital.

Ce cas de figure sera détaillé dans le chapitre sur les complications aiguës du diabète, car elle peut être l'occasion du diagnostic mais peut aussi être une complication aiguë chez un diabétique connu.

B.2 Les Complications

B.2.1. Aigues

L'acido cétose diabétique.

La symptomatologie peut prendre la forme d'un syndrome abdominal avec douleurs, vomissements, surtout chez l'enfant et l'adolescent.

Le tableau peut aussi être d'allure respiratoire avec une hyperpnée due à l'acidose métabolique.

Les causes de décompensation sur le versant de l'acido cétose sont multiples et il faut les rechercher :

-Une infection pas toujours évidente et parfois apyrétique.

-Bien que très rare chez le jeune diabétique, un accident cardio vasculaire en se rappelant que l'infarctus du myocarde peut être indolore à cause de la neuropathie.

Pour prévenir l'arrivée de cette situation il convient de rappeler que la recherche de cétonurie ou de cétonémie est essentielle dans certaines situations comme des signes cliniques alarmants (douleur abdominale, vomissements, crampes, musculaires), une glycémie capillaire $>3\text{g/l}$, toute infection aigue, une panne de pompe à insuline.

Concernant la surveillance des corps cétoniques il faut distinguer deux techniques :

-Mesure de la cétonurie par bandelettes urinaires (Keto Diastix..), la norme est $<2\text{mmol/L}$, ce qui équivaut à des traces.

-Mesure de la cétonémie par bandelettes (Optium Bêta Cétone..), la norme est $<0.6\text{mmol/L}$.

Il faut emmener au plus vite le patient dans un service d'urgence ou il sera pris en charge le plus rapidement possible, le but du traitement est d'instaurer une insulinothérapie à la seringue électrique ou en bolus horaire intra veineux, avec toujours surveillance de la glycémie capillaire et de la cétonurie.

Dans tous les cas la règle d'or du diabétique de type 1 est de ne jamais arrêter l'insulinothérapie

L'hypoglycémie

Contrairement à l'acido cétose, cette situation est fréquente dans la vie d'un diabétique sous insuline même bien équilibré.

Il convient de dire qu'un diabétique de type 1 se retrouve en moyenne 2 fois par semaine dans une situation d'hypoglycémie, et même si dans la plupart des cas il s'agit d'une situation sans gravité, l'hypoglycémie n'est pas à banaliser car elle peut parfois entraîner le coma hypoglycémique.

L'hypoglycémie est habituellement définie par une glycémie plasmatique inférieure à 70 mg/dl.

Les hypoglycémies sont subdivisées en deux types, mineures ou majeures :

- Une hypoglycémie mineure est perçue par le sujet lui-même, qui absorbe des glucides pour la corriger. Elle correspond en général à des symptômes de réaction neurologique (adrénergiques et cholinergiques) : palpitations, tremblements, sueurs, pâleur.
- Une hypoglycémie majeure nécessite une intervention extérieure pour sa correction, soit en aidant à l'ingestion de glucides, soit, si la conscience est profondément altérée, en employant du glucagon intramusculaire ou du sérum glucosé intraveineux. Elle correspond en général à des symptômes de

neuroglycopénie, et est détectée par l'entourage devant des modifications du comportement, une altération de la conscience, des troubles de la parole ou de l'équilibre, un coma ou des convulsions.

Les hypoglycémies majeures semblent d'autant plus fréquentes que l'HbA1c est basse, surtout pour des valeurs inférieures à 6 %.

Dans l'étude du DCCT (2) incluant des adolescents âgés de 13 à 17 ans, on observait en moyenne un accident hypoglycémique majeur tous les 14 mois (et un coma ou convulsions tous les 4 ans) pour une HbA1c à 8 %.

Les hypoglycémies majeures sont trois fois plus fréquentes chez le jeune enfant (moins de 5 ans) que chez l'adolescent : la fréquence des comas et/ou convulsions est chiffrée à 60 pour 100 patients par année avant 5 ans, contre 20-25 pour 100 patients par année chez les 13-15 ans et 10 pour 100 patients par année chez les 16-18 ans (3).

L'utilisation des schémas d'insulinothérapie de type basal-bolus, et plus particulièrement de la pompe à insuline, a cependant permis de diminuer la fréquence des hypoglycémies. En effet, plusieurs études observationnelles ont montrées une réduction de la fréquence des hypoglycémies sévères sous pompe, malgré une amélioration de l'HbA1c (4).

B.2.2 Chroniques

Quel que soit le vaisseau considéré, un point semble essentiel : le glucose disponible en excès entre en abondance dans les cellules endothéliales, les cellules musculaires lisses, et les cellules apparentées, dont la captation de glucose, dépendante du transporteur GLUT1, n'est pas régulée par l'insuline.

Pour ces cellules, en particulier la cellule endothéliale, cette abondance de substrat énergétique est profondément anormale. Des espèces oxygénées réactives sont générées: c'est le stress oxydatif lié à l'hyperglycémie.

Les conséquences ultérieures dépendent du vaisseau et du tissu dans lesquels elle se trouve.

Les complications chroniques du diabète de type 1 sont étroitement liées à la durée d'évolution de la maladie mais aussi et surtout au degré d'équilibre glycémique.

Toutefois, lorsqu'elles sont installées, l'équilibre parfait du diabète ne peut pas les faire régresser ni même stopper l'évolution inexorable mais il peut freiner l'aggravation.

Microangiopathies

L'hyperglycémie altère les parois des plus petits vaisseaux (capillaire). Cela peut provoquer des maladies touchant principalement les yeux (rétinopathies), les reins (néphropathies) et les nerfs (neuropathies).

Un bon équilibre (HbA1C) limite le risque d'apparition de la microangiopathie et en retarde l'aggravation. Il n'y a cependant pas de seuil d'HbA1c au-dessous duquel il n'existe aucun risque de complications du diabète.

Dans une grande méta analyse (5) les études de 2004 à 2015 évaluant l'impact de la variabilité de l'HbA1C sur les complications chroniques du diabète sont analysées dont 7 sur le diabète de type 1 et 13 sur le diabète de type 2.

Elle montre que indépendamment du taux d'HbA1c, les complications chroniques augmentent avec la variabilité de l'HbA1C chez le diabétique de type 1 pour la néphropathie (RR 1,56), les événements cardiovasculaires (RR 1,98) et la rétinopathie (RR 2,11).

Macroangiopathies

Même si ces complications concernent peu l'enfant et l'adolescent, il convient des les citer dans le cadre de l'histoire naturelle du diabète.

C'est la maladie des artères, ou athérosclérose, qui touche principalement les artères du cœur (infarctus), des jambes (artériopathie oblitérante) et du cerveau (accidents vasculaires cérébraux).

Elle est la conséquence de l'association de plusieurs facteurs de risque cardiovasculaire souvent associés à l'obésité:

- Le tabac.
- Le manque d'activité physique.
- L'augmentation des graisses dans le sang (triglycérides, cholestérol).
- L'hypertension artérielle.
- L'existence de maladies cardiovasculaires dans la famille (1^{er} degré, père avant 55 ans et mère avant 65 ans).
- Le diabète mal équilibré.

Ces facteurs de risques cardio vasculaire ont pour conséquence d'augmenter le risque notamment d'infarctus du myocarde et d'accidents vasculaires cérébraux qui peuvent avoir des conséquences graves, notamment lors de la pratique d'une activité sportive à risque comme la plongée sous-marine.

B.2.3 Conclusion

Un bon équilibre glycémique dès la découverte du diabète est le meilleur moyen de diminuer le risque de complications à l'âge adulte.

La lutte contre les autres facteurs de risque cardiovasculaire est également indispensable.

Les études réalisées sur ce sujet montrent que les progrès sont spectaculaires : les complications graves peuvent être évitées.

L'étude DCCT est une vaste étude publiée en 1993 (2) qui a pour objectif de montrer la possibilité de diminuer la fréquence des complications microangiopathiques du diabète de type 1 en maintenant la glycémie à un niveau proche de la normale.

Il s'agit d'une étude prospective randomisée sur 6 ans, incluant 1 441 patients avec un suivi moyen de 6.5 ans.

Les sujets sont divisés en 2 groupes : la moitié a eu un traitement « conventionnel », avec une HbA1c moyenne à 9% et l'autre moitié a eu un traitement « intensif », avec une HbA1c à 7,5%.

L'insulinothérapie « intensive » réduit de manière significative le risque d'apparition d'une rétinopathie (incidence diminuée de 50 % sur 6 ans), ou d'aggravation de la rétinopathie (risque de progression diminué de 50 % sur 6 ans). Elle diminue également le risque d'apparition ou d'aggravation de la microalbuminurie de 30 à 40 %. De même le risque d'apparition d'une neuropathie diminue de 70 % sur 5 ans. Les résultats ont conduit à l'arrêt prématuré de l'étude.

C. Les traitements

C.1. Traitements médicamenteux.

Le traitement médicamenteux du diabète de type 1 repose entièrement sur l'insuline.

Dans tous les cas, l'insulinothérapie doit être débutée le plus tôt possible une fois le diagnostic posé.

Le but de l'insulinothérapie est de remplacer la sécrétion pancréatique physiologique des cellules Bêta et de coller au plus près du rythme circadien.

Classification

Il existe deux types d'insuline :

- Insuline humaine : issue du génie génétique : insertion d'un gène codant pour les chaînes A et B de l'insuline humaine dans l'ADN de bactéries (E. Coli, Saccharomyces cerevisiae).
- Analogues de l'insuline humaine : issus du génie génétique où un ou plusieurs acides aminés de la protéine normale sont remplacés, en vue de modifier la cinétique et la solubilité de l'insuline.

Il faut noter qu'il existe plusieurs voies d'administration :

- Voie IV : action hypoglycémisante en 5 min et durée de l'effet < 1 heure. Seules les insulines humaines rapides (Insuman® Rapid) ou les insulines analogues ultrarapides sont injectables en IV.
- Voie SC : action entre 5 min et 2 h, effet variable selon la galénique, de 4 à 24 heures. Toutes les insulines sont injectables par voie sous-cutanée

C.1.2. Les différentes insulines

On distingue les Insulines Rapides, Intermédiaires et Lentes en fonction de leurs durées d'action qui va de 3 à 40 heures.

Ces différentes insulines sont conditionnées dans différents stylos :

- Soit pré remplis jetables, avec lesquels le sujet règle le nombre d'unités à injecter directement sur le stylo.

- Soit rechargeables qui fonctionnent avec une cartouche d'insuline préremplie (Lilly, NovoNordisk).

- Soit en flacon, permettant de remplir les réservoirs des pompes ou encore dans certains cas ils sont utilisés avec des seringues à insuline.

Il faut noter qu'il existe des règles de conservation de l'insuline :

- L'insuline est stable pendant 1 mois à 25°C.

- Les réserves d'insuline doivent par contre être conservées au réfrigérateur mais non congelées.

Les différents schémas d'injection :

Il est maintenant bien démontré qu'un bon équilibre glycémique ($HbA1c < 7\%$ soit une glycémie inférieure à 1.50g/l) permet de prévenir les complications sévères de microangiopathie.

Pour ce faire, les schémas d'insulinothérapie actuellement proposés visent à reproduire le rythme physiologique, en effet, il existe chez ce dernier une insulinosécrétion basale continue persistante à laquelle s'ajoute des pics de sécrétions aux repas.

La plupart des diabétologues ont donc adaptés un schéma basal-prandial réalisé :

-Soit par l'association de bolus d'insuline rapide injectés avant chaque repas (minimum trois fois par jour) et d'une insulinothérapie de base réalisée de façon variable selon les malades et selon les équipes : injection d'insuline intermédiaire matin et soir ou matin midi et soir, ou insuline lente matin et /ou soir en fonction de la durée d'action chez le patient.

-Soit par l'utilisation d'une pompe, externe ou implantée avec diffusion intra péritonéale, perfusant par voie sous cutanée de l'insuline rapide avec un débit de base continu, éventuellement modulé pour couvrir les besoins nocturnes, et des bolus à la demande avant les repas.

C.2. Traitements non médicamenteux

L'éducation thérapeutique

L'éducation est la pièce maîtresse de la prise en charge du diabète et une éducation structurée à l'auto prise en charge est la clé du succès.

Une définition de l'éducation dans le diabète a été proposée : « La démarche de donner à la personne le savoir et les compétences nécessaires pour prendre en charge soi-même le diabète, gérer les crises et modifier le mode de vie pour traiter la maladie avec succès ».

Les personnes qui ne reçoivent pas d'éducation thérapeutique, ou n'ont pas un suivi éducatif continu ont plus de risque de souffrir de complications du diabète. Il est montré que les interventions éducatives chez l'enfant et l'adolescent ayant un diabète ont un effet bénéfique modeste sur l'équilibre glycémique et un effet psychosocial plus marqué.

Prise en charge nutritionnelle

La prise en charge nutritionnelle de l'enfant qui a un diabète est complexe.

Le traitement du diabète se place dans un contexte familial et social et l'objectif ultime est de garder une bonne qualité de vie. Néanmoins, des études suggèrent qu'il est possible d'améliorer l'équilibre du diabète par une attention soigneuse à la prise en charge nutritionnelle et une approche personnalisée de

l'éducation. Cela demande de se centrer sur les objectifs diététiques liés à l'équilibre glycémique et à la réduction du risque cardio-vasculaire.

L'activité physique.

Depuis les années cinquante, l'activité physique devient le troisième élément essentiel de la régulation de la glycémie, après l'insuline et l'alimentation, chez les personnes qui ont un diabète de type 1.

Aujourd'hui, de nombreuses études montrent un intérêt à la pratique régulière d'une activité physique chez les personnes ayant un diabète de type 1.

Nous reviendrons largement sur ce point dans un chapitre suivant.

D. Autocontrôles glycémiques

C'est un point très important de la vie d'un diabétique de type I.

D'une part la glycémie varie en fonction de l'alimentation, de la pratique d'activité physique, de situations anxiogènes mais en plus l'efficacité de l'insuline d'un jour à l'autre dans les mêmes conditions n'est pas reproductible. Enfin, nous avons vu que parmi les différentes insulines, la durée d'action est très variable.

Toutes ces situations mènent à des risques importants d'hypo ou d'hyperglycémies qui peuvent passer inaperçus et devenir graves par exemple à l'occasion de la pratique d'une activité sportive.

Concernant l'autocontrôle glycémique il faut distinguer deux techniques distinctes :

- Glycémie capillaire, c'est la technique la plus répandue pour le moment.

Il s'agit d'une piqûre au bout du doigt à l'aide d'une lancette et d'une lecture par bandelette sur un appareil adapté.

Une multitude d'appareils existent commercialisés par de nombreux laboratoires, le sujet diabétique pourra choisir avec l'aide de son diabétologue celui qui lui convient.

- Glucose interstitiel, qui correspond à la mesure de la glycémie en continue dont nous discuterons spécifiquement.

D.1. Glucose Interstitiel

Il faut comprendre que l'intérêt du glucose interstitiel est de pouvoir mesurer le glucose sur une longue période contrairement à la glycémie capillaire.

En effet, l'implantation d'appareil de mesure en continue dans le milieu vasculaire s'est heurtée à des difficultés techniques, les laboratoires ont donc privilégiés la mesure interstitielle.

Cette technique est relativement nouvelle dans la vie des diabétiques, et elle deviendra probablement la technique de mesure principale dans les années à venir.

Les intérêts d'une telle mesure sont :

1. Aider le patient mais aussi l'équipe soignante à :

- dépister les périodes de temps où l'équilibre glycémique n'est pas obtenu (excursions glycémiques postprandiales, hypoglycémies nocturnes asymptomatiques).

- vérifier si les traitements définis avec le patient se révèlent efficaces.

- quantifier la variabilité asymptomatique d'un patient.

2. Apporter un confort supplémentaire au patient en :

- améliorant l'équilibre glycémique.
- réduisant les épisodes d'hypoglycémies, notamment d'hypoglycémies sévères.
- réduisant la peur des hypoglycémies, élément bien souvent ignoré ou négligé.
- améliorant la qualité de vie : diminution des douleurs et de l'impact social liés à la piqûre, limitation du matériel à transporter, facilité et rapidité d'emploi.

Ainsi, au cours des deux dernières décennies, l'ensemble des systèmes de mesure en continu du glucose ont utilisés le milieu interstitiel, cependant, cette approche se heurte à plusieurs obstacles :

1. Les discordances entre la concentration de glucose dans le sang et dans le tissu sous-cutané. Il a été démontré que la relation entre les taux de glucose dans le sang et dans le liquide interstitiel est complexe et dépendante de l'état physiologique. Ceci pourrait expliquer que la mesure par le système est parfois différente de sa "vérification" par une mesure de la glycémie capillaire concomitante.
2. La réaction de l'organisme face à un corps étranger, limitant la durée de vie des capteurs et nécessitant une réimplantation régulière du système.
3. La valeur de concentration de glucose choisie comme seuil d'alarme de l'hypoglycémie. En effet, parfois lorsque l'alarme se déclenche le seuil est déjà largement en dessous des valeurs puisque la glycémie interstitielle est en retard par rapport à la glycémie capillaire.

4. Le coût. En 2016, la mesure du glucose en continu n'est pas prise en charge, en France, par l'Assurance Maladie. Le coût mensuel des consommables (hors système), lors d'une utilisation continue se situe autour de 300 euros HT ce qui, sans remboursement, entraîne une inégalité de l'accès aux soins.

Cependant, la commission de la HAS s'est prononcée pour une amélioration modérée du service attendu (ASA III) pour le Freestyle Libre® par rapport à l'auto surveillance glycémique par lecteur de glycémie capillaire seul, ce qui a permis un remboursement à partir du 1^{er} Juin 2017.

Il faut distinguer deux techniques de mesure interstitielles :

1. Mesure en continue du glucose ou Holter glycémique

Le système de mesure en continu de la concentration de glucose (CGMS) est composé d'une électrode implantable dans le tissu sous-cutané, reliée à un système informatique qui stocke l'ensemble des valeurs du signal mesuré.

Le système est implanté pour une période de 3 à 7 jours et permet d'obtenir une valeur toutes les cinq minutes, et le patient bénéficie ainsi d'une lecture continue de son glucose interstitiel (GI). À l'issue, un logiciel permet l'exploitation des données et la présentation des résultats sous forme de tableaux et de graphiques.

On peut observer une véritable multiplication des systèmes de mesure du glucose en continu mais quel que soit le système, il est composé de trois parties :

- un capteur de glucose inséré en sous-cutané par le patient lui-même
- un émetteur couplé au capteur de glucose qui transmet les données au récepteur

- un récepteur qui peut être soit une pompe à insuline externe, soit un lecteur de glycémie, soit un moniteur propre.

Le holter glycémique est un instrument à part entière dans l'évaluation glycémique. Il visualise la cinétique de l'équilibre glycémique sur la période considérée (5 jours), dans son contexte journalier (repas, traitement, activités diverses). Le holter glycémique ne remplace pas l'auto-surveillance glycémique mais la complète.

Les principaux bénéfices qu'il apporte sont les suivants :

-Détection des hypoglycémies

Ces dernières sont parfois non ressenties, nocturnes ou diurnes, avec retentissement sur la vie sociale du diabétique.

-Outil thérapeutique et pédagogique

La fréquence et la durée des hypoglycémies (nocturnes ou globales) enregistrées par le CGMS induisent un changement des traitements sur les insulines basales.

Le CGMS est une aide à la décision du médecin et du malade. L'aspect pédagogique du holter permet d'expliquer au malade nos points de vue thérapeutiques et de faire accepter certaines modifications thérapeutiques au patient.

Les indications de la CGMS sont l'identification des variations glycémiques en vue d'un ajustement thérapeutique chez les patients adultes et enfants non contrôlés (hors valeurs cibles recommandées), ou présentant des hypoglycémies sévères ou récurrentes.

L'estimation par les experts de la population cible concernée par la CGMS est d'environ 25 % des patients sous insuline.

2. Le Freestyle libre

Le système utilisé dans notre étude est le Freestyle Navigator® de Abbott, qui propose plusieurs avancées technologiques.

Le Freestyle Libre® est le premier dispositif de mesure du glucose en continu qui se définit comme un système flash d'autosurveillance du glucose. Comme les autres systèmes de mesure du glucose en continu, ce dispositif ne nécessite pas de prélèvement capillaire au bout des doigts et ne requiert ni bandelette, ni lancette.

Ce lecteur est associé à un capteur qui est placé sur la partie supérieure de l'arrière du bras et mesure automatiquement le taux de glucose dans le liquide interstitiel. Ce taux est enregistré en permanence, de jour comme de nuit. Lors de la mise en place du capteur, un fin filament souple est inséré sur 5 millimètres juste en dessous de la peau.

Aucune calibration n'est requise : le FreeStyle Libre® ne nécessite pas de test glycémique au bout des doigts pour être étalonné. L'absence de calibration est une nouveauté car tous les systèmes précédents de mesure du glucose en continu en nécessitaient au moins une par jour.

Ce moyen de contrôle s'avère donc beaucoup plus rapide et discret que l'autosurveillance glycémique classique, mais aussi permet une multiplication des autocontrôles quotidiens.

Le lecteur est en mesure de révéler les résultats glycémiques à partir du moment où il est à une distance de 1 à 4 centimètres du capteur : on peut même scanner à travers les vêtements.

A chaque scan, le patient voit à la fois son résultat glycémique, une flèche de tendance glycémique qui donne à la fois le sens de variation de la glycémie et l'intensité de cette variation et l'historique des résultats glycémiques au cours des huit dernières heures.

Le capteur présente aussi une autre nouveauté : il a une durée d'utilisation de 14 jours contre 7 jours pour le Seven Plus de Dexcom® ou le Dexsensor G4 de l'Animas Vibe® qui possédaient jusqu'à présent la durée d'utilisation la plus longue.

En outre, alors que les précédents systèmes de mesure du glucose en continu nécessitaient une dépense en consommables de 300 euros HT par mois, celui-ci ne coûte que 60 euros pour 14 jours soit 120 euros environ par mois.

Différentes études ont comparées le Freestyle libre® aux lecteurs glycémiques en général pour essayer de démontrer l'intérêt de son remboursement dans la prise en charge des patients diabétiques de type 1.

Une étude (6) a montrée que les mesures de glucose interstitiel obtenues par le Freestyle Libre® sont tout à fait comparables à celles obtenues par des prélèvements capillaires au bout des doigts et que leurs précisions demeurent stables pendant les 14 jours de port et ne sont pas affectées par les spécificités individuelles des patients.

L'étude IMPACT (7) a évaluée l'intérêt clinique du Freestyle Libre® chez les patients diabétiques de type 1 traités par insulinothérapie intensive. Le temps passé en hypoglycémie était inférieur dans le groupe Freestyle Libre® par rapport au groupe « contrôle » (environ – 1,24 heures/jour à 6 mois).

Cependant, il n'y avait pas de différence en terme de réduction moyenne d'HbA1c entre ces 2 groupes.

D.2. Sport et mesure continue du glucose

Avec les contraintes mécaniques et hygrométriques que présente un exercice physique, certains auteurs se sont intéressés à la fiabilité d'un tel dispositif dans ces circonstances.

Une étude (8) publiée en 2011 a pour objectif de montrer que la mesure continue du glucose en situation de sport chez 59 adolescents procure des mesures fiables et permet de détecter plus d'hypo et d'hyperglycémie que la mesure du glucose capillaire.

Les résultats sont en faveur de l'utilisation de ce dispositif, puisque 87% des capteurs ont donné un signal sans erreur pendant 24h et 66% pendant 48h.

De plus les capteurs interstitiels de mesure en continue ont identifiés significativement ($p < 0.005$) plus d'hypo et d'hyperglycémie que les mesures capillaires.

III) PARTICULARITES DU DIABETE CHEZ L'ADOLESCENT

A. Introduction

La puberté est une période de changements physiques, psychologiques et sociaux rapides et radicaux pendant laquelle, en termes physiologiques, un enfant devient un adulte capable de se reproduire.

L'adolescence se réfère aussi bien aux caractéristiques de développement psychosocial de la puberté qu'aux changements physiques.

Les adolescents atteints de diabète, qui doivent suivre un traitement médical complexe basé sur des soins autonomes tout au long de cette période de changement, se trouvent confrontés à une série de défis importants.

Il existe de nombreux changements physiologiques et psychologiques qui influencent les soins du diabète pendant la puberté et détailler les stratégies susceptibles d'aider les jeunes à atteindre un bon contrôle glycémique.

B. Les changements physiologiques

Les dérèglements hormonaux subits pendant la période de l'adolescence sont responsables d'un phénomène d'insulino résistance, de nombreuses études ont montrées que les taux d'insuline étaient plus élevés pendant la puberté ou pendant la prépuberté.

La détérioration du contrôle glycémique chez les adolescents était simplement attribuée aux facteurs comportementaux et psychosociaux caractéristiques de l'adolescence. Toutefois, il apparaît désormais que pendant la puberté, l'action

de l'insuline diminue de 30 % à 50 %, un facteur important qui peut contribuer au mauvais contrôle glycémique

En conséquence les doses d'insuline doivent être augmentées de façon à prévenir toute détérioration du contrôle glycémique.

Une vaste étude transversale (9) sur des enfants non atteints de diabète a révélée que la sensibilité à l'insuline est la plus faible dans la tranche d'âge des 12-14 ans, indifféremment du sexe et de l'origine ethnique, et revient à des taux proches de la période prépubère chez les jeunes de plus de 16 ans (Tanner 5).

Les mécanismes de résistance à l'insuline au cours la puberté chez les jeunes diabétiques de type 1 sont complexes.

Les niveaux d'hormones sexuelles ne jouent probablement pas un rôle de premier plan, étant donné que la résistance à l'insuline est moins grave chez les adultes ayant des taux d'hormones sexuelles plus élevés.

Le système hormonal influençant le plus l'insulino résistance est l'axe GH-IGF1.

En effet, nous savons désormais qu'il existe des interactions négatives entre le métabolisme du glucose stimulé par l'insuline et l'hormone de croissance et/ou les taux du facteur de croissance IGF-1 (10).

Une étude en particulier montre que les caractéristiques métaboliques de l'insensibilité à l'insuline pendant la puberté sont une diminution de l'oxydation du glucose et une augmentation de l'oxydation des acides gras libres (11).

La plus grande sécrétion d'hormone de croissance pendant la puberté accélère la décomposition des graisses dans les adipocytes (lipolyse) et entraîne une augmentation du flux d'acides gras libres. Ceux ci entrent en concurrence avec le glucose pour son oxydation, entraînant une baisse de l'absorption du glucose et une insensibilité à l'insuline.

C. Changements comportementaux et psychosociaux

Le diabète est la seconde maladie chronique la plus répandue chez les adolescents, derrière l'asthme.

En plus des changements hormonaux et métaboliques caractéristiques de la puberté, l'adolescence est associée à des changements comportementaux rapides qui peuvent influencer le contrôle de la maladie.

Le comportement de l'adolescent se caractérise généralement par une remise en cause de l'autorité, la recherche de l'autonomie, la révolte, la recherche du plaisir, le besoin d'intimité et une plus grande sensibilisation à l'image de soi et à la pression des autres ainsi que l'émergence de troubles de l'alimentation.

Ce processus de changement est influencé par la présence d'une pathologie chronique comme le diabète.

D'après les observations, les adolescents atteints d'une maladie chronique sont généralement plus exposés au risque de dépression, d'anxiété et de troubles de l'estime de soi.

Une étude en particulier (12) a révélée que la prévalence de troubles dépressifs chez les adolescents atteints de diabète de type 1 est deux à trois fois plus élevée. La combinaison de la dépression et du diabète, en particulier chez les adolescents, a de graves conséquences, qui rendent la gestion du diabète et les soins autonomes extrêmement difficiles.

La revue de la littérature publiée en 2010 (13) détermine les trois principales barrières au bon équilibre glycémique : Influence des proche/contexte social, troubles de l'humeur et désordres alimentaires.

La conséquence principale de ces désordres psychologiques est une moins bonne adhérence à la prise en charge et surtout au traitement médicamenteux.

Il s'en suit un équilibre glycémique souvent moins bon que pendant l'enfance et l'âge adulte.

De même il est souvent difficile pour un adolescent d'avouer sa maladie à son groupe d'amis par peur d'être rejeté et les autocontrôles glycémiques sont parfois très aléatoires.

D. Qualité de vie : L'étude TEENs Study

Concernant le diabète de type 1 chez l'adolescent, nous nous devons de citer l'étude TEENs Study (14) publiée par l'ISPAD en 2014 et sponsorisée par le laboratoire Sanofi.

Il s'agit de la plus grande étude observationnelle contemporaine sur le diabète de type 1 chez les 8-25 ans.

En effet elle concerne 5960 jeunes à travers 20 pays. Le but est de rechercher un lien entre l'équilibre glycémique et qualité de vie chez ces jeunes diabétiques.

La valeur cible de l'HbA1c est définie $<7\%$, une seule échelle de qualité de vie est utilisée puis divisée en 5 sous catégories.

Les résultats montrent que seulement 19% des 19-25 ans atteignent leur cible glycémique ($<7\%$), et que ces patients ont un score de qualité de vie significativement meilleur que les 81% restant.

De plus, les participants qui ont les scores de qualité de vie les plus élevés sont significativement plus proche de leur cible glycémique que ceux qui ont des scores plus bas pour les échelles concernant les symptômes du diabète (OR 2.16[1.45 , 3.23]), les difficultés du traitement [2.22[1.50,3.28] et l'adhérence au traitement (3.16[2.10,4.75]).

En conclusion, seulement 1 adolescent sur 5 âgé de 19 à 25 ans avec un diabète de type 1 atteint la cible d'HbA1c, et une association significative est trouvée entre la qualité de vie l'équilibre glycémique.

E. Solutions proposées aux jeunes diabétiques

-La participation de la famille

Beaucoup d'études reconnaissent l'importance de la construction famille-patient.

Ainsi, beaucoup d'interventions comportementales visant à l'optimisation de l'adhérence et du contrôle glycémique chez des jeunes diabétiques ciblent le groupe familial.

Les interventions comportementales réussies sont souvent quand l'adolescent bénéficie de la compréhension, du support et des compétences des membres de sa famille (15).

Par exemple, les connaissances techniques du diabète par les parents et les compétences de résolution de problèmes prévoient des niveaux bas HbA1c. Au contraire, les situations où le diabète est perçu comme un fardeau par les parents, sont significativement corrélées à un taux plus haut d'HbA1c

-Des entretiens pour la motivation

L'utilité de consultations dédiées à la motivation est affirmée par l'idée que le changement comportemental échoue souvent quand les patients sont contraints mais réussit quand les praticiens travaillent avec les patients.

De tels entretiens ont eu des résultats initiaux prometteurs dans des études à court terme chez des adolescents (16) puis affirmés dans une étude multicentrique contrôlée randomisée au Royaume-Uni (17).

-Augmenter la fréquence du suivi

L'adhérence à n'importe quel traitement est particulièrement difficile si les patients ne viennent pas aux consultations régulièrement.

Une étude montre que le risque le plus grand de complications du diabète arrive parmi les patients qui sont perdus de vue pour des soins post-hospitaliers (18).

-Apprentissages des repas

Un autre défi à l'adhésion au traitement concerne la planification de repas ou le compte des glucides pour déterminer le dosage d'insuline approprié.

Un régime standardisé pour le diabète est difficile en général pour des adolescents qui sont souvent plus tentés par des repas moins équilibrés que les adultes, qui fonctionnent moins par habitude et pour lesquels le repas représente un événement social majeur.

C'est au médecin lors des consultations d'insister sur l'importance du comptage des glucides et des repas équilibrés, dans le cadre de l'éducation thérapeutique.

Des cliniciens européens ont travaillé avec des patients pour créer des régimes alimentaires moins rigoureux, nommés ' le repas normal ' et titrant des dosages d'insuline pour correspondre à de tels régimes (19).

-Relances téléphoniques et par courrier électronique

Des études se sont aussi intéressées à l'utilité de suivre les jeunes diabétiques par message (téléphonique ou mail) et de pratiquer à la fois une motivation avec des messages personnalisés mais aussi des rappels pour les autocontrôles ou les injections.

Une telle méthode est envisageable, d'une part les adolescents adoptent aisément les nouvelles technologies et d'autre part l'ère actuelle offre beaucoup des solutions relativement bon marché.

Deux études (20 et 21) se sont intéressées à l'utilité de l'envoi de message téléphonique (SMS) et de messages par courriers électroniques sur l'équilibre glycémique.

Bien que l'envoi de SMS seul n'a pas produit de réductions de HbA1c, il a été associé à l'augmentation de l'adhérence au traitement.

Les utilisateurs du système de rappel de SMS ont demandés plus de rappels et ont eut des meilleurs résultats que les utilisateurs du système de rappel par courrier électronique.

Enfin le système de rappel téléphonique a été étudié et rapporte des résultats mitigés concernant la diminution de l'HbA1c, seule une étude Canadienne (22) a montrée un avantage retardé des appels téléphoniques hebdomadaires dans une population adolescente avec des hauts niveaux de HbA1c.

-Nouvelles technologies

Les adolescents diabétiques d'aujourd'hui sont très familiarisés avec les nouvelles technologies.

Nous avons parlé de la présence grandissante de la mesure en continue du glucose, compatible bientôt avec des applications pour téléphones mobiles.

De nombreuses autres applications existent pour faciliter le quotidien d'un jeune diabétique.

Citons par exemple : *-Diabetes diary* ou *Diabphone Carnet* qui fonctionnent comme des journaux de bord et comprennent de nombreux rappels pour les injections et les autocontrôles.

-Diabphone Calculator, GluciChek, ou GucoCompteur qui aident dans le calcul des glucides a ingérés à chaque repas.

-Quiz Diabete qui améliore de façon ludique la connaissance sur la maladie du sujet ou de ses proches.

De même, les réseaux sociaux (*Facebook, Instagram..*) sont utilisés par des communautés d'internautes diabétiques pour discuter, s'informer, se rencontrer, se donner des conseils ou tout simplement se rendre compte que même si le quotidien est parfois vécu avec une sensation d'isolement intense, il existe beaucoup d'autres personnes qui partagent les mêmes problèmes.

-Les associations

En France il existe plusieurs associations pour diabétiques, nous citons quelques unes d'entre elles.

Diabète et Plongée est une association de patients diabétiques plongeurs fondée en 2012 suite à la troisième étude "Diabète et plongée Nitrox". Le but est de promouvoir l'accès à la plongée sous-marine pour les diabétiques de type 1, de favoriser les échanges, de collecter et de diffuser les informations et connaissances, d'organiser des manifestations sportives et des projets scientifiques sur le thème de la plongée sous-marine.

L'association propose notamment des protocoles de mise à l'eau et des fiches d'information pour les DIT.

L'aide aux Jeunes Diabétiques (AJD) a été créée dans les années 50, c'est une association qui allie familles de patients, patients et soignants pour aider les jeunes qui ont un diabète à vivre une vie pleinement épanouissante tout en préservant leur santé, elle défend leurs intérêts collectifs et particuliers. En plus de fournir des aides sur la connaissance de la maladie et des aides pratiques (sur les injections d'insuline, la pratique du sport, les repas...), elle propose des rencontres entre diabétiques et leurs familles, sur le thème de l'éducation thérapeutique au sein de différentes structures. Surtout, l'association organise de nombreux séjours éducatifs pour tous les âges ce qui est très utile pour permettre aux diabétiques de se rencontrer et de créer des liens sociaux.

Enfance, Adolescence et Diabète (EAD), qui se préoccupe de l'accompagnement médico-psycho-social de l'enfant et de sa famille, propose des journées et des séjours d'éducation thérapeutique, des ateliers d'aide à l'alimentation, et des ateliers spécifiques pour les proches.

L'association *Union Sports et Diabète (USD)* propose aussi des stages (pour les adultes), mais est surtout utile pour la pratique d'une activité sportive puisqu'elle fournit des fiches techniques pour de nombreux sports.

L'association *Type 1 Running Team*. Née de la passion commune de deux diabétiques de type 1 pour la course à pied elle est créée en 2015 et est aujourd'hui affiliée à la Fédération Française d'Athlétisme. Elle organise des événements sportifs et rassemble déjà une soixantaine de marcheurs et coureurs à travers la France.

Citons aussi :

-*T1 Diams*, située à l'île Maurice est née en 2005

-*Drôle de diab* basée en Aquitaine propose également de nombreux séjours sportif ou éducatifs,

-*Diabolo Nord*, basée dans le nord de la France et spécialisée dans le soutien des familles de jeunes diabétiques de type 1 sous formes de réunions, de sorties organisées ou de repas

-*Insulib* basée en Alsace depuis 2009 qui organise en plus de séances de soutien et d'information sous forme d'assemblées générales, des stages d'insulinothérapie fonctionnelle

-*Didi et Diabeline*, une association basée en Seine et Marne depuis 2012 qui accueille les jeunes diabétiques et leurs familles et organise des animations ludiques et sportives.

-*Il nous pompe ce diabète* créée en 2006 par des parents de jeunes diabétique traités par pompe à insuline qui organise des séances d'informations et de rencontres.

-*World Diabete tour*, fondée en 2008 qui organise des projets de voyage tout - autour du monde, sur le thème du sport essentiellement randonnées et course a pied.

Citons également des sites Internet d'aide aux diabétiques :

Vivreavecundiabete.com et *bienvivremondiabete.fr*, qui proposent des forums, des comparatifs de matériels, des aides pour la pratique du sport, la survenue des hypoglycémies et la nutrition.

- Le rôle des médecins

Il est évident qu'en plus de l'entourage familial, le rôle des médecins est primordial dans l'accompagnement de toute maladie chronique, d'autant plus pour des jeunes patients.

Au cours des six premiers mois, des contacts fréquents (consultations, visites à domicile, appels téléphoniques ou autres moyens) avec l'équipe de diabétologie sont nécessaires pour gérer les besoins changeants du diabète dans sa phase initiale.

Par la suite, trois ou quatre consultations par an sont nécessaires, plus souvent si l'équilibre glycémique n'est pas satisfaisant.

Le but de ses consultations en plus d'un simple bilan biologique et d'une surveillance glycémique est bien sur de garder un lien étroit entre le patient et son équipe de soins afin de parfaire l'éducation thérapeutique et donc d'améliorer l'efficacité de la prise en charge.

La consultation avec un adolescent ou un enfant est particulière car la relation médecin-malade s'organise sous forme triangulaire.

En effet, il y a l'enfant, lui-même, ses parents, et les soignants représentants de la compétence médicale.

Toute l'éducation thérapeutique s'articule autour de cette relation triangulaire dans laquelle chacun doit trouver sa place.

Au sein de cette triangulation, les parents restent décisionnaires pour la santé de leur enfant, en tenant compte de son avis avant tout en fonction de ses capacités de compréhension et donc de son degré de maturité. L'équipe soignante, au-delà de soigner l'enfant, a aussi un rôle d'écoute et de prévention qu'elle doit adapter à chaque enfant, chaque famille.

A ce jour, l'éducation thérapeutique concerne en priorité l'enfant diabétique de type 1 mais aussi ses parents, acteurs et responsables des soins, ainsi qu'en seconde ligne l'entourage proche et quotidien de l'enfant (grands-parents, nourrice, enseignant, professeur de sports...).

-Le rôle du Médecin Généraliste

Selon les termes de l'assurance maladie le médecin traitant « assure les soins habituels et de prévention dont a besoin son patient et il en coordonne le parcours de soins. »

L'éducation thérapeutique devant être intégrée aux soins, il paraît donc logique que le médecin traitant en soi le premier acteur et le principal coordonnateur.

On reconnaît au médecin généraliste un rôle majeur de santé publique dans la prévention primaire et secondaire.

Cependant, dans cette activité de prévention, l'éducation ne se réduit pas à donner des conseils.

Il s'agit de permettre aux patients d'acquérir des compétences pour faire des choix concernant leur santé. Le médecin généraliste est coordonnateur de l'éducation thérapeutique du patient. Celle-ci s'établit au fil des consultations, comportant notamment l'identification de ses besoins, le diagnostic éducatif, une aide à l'adoption de nouveaux comportements et un accompagnement permanent.

Malgré tout, il semble exister un frein au développement de l'éducation thérapeutique de proximité en lien avec des référentiels mal adaptés aux soins de premiers recours, un manque de formation et des difficultés de coordination.

Selon différents points de vue, le médecin généraliste se trouve au centre de la prise en charge générale d'un patient atteint d'une pathologie chronique, et en matière d'éducation thérapeutique, il semble exercer dans une relation multidisciplinaire s'articulant entre les différents professionnels de santé impliqués.

En effet, le lien avec l'équipe spécialisée est essentiel car le médecin traitant peut éclairer l'équipe par sa connaissance de la réalité de vie de la famille et il doit disposer des conduites à tenir en cas de situation qui interfère avec le diabète.

Les médecins traitants s'ils jouent un rôle en lien avec ces équipes, ne peuvent rester isolés au centre de l'éducation thérapeutique en Endocrinologie.

En effet, ils ne suivent que peu d'enfants diabétiques et ne peuvent développer tout seuls des prises en charges adaptées par manque d'expérience dans le domaine.

IV) DIABETE ET SPORT

A. Physiologie de l'exercice

A.1. Généralités

Lorsque l'on fait n'importe quel effort on constate que la respiration et le cœur s'accélèrent.

Ces adaptations ne sont que la conséquence de l'élévation des besoins en énergie des muscles sollicités par l'exercice. En grande majorité cette énergie provient d'une combustion qui a lieu dans le muscle. Comme dans toutes combustions, ces carburants ne pourront brûler longtemps sans l'apport de l'oxygène (O₂), l'oxygène devient alors le comburant de la combustion. Selon l'intensité et la durée de l'exercice, la combustion pourra utiliser différents « carburants » que l'on trouve soit dans le muscle soit transportés par le sang.

Il est évident que l'utilisation de substrats énergétiques dépend du type d'effort produit :

- Pour les exercices de faibles intensités, l'essentiel de l'énergie est assuré par les Lipides qui sont les Acides gras libres plasmatiques et les Triglycérides intra musculaire
- Quand l'intensité de l'exercice augmente, l'utilisation des Lipides diminue au profit de celle des Glucides. La réserve glucidique est constituée de glycogène stocké dans le muscle (79%) et dans le foie (14%), et de glucose plasmatique.

Dans tous les cas, l'effort demande de l'énergie que le corps doit produire en plus ou moins grande quantité en fonction du type d'activité physique pratiquée.

A.2. Les différentes voies de production de l'énergie

Les aliments que nous ingérons ne sont pas directement utilisables au niveau cellulaire. Ils sont principalement composés de carbone(C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O₂). Un des buts de la digestion est de casser les molécules complexes afin de les rendre plus assimilables à l'organisme (sous forme de substrats) et d'utiliser l'énergie en la stockant dans une molécule dont le nom est l'adénosine triphosphate (ATP).

L'ATP est une molécule composée d'adénine et de ribose qui sont rattachés à 3 groupes phosphates. Cette ATP est présente dans la fibre musculaire.

L'ATP est le seul substrat que la fibre musculaire peut utiliser pour fonctionner, il est donc nécessaire d'en produire en continu, pour cela 3 voies différentes sont utilisées.

- Les voies anaérobies

Le système ATP-CP (Créatine-Phosphate).

C'est le système le plus simple et le plus rapide pour renouveler l'ATP à partir d'un composé énergétique présent dans les cellules, c'est un processus anaérobie alactique. Il s'agit d'utiliser les stocks d'énergie déjà disponibles dans les muscles soit sous forme d'ATP soit de CP.

Ce système correspond à des efforts brefs mais intenses.

Le système glycolytique

Un autre moyen de production de l'ATP implique la libération d'énergie par la dégradation du glucose, ce procédé est appelé glycolyse. C'est un processus Anaérobie Lactique.

La forme d'effort privilégié de ce système est la résistance.

La fourniture d'énergie est importante mais de durée relativement courte (de 30 secondes à intensité max à 2' pour une intensité moindre). L'apport de

l'oxygène est insuffisant (anaérobie) ce qui par un schéma complexe, transformera l'acide pyruvique en acide lactique.

- La voie Aérobie ou système oxydatif

Cette réaction se produit dans les mitochondries « véritables usines à oxygène » situées dans la fibre musculaire, et a un rendement beaucoup plus élevé que les voies anaérobies : 36 versus 2 molécules d'ATP pour une molécule de glucose. C'est le cycle de Krebs.

La présence d'O₂ (voie aérobie) permet un fonctionnement d'intensité modérée mais de très longue durée.

L'augmentation de la consommation de glucose est rendue possible par l'augmentation de la captation musculaire de glucose grâce à l'augmentation du transport transmembranaire du glucose par des mécanismes insulino et non insulino dépendants.

B. Spécificités du sujet Diabétique de type 1

B.1. Les risques liés à l'activité physique

Il est important de comprendre que chez le sujet DT1, la différence fondamentale est que l'Insuline circulante n'est pas produite par le sujet mais est apportée par voie extérieure, et il n'y a donc aucune autorégulation du taux d'insuline circulante.

De cette absence d'autorégulation chez le sujet DT1 résulte deux accidents potentiellement graves :

- l'hypoglycémie.
- l'hyperglycémie avec cétonémie.

Hyperglycémie avec cétonémie

Les personnes qui n'ont pas de diabète ont une baisse de la sécrétion d'insuline lors d'une activité physique, cette baisse entraîne une augmentation de la glycolyse et de la lipolyse et donc de la production de corps cétoniques. C'est l'augmentation de la présence de ces corps cétoniques qui entraîne une insulino-sécrétion qui elle-même freine la lipolyse par un retrocontrole négatif.

C'est l'absence de ce rétro contrôle chez le diabétique de type 1 par déficit d'insuline, qui entraîne une absence de freinage de la lipolyse et une augmentation majeure des corps cétoniques.

Cet accroissement de la lipolyse entraîne une libération des acides gras libres, qui au niveau du foie sont oxydés en acétyl-coenzyme A ensuite majoritairement transformés en corps cétoniques.

Les acides cétoniques sont des acides forts, totalement ionisés au pH du plasma. Cet apport d'ions H⁺ plasmatiques provoque une acidose métabolique.

Les diabétiques doivent donc vérifier avant une activité physique l'absence de corps cétoniques en cas d'hyperglycémie pour écarter une carence insulinaire totale pouvant les mettre en danger

Bien que ce cas de figure soit moins fréquent que les accidents hypoglycémiques, il existe un réel risque de majoration de la glycémie et d'acidocétose chez un sujet DT1 pratiquant une activité physique.

C'est surtout le cas pour les efforts très intenses, surtout s'ils débutent brusquement et s'ils n'ont pas été préparés au préalable par un échauffement progressif (arts martiaux, football et autres sports de ballon, squash, tennis, certaines disciplines athlétiques...).

Il ne faut pas prendre part à une activité physique si la glycémie est élevée (>2.50 g/l) et/ou si des corps cétoniques sont présents dans les urines et/ou si le niveau de bêta-hydroxybutyrate (cétonémie) dans le sang est > 0,6 mmol.

Hypoglycémie

L'hypoglycémie demeure le plus fréquent des risques de la pratique d'une activité physique chez le DT1, et elle est le plus souvent le frein principal à cette pratique.

La plupart des hypoglycémies se déroulent durant l'exercice mais il ne faut pas sous évaluer le risque d'hypoglycémie tardive, qui persiste plusieurs heures après l'effort.

Pendant l'exercice :

C'est la plus typique, le sujet présente alors pendant son effort des signes qui peuvent variés d'un individu à l'autre et en fonction du taux de glycémie (cf. Chapitre « Complications du diabète »).

Il faut aussi noter que la sensation d'hypoglycémie est souvent diminuée du fait de la concentration dans l'activité physique.

Dans le cas d'une hypoglycémie durant le sport il faut évidemment arrêter toute activité, se mettre au repos et ingérer 15g de glucose par voie orale, même si aucune mesure de la glycémie n'est possible.

Des hypoglycémies répétées en période de repos entraînent une baisse de la contre régulation en réponse à l'activité physique suivante et une augmentation du risque d'hypoglycémie future. En conséquence, deux à trois fois plus de glucose exogène peut être nécessaire pour maintenir la glycémie normale pendant un exercice qui suit une hypoglycémie (23).

Il s'agit d'un accident fréquent dans la vie du diabétique, d'autant plus lors de la pratique d'une activité physique.

Une étude en laboratoire chez des adolescents diabétiques qui reçoivent leur dose habituelle d'insuline et font 75 minutes de marche sur un tapis roulant, a

montrée que 86% présentent une hypoglycémie si leur glycémie de départ est inférieure à 6,6 mmol/l (1,20 g/l). Dans la même étude, il a été rapporté que 15g de glucides étaient souvent insuffisants pour rétablir une glycémie normale (24).

Dans une autre étude (25), 45% des enfants ayant un diabète de type 1 ont une baisse de la glycémie au-dessous de 4 mmol/l (0,72 g/l) au cours d'un exercice de 60 minutes de vélo, d'intensité modérée, après un repas, si l'insuline n'est pas adaptée à l'exercice.

Avec un supplément de glucides (solution de glucose à 6-8%) équivalent aux glucides consommés pendant l'exercice (environ 1 gramme de glucide par kilo et par heure), la baisse de la glycémie peut être prévenue au cours de l'exercice.

Lors d'une hypoglycémie, on peut aussi retrouver un défaut de sécrétion de glucagon et d'adrénaline due à l'atteinte neurologique chronique, elles sont invariablement présentes.

Selon des études prospectives, les patients présentant ces deux déficits hormonaux combinés, ont un risque d'hypoglycémie sévère augmenté de plus de 25 fois par rapport aux sujets sains ou avec une atteinte isolée soit de la contre régulation, soit du système nerveux autonome (26).

Hypoglycémies tardives :

Chez le sujet DT1 et particulièrement chez l'enfant et l'adolescent, le taux de sucre nécessaire pour maintenir une glycémie stable et éviter l'hypoglycémie varie au cours du temps et n'est pas limité à la durée de l'activité physique.

Une étude de 2007 (27) portant sur des adolescents avec un diabète de type 1 montre que les taux de glucose pour maintenir une glycémie stable sont élevés pendant l'exercice, et restent élevés pendant 7 à 11h après l'exercice.

Il s'agit donc de maintenir des apports glucidiques ou de diminuer l'insuline pendant cette période pour éviter l'hypoglycémie nocturne.

Une autre étude chez des adultes DT1 (28) s'est intéressée à chercher la valeur de la réduction des doses d'insuline rapide pour permettre d'éviter des hypoglycémies tardives.

Tous les patients qui se sont administrés 25% de la dose d'insuline rapide avant l'exercice et 50% de cette dose en post exercice sont préservés d'hypoglycémie jusqu'à 8h après l'exercice. Les patients qui ont plus diminués leurs doses ne sont pas protégés des hypoglycémies post exercice.

Cependant, aucune de ces réductions de doses n'empêche les hypoglycémies à plus de 8h après l'exercice.

Autres risques

Bien qu'ils ne sont pas spécifiques aux diabétiques il convient de citer les risques traumatiques liés à la pratique d'une activité physique, qui peuvent par la suite limiter la mobilité.

Il faut mentionner deux risques qui sont rares chez le diabétique de type 1 :

- Les accidents cardio-vasculaires, en particulier les infarctus du myocarde qui surviennent le plus souvent chez un sujet d'âge >50 ans, ancien sportif, qui pratique une activité intense sans entraînement préalable (marathon).
- Les risques d'aggravation des microangiopathies liés à des traumatismes répétés, comme les rétinopathies s'aggravant avec des microtraumatismes crâniens (boxe).

B.2. Facteurs affectant la réponse à l'exercice

Chez tous les individus il existe des réponses variables à l'exercice en fonction de la constitution et de l'entraînement du sujet mais bien évidemment du type et de la durée de l'activité.

Chez le sujet DT1, d'autres paramètres doivent être pris en compte pour évaluer la réponse à l'effort comme la dose et l'heure de la prise de la dernière insuline et de la dernière collation, mais aussi du type de l'insuline utilisé et la zone d'injection de cette dernière.

L'international Society of Pediatric and Adolescent Diabète (ISPAD) publie dans la revue « Pediatric Diabetes » un guide de bonnes pratiques cliniques concernant l'exercice physique chez l'enfant et l'adolescent diabétique dans l'article « exercice in adolescent and children with diabete » (29).

Dans cette article les auteurs reprennent notamment les facteurs influençant la réponse à l'exercice.

- Durée et Intensité de l'exercice

Tous les exercices physiques de plus de 30 minutes nécessitent des ajustements des doses d'Insuline et/ou des apports glucidiques, car comme expliqué précédemment plus l'activité sportive est longue, anaérobie, même à intensité moindre, plus elle consomme du glucose.

La plupart des sports d'équipe et de plein air ou des activités physiques spontanées entre enfants sont caractérisés par des périodes répétées d'activités très intenses entrecoupées de plus longues périodes d'activité faible ou modérées.

Or, il a été montré qu'une activité physique intense produit moins de baisse dans les taux sanguin de glucose comparée à une activité modérée mais continue, en secrétant des niveaux plus élevés d'hormones hyperglycémiantes.

Une étude publiée en 2006 (30) montre que une activité modérée (40% de la VO₂ max) suivie d'une activité à intensité maximale (>80%VO₂ max) prévient la diminution du glucose dans le sang pendant au moins 2h après l'exercice.

- Type d'activité physique

Les efforts anaérobie (muscultation, sprint...) ne durent que très peu longtemps, souvent quelques secondes mais peuvent augmenter de manière très importante le taux de glucose sanguin à cause de la sécrétion importante d'hormones hyperglycémiantes comme l'Adrénaline et le Glucagon.

Cette augmentation n'est que transitoire (30 à 60 min) et est souvent suivie par une hypoglycémie dans les heures après l'exercice.

A l'inverse les activités aérobies (course à pied, tennis, randonnée...), même à intensité modérée diminuent beaucoup plus sensiblement la glycémie pendant mais aussi après l'effort.

- Equilibre métabolique et glycémie

Les enfants qui ont un diabète peuvent avoir des activités aérobies et d'endurance normales si l'équilibre glycémique est bon (HbA_{1c} < 7%), même avec une légère hyperglycémie au moment de l'activité physique.

Dans une étude publiée en 2000 (31), la capacité physique chez des garçons pré pubères ayant un bon équilibre glycémique n'est pas différente de celle des garçons n'ayant pas de diabète, de même âge, de même poids et ayant les mêmes activités physiques, même si ceux qui ont un diabète font les exercices avec une glycémie considérablement plus élevée (glycémie moyenne de 15 mmol/l) au début de l'exercice.

Au contraire, la capacité aérobie n'est pas plus basse et la fatigue plus grande chez les jeunes qui ont un diabète de type 1 quand l'équilibre glycémique n'est pas optimal (ex. HbA1c > 7,5 %).

De plus, dans des sports comme le hockey, le football ou la voile où un certain degré de fonctionnement et de précision cognitif sont nécessaires, les performances peuvent être meilleures en normo glycémie comparées à l'hyperglycémie, bien qu'on ait encore besoin d'études pour confirmer cette hypothèse.

- Types et heure des injections d'Insuline

Quand l'insuline a été injectée avant une activité physique, le moment le plus probable pour une hypoglycémie est 2-3h après l'injection, alors que le moment le plus à risque avec un analogue rapide se situe entre 40 et 90 min. Ainsi une diminution de l'insuline rapide est essentielle avant un exercice physique mais un ajustement de l'heure est aussi important.

Nous verrons par la suite les recommandations concernant la diminution de la dose de cette insuline avant l'exercice.

En cas de compétition le matin ou toute la journée, une insuline basale d'action lente injectée une fois par jour le soir, peut être remplacée par une insuline d'action plus courte pour diminuer l'effet de l'insuline basale le jour suivant, au moment de l'exercice et ainsi éviter un accident hypoglycémique.

- Types et heure des repas

Un repas contenant des glucides, des graisses et des protéines devrait être consommé environ 3-4h avant une compétition pour permettre la digestion et maximiser les réserves d'énergie endogène, en particulier pour les activités de longue durée.

Les réserves de glycogène peuvent être augmentées par la prise d'une boisson glucidique (1-2 g de glucides/kg) environ 1h avant, ce qui aide aussi à compléter les réserves d'énergie et est un apport liquidien pour l'hydratation. Une boisson isotonique contenant 6% de sucre simple (saccharose, fructose, glucose) donne une absorption optimale, comparée à d'autres boissons plus concentrées à plus de 8% de glucose, comme les jus de fruit ou les boissons gazeuses qui retardent l'absorption et provoquent des troubles gastriques.

La quantité de glucides devrait être aussi proche que possible de la quantité utilisée pendant l'exercice, si la dose d'insuline n'a pas été diminuée. En général, environ 1,0-1,5 g de glucides/kg de poids/heure devraient être consommés pendant une activité physique, au moment du pic d'action de l'insuline, en fonction du type d'activité.

Les besoins sont plus faibles si le bolus du repas avant l'exercice est diminué, ou si l'exercice est pratiqué plusieurs heures après l'injection.

Des activités anaérobies de courte durée et de forte intensité peuvent ne pas nécessiter d'apport en glucides avant l'exercice, mais peuvent entraîner une chute retardée de la glycémie.

Pour ce type d'activités, un complément de glucides après l'exercice est souvent la meilleure option pour prévenir l'hypoglycémie.

Des activités aérobies plus longues et d'intensité plus faible comme le football (souvent décrit comme un mélange d'exercice aérobie et anaérobie), le cyclisme, la course à pied et la natation, nécessiteront un supplément de glucides avant, peut-être pendant et souvent après l'activité.

Enfin, une collation contenant des glucides complexes, des graisses et des protéines, au coucher, peut limiter les hypoglycémies nocturnes dues à l'activité de la journée.

- Absorption de l'Insuline

Choix de la zone d'injection :

Si l'injection d'insuline est faite sur le bras ou la cuisse, avant qu'une activité physique intense les sollicite, l'augmentation du flux sanguin dans les membres peut accélérer l'absorption et l'action métabolique de l'insuline (32).

Cela peut être particulièrement marqué si la zone d'injection est hypertrophiée. Ainsi, un cycliste peut avoir une réponse moins variable de la glycémie en choisissant d'injecter l'insuline dans les bras ou l'abdomen plutôt que dans la cuisse avant une course.

Température ambiante :

Une température élevée augmente l'absorption de l'insuline et une température basse la diminue.

Dans ce dernier cas, il faut en tenir compte si on nage sur une longue distance dans de l'eau froide. La plupart des études sur l'absorption ont été faites avec de l'insuline soluble. Les effets sont moins prononcés avec des analogues rapides.

- L'entraînement

Des patients rapportent souvent que la baisse de la glycémie peut être moins importante avec un entraînement et une pratique régulière du sport.

Cette hypothèse peut s'expliquer par une plus grande efficacité de l'exercice après une période d'entraînement.

- Degré de stress/ compétition

La réponse de l'adrénaline fait monter la glycémie. Alors que les sportifs font face aux hypoglycémies pendant les entraînements, ils décrivent plutôt des hyperglycémies lors des compétitions.

- Masse musculaire

Plus le nombre de groupes de muscles sollicités est élevé plus la glycémie baisse, et les activités où l'on porte des poids ont tendance à dépenser plus d'énergie que les autres.

- Heure de l'activité physique

Une activité physique pratiquée le matin, avant l'injection d'insuline, peut ne pas entraîner d'hypoglycémie car les concentrations d'insuline sont basses et les hormones de la contre régulation peuvent être élevées.

- Facteurs environnementaux

Les facteurs extérieurs comme des températures élevées ou basses influent aussi sur la consommation d'énergie durant une activité sportive. De même, le taux d'humidité peut influencer le travail respiratoire, et le vent le travail musculaire.

C. Bénéfices de l'activité physique

C.1. Bénéfices dans la population générale

-Diminution du taux de mortalité

Il s'agit d'une réalité largement répandue dans les mentalités des hommes et femmes de tous âges confondus dans les pays développés depuis les années 1970.

La pratique sportive dans le but d'améliorer son état général et d'être en « bonne santé » concernait au départ des minorités de sportif d'âge jeune (25-45 ans) plutôt masculin, et concerne aujourd'hui l'ensemble de la population, aussi bien des sujets indemnes de toute pathologie que des sujets porteur de maladies chroniques.

De nombreuses grandes études portant sur des cohortes de plus de 30 000 personnes ont été faites sur le sujet, dont la plus récente en 2007, elles montrent un risque relatif de mortalité inversement proportionnel au niveau d'activité physique en ajustant les données sur des facteurs biologiques, médicaux, comportementaux (consommation tabac, alcool) et certains facteurs sociaux (comme l'âge, le sexe, parfois le niveau d'études).

La plus récente d'entre elles (33) a porté sur 252 925 individus retraités de 50 à 71 ans suivis entre 1995 et 2001, montre qu'une pratique à un niveau voisin de celui des recommandations pour l'activité d'intensité modérée (au moins 3 heures par semaine) ou pour l'activité d'intensité élevée (au moins 20 minutes 3 fois par semaine) entraîne une réduction du risque de mortalité de l'ordre de 30 % par rapport au fait d'être inactif.

La réduction du risque atteint 50 % si la pratique combine les deux types de recommandations.

-Bien être psychologique

Dans nos sociétés contemporaines, le corps est un support majeur de l'identité. Dès lors, les pratiques qui visent à l'embellir, le relaxer, le renforcer se multiplient.

La communauté scientifique aborde la question du bien-être au travers des facteurs dominants que sont l'anxiété et le stress, les émotions, l'estime de soi, l'état dépressif.

Une vaste étude longitudinale (34) est particulièrement intéressante car elle porte sur 19 288 personnes âgées de 10 à plus de 60 ans, suivies par questionnaire de 1991 à 2002 au niveau de l'anxiété, de la dépression, de la personnalité et de leur pratique physique.

Les résultats soulignent que ceux qui pratiquent régulièrement des activités physiques sont constamment (quel que soit l'âge et le sexe) moins anxieux, moins dépressifs, moins névrosés, plus extravertis et plus à la recherche de sensations que les non sportifs.

Les différences sont constantes sur un suivi de 10 années quels que soient le sexe et l'âge.

Concernant les adolescents, les bénéfices d'une activité physique d'un point de vue psychologique chez une population emprunt par nature à des désordres émotionnels est particulièrement intéressante.

-Diminution des facteurs de risques cardio vasculaire

➤ **Hypertension artérielle**

La pratique régulière d'une activité physique permet un meilleur contrôle de l'hypertension artérielle. L'entraînement physique fait donc désormais partie des recommandations dans la prise en charge de l'hypertension, en association avec les traitements médicamenteux.

Les mécanismes sous-tendant cet effet restent mal élucidés. Une diminution des résistances artérielles périphériques a été retrouvée, ainsi qu'une meilleure adaptation du débit cardiaque. L'amélioration, déjà évoquée, du fonctionnement de l'endothélium vasculaire est probablement impliquée dans cet effet vasculaire avec meilleure vasodilatation réflexe, de même que l'action sur le système neurovégétatif.

➤ **Dyslipidemie**

L'activité physique entraîne une diminution des taux sériques des triglycérides et une augmentation du HDL cholestérol.

Une méta-analyse incluant 52 études (4 700 sujets) a montrée une réduction moyenne de 3,7 % du taux de triglycérides sériques, de 5 % du LDL cholestérol et une augmentation moyenne de 4,6 % du HDL cholestérol (35).

➤ **Surcharge pondérale**

L'activité physique est recommandée, en association au régime, pour le contrôle de la surcharge pondérale et la conservation à moyen et long terme de la perte de poids ainsi obtenue.

Elle permet une réduction de la graisse abdominale, facteur prédictif de diabète et d'hypertension.

La participation dès le jeune âge à une activité physique régulière est un facteur de limitation de l'apparition de l'obésité abdominale à l'âge adulte.

➤ **Tabac**

Le sevrage tabagique est facilité par l'entraînement physique qui améliore les résultats des programmes d'interventions comportementales.

C.2. Chez le diabétique de type 1

En plus des avantages communs avec les sujets non diabétiques, les patients diabétiques de type 1 ont des avantages spécifiques à leur pathologie.

- Bénéfices a court terme

➤ **Augmentation de la sensibilité à l'insuline**

Une activité physique pratiquée régulièrement diminue l'insulinorésistance.

Pendant et immédiatement après un exercice, et entre 7-11 heures pendant la récupération, la sensibilité à l'insuline est élevée chez les adolescents qui ont un diabète de type 1 (36).

En pratique, un exercice de 1 heure peut entraîner une augmentation de la sensibilité à l'insuline et donc un risque d'hypoglycémie pendant au moins 24 heures.

D'un point de vue physiologique, l'association d'Aide aux Jeunes Diabétiques (AJD) a publié un article récemment (37) pour faire le point sur les activités physiques du jeune diabétique, et notamment sur les effets bénéfiques du sport chez le jeune diabétique de type 1.

L'article rappelle que la dépense énergétique musculaire lors de chaque session d'entraînement conduit à une diminution de la masse grasse corporelle. Cette diminution de masse grasse permet une diminution de l'insulino-résistance, puisque le tissu adipeux secrète des adipocytokines à effet insulino-résistant comme la leptine.

De plus, des modifications structurelles et fonctionnelles du muscle squelettique, induites par l'entraînement, peuvent également favoriser

l'amélioration de la sensibilité périphérique à l'insuline, une meilleure vascularisation du muscle mais aussi la capacité maximale d'utilisation musculaire du glucose via des modifications du nombre de transporteurs de glucose (GLUT4) ou de l'activité maximale d'enzymes indispensables au catabolisme musculaire du glucose sanguin.

➤ **Mieux gérer sa pathologie**

Outre l'activité physique, le sujet diabétique de type 1 peut se retrouver confronté à des accidents hypoglycémiques dans de multiples situations (défaut d'alimentation, stress..).

Le patient pour qui ces accidents sont plus fréquents saura logiquement mieux s'y confronter.

Ainsi, l'activité physique, surtout si elle est régulière, permet au diabétique de type 1 de mieux connaître sa pathologie et de mieux la gérer au quotidien, spécialement en ce qui concerne l'adaptation des doses d'insuline et des apports glucidiques.

De plus, l'activité sportive permet au patient diabétique de type 1 de se sentir acteur à part entière de sa pathologie et de s'inscrire dans une démarche d'appropriation.

La rigueur imposée par certains sports (plongée, escalade..) habitue le sujet diabétique de type 1 à l'organisation et la standardisation de méthodes selon des protocoles, ce qui est très utile pour permettre un équilibre glycémique correct.

- Bénéfices a long terme

➤ **Diminution de l'hémoglobine glyquée**

L'HbA1c est le reflet de la glycémie. Tandis que la glycémie capillaire et le glucose interstitiel sont des instantanés de l'état glycémique, l'HbA1c permet, par un dosage sanguin, d'évaluer l'équilibre glycémique sur une plus longue période (environ deux à trois mois).

Comme le montrent deux grandes études chez des adultes et des enfants (38,39) il existe une relation inverse statistiquement significative entre la pratique d'une activité physique et l'HbA1c chez le DT1.

Bien que la plupart des études ne montrent que peu d'impact sur l'HbA1c, ces deux études dans des populations importantes montrent qu'une activité physique régulière fréquente est associée à une baisse de l'HbA1c sans augmenter le risque d'hypoglycémie sévère.

➤ **Les complications du diabète**

En limitant la glycémie sur le long terme, l'activité physique ralentit l'évolution de la maladie et limite ainsi les micro et macroangiopathies.

D. Adaptations pour la pratique d'une activité physique

D.1. Le traitement par Insuline

Schémas thérapeutiques

Pour les enfants et adolescents qui ont peu l'habitude de pratiquer une activité physique, il est rare que le schéma d'injection insulinaire soit adapté, d'autant

plus que chez de tel sujet l'activité sportive est souvent non prévue car inhabituelle.

Le plus souvent le sujet non sportif gardera son schéma d'injection habituel pour une activité prévue ou non et adaptera ses doses d'insuline et son resucrage.

En revanche, pour les sujet DT1 qui ont une activité physique régulière, il sera souvent préféré les multi injections ou les pompes a insuline pour leur facilité d'adaptation, surtout si le niveau d'effort varie en fonction des entraînements, avec toujours la possibilité d'apports glucidiques.

On distingue trois cas de figures :

- Deux injections par jour : il peut être difficile de maintenir un contrôle glycémique strict surtout avec différents niveaux d'activités au cours de la semaine.

La prise de glucides est dans ce cas le moyen essentiel pour permettre un bon contrôle glycémique.

- Trois injections par jour : ce rythme peut être compatible avec une activité physique modérée si il est accompagnée de resucrage adaptés

- Multi injections ou pompe : ces schémas d'injections apportent une plus grande flexibilité notamment pour des sujets pratiquant un entraînement régulier ou en compétition.

Les doses d'Insuline

L'ALFEDIAM (Devenue la Société Francophone de Diabète en 2007), a produit des recommandations de bonnes pratiques lors d'une conférence en 2007 concernant l'adaptation des doses d'insuline en activité sportive :

Intensité/ Durée	<20 minutes	20-60 minutes	>60 minutes
Faible (En dessous de 25% de VO2 Max)	Aucune	Aucune	Réduire de 20% le bolus et de 5 a 10% l'insuline basale par heure d'effort
Moyenne (25-75% de VO2 Max)	Aucune	Réduire de 10 a 50% le bolus et de 10 a 20% l'insuline basale	Réduire de 5 a 10% le bolus et l'insuline basale par heure d'effort
Elevée (A partir de 75% de VO2 Max)	Aucune	Idem	Réduire de 5 a 20% le bolus et l'insuline basale par heure d'effort.

L'ISPAD dont nous avons déjà parlé au début de ce chapitre a aussi en 2008 publié des recommandations concernant la réduction des doses d'insuline en bolus chez l'enfant et l'adolescent :

Intensité/ Durée	Moins de 30 minutes	Plus de 30 minutes
Faible	Réduire de 25%	Réduire de 50%
Moyenne	Réduire de 50%	Réduire de 75%
Elevée	Réduire de 75%	Réduire de 100%

Une attention particulière doit être portée à l'adaptation des pompes à Insuline :

Une Etude menée par le Dr Sylvia Franc (40) a pour but de valider des algorithmes d'adaptation des doses d'insuline pour les patients sous pompes en prenant en compte l'intensité, la durée de l'activité physique et son délai par rapport au repas.

L'objectif principal est de prouver que les ajustements de débit de base permettent de pratiquer un sport sans augmenter l'incidence des hypoglycémies symptomatiques, en analysant la glycémie entre le début de l'activité et le lever le lendemain matin.

Vingt patients diabétiques de type 1 ont été inclus dans l'étude : 10 hommes et 10 femmes, avec un âge moyen de 47 ans, et une HbA1c de 7,9 % en moyenne. La durée d'évolution moyenne du diabète est de 18 ans dont 5 ans sous pompe et les individus pratiquent en moyenne 3,6 heures d'activité physique par semaine.

Chaque patient a effectué successivement 5 épreuves basales 3 heures après le déjeuner à deux intensités différentes (50 et 75 % du VO₂max).

A la suite de cet effort physique, les patients étaient équipés d'un capteur de glycémie jusqu'au lendemain matin.

Le but est de comparer deux approches d'adaptation : baisse du débit de base ou diminution du bolus. Enfin, deux schémas de réduction du débit de base ont été testés : baisse de 50 et 80 % du débit de base pour un effort modéré et baisse de 80 et 100 % du débit de base pour un effort important.

Pendant l'effort et dans les deux heures qui suivent, la glycémie et l'insulinémie ont été mesurées afin d'analyser les éventuels événements hypoglycémiques.

Globalement, les résultats nous mènent à plusieurs conclusions :

Dans tous les cas, le débit de base doit être diminué 30 minutes avant l'activité et ce jusqu'à 2 h après l'effort, puis deux cas de figure :

-Activité physique « modérée » : réduction de débit de base de 80 % dans un premier temps (option de sécurité) qui pourra être passée à 50 % si les glycémies restent élevées ;

-Activité physique « intense » : arrêt total de la pompe et reprise 2 h après l'exercice (option de sécurité) si les glycémies restent élevées, une réduction de 80 % du débit de base peut être proposée.

Les zones d'injection

Il est généralement recommandé d'éviter de pratiquer les injections d'insuline dans les zones soumises au travail musculaire le plus intense, où sa résorption accélérée augmenterait le risque d'hypoglycémie pendant l'effort (cuisse ou fesse en cas de course à pied ou cyclisme, bras pour tennis...).

De même, il faut veiller à ne pas injecter l'insuline en intramusculaire, car sa résorption est beaucoup plus rapide qu'en sous-cutanée.

Ainsi, on conseille dans la plupart des cas de réaliser l'injection au niveau de la paroi abdominale, moins sollicitée par l'exercice musculaire que les cuisses ou les bras. Il est également recommandé de pratiquer l'injection en faisant un pli de peau et en injectant à 45°, afin de limiter le risque d'injection intramusculaire.

D'autre part lors d'activités physiques régulières, il est avantageux d'injecter l'insuline au même endroit, de manière à obtenir une action reproductible et donc prévisible.

D.2 Alimentation et hydratation

La quantité de glucides à absorber avant l'exercice dépend évidemment du poids du sujet, du type d'activité pratiquée, et de son niveau d'entraînement.

Si l'activité n'est pas prévue, il faudra majorer les apports glucidiques car la dose d'insuline est restée la même.

Ainsi il est recommandé de prendre 25-30g de glucides avant l'exercice puis renouvelé toutes les 45 minutes pendant l'effort.

En revanche si l'activité est prévue, il faut adapter son bol alimentaire, particulièrement la prise de glucides pour permettre une activité efficace, tout en minorant les risques d'accidents hypoglycémiques.

Bien qu'il ne soit pas limité aux personnes qui ont un diabète, le risque de déshydratation devrait rester à l'esprit par crainte de trop se concentrer sur l'équilibre glycémique. Même une baisse de 1% du poids par déshydratation peut altérer une performance.

En pratique, les deux problèmes peuvent souvent être réglés en utilisant des boissons spécialement adaptées.

L'apport en liquide devrait étroitement compenser les pertes de la transpiration et de l'hyperventilation, pour que le poids ne change pas entre avant et après l'exercice.

On peut avoir besoin d'un apport liquidien jusqu'à 1,3 litre par heure chez un adolescent qui pratique un exercice dans un environnement chaud et humide.

D'après l'AJD (37), l'amélioration de la sensibilité des tissus à l'insuline avec l'entraînement chez le jeune DT1, ne s'accompagne pas toujours de l'amélioration du paramètre normalement influencé par la sensibilité à l'insuline, c'est-à-dire la diminution des doses d'insuline journalières.

Ceci pourrait s'expliquer en partie par la difficulté des patients à gérer les variations glycémiques importantes et variées car dépendantes de nombreux facteurs. En réponse à ces variations et par peur des épisodes hypoglycémiques, les patients peuvent avoir une consommation excessive de glucides ou diminuer excessivement leurs doses d'insuline, ce qui en retour peut altérer le contrôle glycémique.

Au contraire, lorsque les jeunes patients bénéficient, en parallèle de l'entraînement, de recommandations structurées sur les adaptations à la fois alimentaires, d'insulinothérapie et sur l'auto surveillance glycémique, le contrôle glycémique s'améliore significativement.

Il existe une telle variabilité inter individuelle et inter sport que peu de consensus existe au sujet des apports glucidiques.

Malgré cela, une étude (41) a produit un guide de bonnes pratiques en terme d'apport glucidique et de réduction de l'insuline pour la pratique d'activité sportive chez le diabétique de type 1.

Cette étude a été présentée à la conférence de l'association de langue française sur l'étude du diabète et des maladies métaboliques (ALFEDIAM) en 2007.

Soixante-sept patients diabétiques de type 1 ont été répartis dans quatre catégories de traitement selon quatre stratégies prévenant les épisodes d'hypoglycémie, avec ou sans compensation d'hydrates de carbone et/ou avec ou sans une réduction du dosage de l'insuline. Le protocole comprend 7 disciplines différentes et 9 sous-groupes selon trois différentes durées et trois degrés d'intensité.

L'objectif principal de cette étude est de comparer, chez ces 67 patients, différentes options thérapeutiques avec ou sans compensation en glucose et/ou avec ou sans diminution des doses d'insuline pendant l'activité physique afin de prévenir les hypoglycémies pendant et après l'exercice.

Les résultats montrent qu'en remplaçant de façon adéquate les hydrates de carbone durant l'activité physique, il est possible de prévenir presque toutes les hypoglycémies indépendamment des ajustements des dosages d'insuline. Par

ailleurs, la corrélation entre les compensations d'hydrates de carbone et le nombre d'hypoglycémies est significative alors que la diminution du dosage d'insuline ne l'est pas.

L'étude conclue à des recommandations en grammage de glucides, indépendamment des modifications insuliniques.

Intensité / Durée	<20 minutes	20-60 minutes	>60 minutes
Intensité faible : VO ₂ max<60%	0-10g	10-20g	15-35g
Intensité Modérée : VO ₂ max 60-75%	10-20g	20-60g	20-100g
Intensité Forte : VO ₂ max>75%	20-30g	30-100g	30-150g

D.3 Les contrôles glycémiques

La condition fondamentale pour la pratique d'une activité physique par un diabétique de type 1 est de le faire lorsque le contrôle glycémique est bon. L'exercice musculaire ne doit pas être réalisé en période de déséquilibre, dans la phase de convalescence d'une maladie infectieuse, et doit être interdit en cas de cétose.

La mesure de la glycémie est essentielle chez un enfant ou un adolescent qui a un diabète pour identifier les réponses glycémiques à l'activité physique. Les glycémies, l'heure, la durée et l'intensité de l'exercice doivent être notées, ainsi que les stratégies utilisées pour maintenir les glycémies dans les limites de la normale.

La glycémie devrait être mesurée avant, pendant et après l'exercice avec une attention particulière à la direction des variations de la glycémie.

Les mesures plusieurs heures après l'exercice et au coucher sont particulièrement importantes les jours d'activité intense, pour détecter les hypoglycémies nocturnes.

D.4. Les capacités de chaque individu

L'adaptation à l'effort dépend de chaque individu et sur ce point l'équilibre glycémique joue un rôle important.

Une étude comparant un groupe de jeunes diabétiques de type 1 à un groupe de sujets sains concernant des aptitudes physiques (42) a montré que le déséquilibre glycémique (HbA1c) est un facteur prédictif de compétences sportives (VO2max) moins importantes.

Une autre étude (43) portant sur des enfants plus jeunes (5 à 14 ans) montre que le mauvais équilibre glycémique est associé, de manière indépendante au genre et au niveau d'entraînement, à des fréquences cardiaques plus élevées au repos et à l'effort.

On comprend donc que pour certains sujets DT1, l'équilibre glycémique peut constituer une difficulté supplémentaire à la pratique d'activité sportive en diminuant leurs capacités physiques.

D.5. Particularités liées à l'adolescence

L'adolescence est chez tous les individus une période charnière pendant laquelle se manifeste des désordres physiques et psychologiques importants.

Même si un certain nombre d'adolescents pratiquent une activité physique de façon régulière, l'adolescence est aussi souvent associée pour une part plus importante à une diminution des pratiques entreprises dans l'enfance et d'autre part à une absence de motivation pour s'investir dans une nouvelle pratique sportive.

De nombreux facteurs sont impliqués, notamment les occupations extra scolaires non sportives multiples, le fait qu'il s'agit d'une période de découverte et de libération de l'enfance, et le désir d'émancipation, qui sont non compatibles avec les attentes des figures de l'autorité, parents ou médecins.

Une étude (44) comparant les niveaux d'activité d'un groupe d'adolescent diabétique avec un groupe d'adolescent non diabétique montre que le groupe des diabétiques passe plus de temps inactif que le groupe sain (2 heures contre 1.3 heures, avec $p=0.002$) malgré que les deux groupes passent autant de temps actif (3.4 heures contre 3.5 heures, avec $p=0.49$).

Dans cette même étude les deux groupes montrent que les filles passent plus de temps en étant actives.

E) Conclusion

Chez le patient diabétique de type 1, souvent jeune, la poursuite ou l'incitation à la pratique d'un sport est importante, à la fois sur le plan psychologique et sur le plan pédagogique.

En effet, apprendre à gérer ses doses d'insulines et son alimentation lors de la pratique d'une activité physique, c'est apprendre à mieux gérer son diabète et donc à mieux se connaître.

Il est toutefois capital de prendre conscience que la pratique d'une activité physique génère un risque d'hypoglycémie et de décompensation du diabète qui peuvent être évités en respectant des règles basées sur l'auto surveillance glycémique et la part importante de l'expérience personnelle.

V) ORGANISATION DE LA PLONGEE SOUS-MARINE

Depuis l'aube de l'humanité l'homme a cherché à explorer le monde sous marin.

Au départ en apnée, jusqu'à l'apparition de tubes et cloches respiratoires puis des scaphandres lourds au 19^{ème} siècle, le domaine de la plongée sous-marine a sans cesse été renouvelé d'innovation pour permettre une découverte des fonds marins en limitant les contraintes matérielles.

La plongée moderne en scaphandre autonome, développée au départ à des fins militaires pendant la seconde guerre mondiale était au départ limitée à un but professionnel.

La démocratisation du matériel a permis un enthousiasme progressif de la population, si bien qu'au départ restreinte à une poignée de téméraires, elle s'adresse depuis les années 1980 à l'ensemble de la population et connaît un succès important.

En effet, le nombre de licenciés est passé en France de 65 000 en 1980 à 150 000 en 2004.

Le nombre de plongeurs ne cesse de s'accroître, ainsi le nombre de plongées réalisées en 2004 est de 2.2 Millions.

A. Les institutions

Il existe principalement dans le monde deux grandes écoles de plongées qui sont fonction des zones géographiques et de la nationalité du plongeur.

En France la majorité des plongeurs plongent avec des écoles de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous Marin (FFESSM) qui est membre fondateur de la Confédération Mondiale de Activités Subaquatiques (CMAS). La fédération a le pouvoir de délégation donné par le Ministère de la jeunesse et des sports en matière de plongée sous marine et ses textes sont la référence en terme de législation.

Ailleurs dans le monde, et particulièrement dans les zones tropicales et subtropicales, il y a une dominance de l'école anglo-saxonne, la Professional Association of Diving Instructor (PADI).

A.1. En France

➤ FFESSM

Longtemps considérée comme élitiste et de formation militaire, l'école française a progressé pour s'ouvrir à la plongée loisir et faire participer le plus grand nombre.

Créée en 1948 à Marseille, membre fondateur de la CMAS en 1959, la FFESSM est l'une des plus anciennes fédérations au monde.

Elle regroupe aujourd'hui environ 150 000 licenciés au sein de plus de 2 200 clubs associatifs affiliés et plus de 300 structures commerciales agréées.

Aujourd'hui, la formation est scindée en deux parties : les plongeurs encadrés et les plongeurs autonomes. L'enseignement s'étend jusqu'à une profondeur de 60m ce qui permet d'explorer nombre d'épaves en méditerranée ou de récifs dans toutes les eaux françaises de la planète.

La formation est reconnue mondialement donc il est possible de voyager pour plonger à l'étranger.

La réglementation est mise en place par l'article 322 du code du Sport, récemment modifié par l'arrêté du 5 Janvier 2012, notamment concernant la plongée au *Nitrox*.

Un plongeur doit si il veut passer des niveaux de plongées remplir un certain nombre de prérogatives fixées par la Fédération sur des connaissances théoriques et pratiques.

L'accès à un niveau supérieur lui permettra ensuite de plonger dans un espace plus profond ou en autonomie.

Les profondeurs sont définies en espaces d'évolution comme suit concernant les plongées a l'air :

0-6 mètres
6-12 mètres
12-20 mètres
20-40 mètres
40-60 mètres

La plongée sous marine à l'air est limitée à 60 mètres.

Il faut savoir qu'en Polynésie Française, la plongée peut être étendue à 9 mètres supplémentaires à chaque niveau en raison de la clarté de l'eau.

Les différents niveaux de plongée :

Niveau FFESSM, FSGT, ANMP	Niveau CMAS	Aptitude à la plongée encadrée	Aptitude à la plongée en autonomie
P1	1 Etoile	20 mètres	Aucune
P1 + PA 12		20 mètres	12 mètres
P2	2 Etoiles	40 mètres	20 mètres
P3	3 Etoiles	60 mètres	60 mètres

Qualification minimale du directeur de plongée

Chaque plongée nécessite la présence d'un directeur de plongée, il a la responsabilité de l'activité et choisit le lieu, le déroulement, autorise les plongeurs en autonomie et c'est aussi à lui de sécuriser l'activité. Lors d'une plongée il reste sur le bateau le plus souvent.

Sa qualification va du Niveau 5 FFESSM pour une plongée en exploration jusqu'au MF1 (Moniteur fédéral niveau 1) ou MF2 (Moniteur fédéral niveau 2) lors d'une plongée en enseignement en fonction des mélanges respiratoires.

Son rôle est à différencier de celui de guide de palanqué, qui encadre la plongée en immersion uniquement, par exemple en calculant le temps de remontée et les paliers.

La qualification du guide de palanquée est aussi encadrée par la FFESSM, elle va du Niveau 4 pour une plongée en exploration jusqu'au MF1 ou MF2 pour des plongées en enseignement à des Niveaux 3 ou 4.

Les mélanges gazeux

Etant donné l'engouement grandissant pour les mélanges respiratoires auprès de plongeurs de tous niveaux et la diffusion de ces techniques, il est important d'en expliquer les principes et les intérêts.

Ils sont soumis par la FFESSM à une réglementation stricte en terme de profondeur, de niveaux requis et de formation théorique et pratique qui diffère de la plongée à l'air.

Les gaz et mélanges respiratoires sont les suivants :

Mélanges binaires : - le Nitrox est un mélange respiratoire composé d'oxygène et d'azote dans des proportions différentes de celle de l'air : il contient plus d'oxygène. L'augmentation de la proportion d'oxygène permet d'élargir la courbe de sécurité et donc de plonger plus longtemps sans décompression. De plus, en limitant la saturation en azote, il limite la fatigue et le risque d'accident de décompression.

-l'Héliox est un mélange respiratoire composé d'oxygène et d'hélium, en l'absence d'Azote il est possible de plonger plus profond sans risque de narcose et de limiter les risques d'accidents de décompression.

Mélanges ternaires : - le Trimix, mélange respiratoire composé d'oxygène, d'azote et d'hélium. En diminuant les quantités d'Oxygène et d'Azote pour y intégrer de l'Helium on limite les risques de narcose et d'hyperoxie et il

permet de plonger plus profond. Ainsi la limite n'est plus 60 mètres mais 90 voire 120 mètres.

L'oxygène pur, utilisable dans les recycleurs et en décompression.

L'arrêté de 2012 concernant la plongée sous marine précise aussi la liste du matériel obligatoire, pour la plongée et pour l'assistance aux premiers secours.

➤ Les autres Fédérations

Fédération Sportive et gymnique du Travail (FSGT)

C'est une fédération omnisport créée en 1934, qui est affiliée à la confédération sportive internationale du travail et au comité national olympique et sportif français.

La FSGT est une fédération de 4 300 associations locales qui organisent du sport et des loisirs.

En matière de plongée, bien que sous représentée par rapport à la FFESSM, elle propose une formation plus en accord avec les niveaux internationaux (PADI) avec par exemple l'accès à l'autonomie dès le niveau 1 (12 mètres).

L'Association Nationale des Moniteurs de Plongée (ANMP)

Organisation professionnelle, régie par un statut syndical, qui regroupe essentiellement des moniteurs de plongée professionnels, ou futurs moniteurs, mais qui accepte également les moniteurs certifiés non reconnus en France. Elle compte environ 900 membres. L'ANMP délivre des attestations de niveaux 1 à 4 (17.627 certifications en 2004).

A.2. Dans le monde

➤ Confédération mondiale des activités subaquatiques (CMAS)

En 1959, la CMAS voit le jour lors du congrès de la Confédération Internationale de Plongée Sportive.

La CMAS est une confédération, c'est-à-dire un regroupement de fédérations souveraines, qui ont déléguées certaines compétences à des organes communs, c'est le résultat d'un vote des 15 pays fondateurs.

C'est le Commandant Jacques-Yves Cousteau qui assurera ces fonctions jusqu'en 1973.

C'est un organisme à but non lucratif dont l'objet est « de développer et de favoriser par tous les moyens la connaissance et la protection du monde subaquatique ainsi que la pratique des sports aquatiques ou subaquatiques ».

La CMAS est par ailleurs une Organisation Non Gouvernementale (ONG) reconnue par l'UNESCO, elle représente plus de 3 millions de plongeurs dans le monde, regroupe 90 pays et 134 fédérations ou organismes associés.

La CMAS dispose de ces propres cursus de formations repartis en 4 niveaux de plongeurs (plongeur 1*, 2**, 3***, 4****) et 3 niveaux d'encadrants (instructeur CMAS 1*, 2**, 3***).

➤ PADI

L'école PADI est la plus représentée dans le monde, dans 200 pays actuellement, avec la délivrance de plus de 900 000 certifications de plongées chaque année.

La philosophie de l'école PADI est différente de celle de la FFESSM, l'enseignement de la plongée est plus axée sur la plaisir ce qui donne des formations moins techniques et moins profondes que celles de la FFESSM.

La formation est pratiquée «à la carte» pour que chaque plongeur puisse se sentir le moins contraint possible.

La formation commence par le «discover scuba» équivalent du baptême français puis du «scuba diver» ne permettant de plonger uniquement avec encadrement à 12 mètres (contrairement à 20 mètres pour le niveau 1 français).

Le cursus de formation commence vraiment avec l'«open water» qui permet de plonger avec un binôme en autonomie dans la limite des 18 mètres, c'est l'équivalent du Niveau 2 sauf que la formation PADI n'apprend à plonger que dans la courbe de sécurité, il n'y donc pas de palier de décompression (sauf le palier de sécurité à 3 mètres), ce qui rend la formation beaucoup moins fastidieuse que celle de la FFESSM.

Il faut ajouter que comme la formation française, une partie théorique est obligatoire.

Cette formation est ensuite complétée par des modules de spécialité (plongée de nuit, orientation, photographie...), et il faut valider 5 modules pour obtenir l'«advanced open water» avec une limite de profondeur à 30 mètres en autonomie.

Suivent le «rescue diver» qui est axé sur la sécurité et les gestes de premiers secours en immersion, puis le «dive master» pour devenir enseignant.

Même si la formation est moins standardisée et nécessite moins de compétence technique, les plongeurs PADI sont les plus représentés dans le monde du fait de l'aspect ludique de la formation et de la multiplicité des centres de plongée agréés surtout dans les zones tropicales et subtropicales.

➤ *Scuba school International (SSI)*

La SSI a été fondée en 1970, elle est également très représentée dans le monde. SSI est présente dans plus de 110 pays, auprès de 2400 centres agréés et propose des outils pédagogiques traduits dans 25 langues. En 2008 en France,

46 instructeurs actifs repartis dans 32 centres affiliés ont délivrés 620 certifications SSI.

Certains centres de plongée sont affiliés à PADI et à SSI. La méthode de formation de SSI est de rendre l'apprentissage de la plongée plus abordable, plus vivant, dans l'esprit d'une plongée loisir qui doit être avant tout un plaisir.

➤ *Divers Alert Network (DAN)*

DAN est un organisme à but non lucratif de recherche médicale en médecine subaquatique associé à l'Université de Dukes (Durham USA).

Fondé en 1980, il compte plus de 200 000 membres. DAN propose différentes assurances pour la pratique de la plongée sous marine et publie tous les 3 mois une revue de vulgarisation scientifique médicale dédiée aux plongeurs.

L'organisme propose des stages de formations aux premiers secours en améliorant la connaissance des plongeurs sur les accidents de plongée et sur les règles de sécurité.

Il propose aussi un système de régulation téléphonique des accidents de plongée.

Nous reviendrons sur la conférence qui a eu lieu en 2005 organisée par DAN et la Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) et qui a regroupée plus de 50 intervenants de 7 pays, dans le but de proposer des guides de bonnes pratiques concernant le diabète et la plongée de loisir.

Le plus gros projet de DAN est une étude observationnelle prospective, «project dive exploration» qui a débutée en 1987, dont le but est de collecter les données de 1 000 000 de plongées pour faire une analyse la plus fine possible sur les circonstances de survenue des accidents de plongées. Aujourd'hui, presque 200 000 plongées sont déjà collectées.

➤ *Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS)*

Il s'agit de la principale société savante concernant la médecine subaquatique et hyperbare qui a son journal officiel le «Undersea and hyperbaric medicine journal» (UHMJ).

C'est une organisation à but non lucratif regroupant plus de 2000 physiciens, scientifiques médecins ou infirmiers de plus de 50 pays.

Il s'agit de la principale source d'information dans le domaine de la médecine hyperbare puisque c'est la seule revue sur ce sujet indexée dans PUBMED. Elle organise chaque année une conférence, pour exposer les nouveautés en terme de recherche scientifique ou de protocoles de prise en charge et pour promouvoir la pratique de la plongée dans les conditions les plus sûres.

➤ *South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS)*

La SPUMS est une organisation de la société savante d'étude de médecine subaquatique et hyperbare pour les Australiens et Néo Zélandais.

Elle publie le «South Pacific and Underwater Medicine Society Journal» (SPUMJ) tous les 3 mois et qui est avec le UHMJ la principale revue de médecine hyperbare à l'international.

➤ *British Sub Aqua Club (BSAC)*

La BSAC est une association de plongeurs britanniques.

Nous évoquerons leurs travaux sur le diabète et la plongée.

Depuis 1992, les diabétiques peuvent plonger au sein de leur organisation.

B. La législation

Notre travail concerne des plongeurs français qui ont passés leur niveau de plongée agréés par la FFESSM, nous développerons donc essentiellement la législation française.

C'est l'article 322 du code du sport modifié par l'arrêté du 5 Janvier 2012 qui régit la réglementation de la pratique de la plongée sous-marine.

B.1. Règles de mise à l'eau

En plus de la réglementation concernant l'espace d'évolution des plongeurs en fonction de leur niveau et des niveaux de formations requis par les enseignants, cet article comporte notamment une partie qui précise que chaque groupe de plongeurs doit notamment disposer :

- Du matériel de secours à avoir à disposition : matériel d'oxygénothérapie médicale normobare, ballon auto remplisseur à valve unidirectionnelle, masque a haute concentration, couvertures isothermiques, eau douce...
- D'un plan de secours qui est un document écrit adapté au lieu et au type de plongée effectuée, qui doit être porté à connaissance de tous les pratiquants précisant les modalités d'alerte en cas d'accident.
- Du matériel d'assistance nécessaire à un plongeur en cas d'impossibilité de terminer un palier de décompression : bouteille remplie à l'air avec son détendeur, et un moyen de prévenir les plongeurs en immersion.

Evidemment chaque plongeur est aussi équipé individuellement d'une bouteille avec système de mesure de pression, d'un détendeur avec deux sorties individuelles, d'un système de gonflage sous forme de gilet, d'un système permettant de contrôler la remontée, d'un masque et d'une paire de palmes.

B.2. Le certificat médical

Tout pratiquant sportif doit présenter, pour obtenir une licence, un certificat médical annuel de non contre-indication à la pratique sportive délivré par son médecin.

D'autre part, il ne faut pas oublier qu'en cas de non présentation de ce certificat, la licence n'est pas valable il y a un risque de ne pas être assuré en cas d'accident ou en cas de responsabilité civile engagée.

La loi concernant l'obligation du certificat médical figure dans le code de santé publique en application de l'arrêté du Ministère de la Jeunesse et des Sports, elle a subi en 2014 des mesures de simplifications.

En effet dans le cadre du projet de loi relatif à la modernisation de la santé, plusieurs mesures ont été mises en œuvre dont la simplification de la délivrance de ce certificat.

Depuis 2014, un certificat médical datant de moins d'un an est toujours nécessaire pour obtenir une licence, cependant, il ne devra plus être renouvelé chaque année mais tous les deux ou trois ans en fonction des antécédents du patient et du sport concerné. De plus le médecin pourra rédiger un certificat pour plusieurs disciplines.

Concernant la plongée, le certificat de non contre indication devra toujours être délivré chaque année car la pratique est considérée comme à risque, cependant, la Commission Médicale et de Prévention Nationale (CMPN) a pris à l'unanimité la décision d'alléger les obligations de visites médicales pour le passage des brevets de plongeurs.

Désormais pour le passage des Niveaux 1, 2 et 3 un certificat médical signé par un généraliste suffit, alors qu'il fallait auparavant s'en remettre à un médecin spécialisé (Fédéral, Hyperbare ou Médecin du Sport selon la qualification).

La délivrance du certificat par un Médecin spécialisé reste d'actualité pour les plongeurs diabétiques ainsi que pour de nombreuses autres pathologies.

Les brevets de plongée enfant et les passages de Guide de Palanquée, MF1 et MF2 restent également soumis à la présentation d'un certificat médical d'un médecin spécialisé.

Le médecin en charge de ce certificat pour la plongée doit au minimum pratiquer un examen clinique le plus complet possible, et insister sur l'examen ORL.

La FFESSM qui fait foi en matière de recommandation fournit une liste des contre indications temporaires et définitives (cf. annexe).

Concernant la réglementation à l'étranger, il est à noter que dans le modèle PADI le plongeur signe une décharge certifiant qu'il ne présente pas de contre indication à la pratique de la plongée sans présenter de certificat médical.

VI) HISTOIRE DU DIABETE ET DE LA PLONGEE SOUS-MARINE

A. Historique

Historiquement, le DIT est une contre indication absolue à la pratique de la plongée sous-marine.

Cette interdiction historique a été basée sur le principe selon lequel les hypoglycémies qui font parties de la vie du diabétique sous insuline et qui sont la plupart du temps gérées de façon simple dans la vie quotidienne peuvent devenir très graves en immersion avec le risque d'inhalation et de noyade.

Devant le constat que de nombreux diabétiques outrepassent et plongent sans avouer leur maladie, les organisations nationales et internationales n'ont eu de cesse de s'intéresser à la question du plongeur diabétique depuis les années 1980, période à laquelle l'intérêt pour la plongée de loisir a commencé à se répandre.

L'officialisation de la contre indication à la plongée pour les diabétiques fait notamment suite à une publication par la BSAC en 1982 faisant état de deux cas d'accidents médullaires chez des plongeurs diabétiques (45).

La description de ces deux cas ne fait pourtant pas évoquer le diabète comme cause de l'accident, avec notamment pour un des deux cas la présence d'un foramen ovale perméable probablement responsable d'une embolie paradoxale à l'origine de l'accident.

Dans les années 1990, le sujet reste controversé, certaines organisations autorisent la plongée aux diabétiques, et d'autres l'interdisent.

La BSAC autorise les plongeurs diabétiques en 1992 après réévaluation des données nécropsiques du corps du plongeur porteur du foramen ovale perméable (46).

Il y a également en 1995 la proposition du premier protocole de mise à l'eau (*Kruger*), qui ne rapporte aucun cas d'hypoglycémie parmi les plongeurs interrogés (47).

La première étude comparative en milieu naturel a été menée en 1995 par *Lerch*, qui compare les plongées de 7 diabétiques de type 1 avec 7 sujets sains et ne rapporte aucun épisode d'hypoglycémie (48).

Une des premières études marquantes en milieu naturel chez des plongeurs diabétiques a lieu dans les îles vierges avec les camps DAVI (Diabete Association of the Virgin Islands) en 1996 et rapporte très peu d'accidents hypoglycémiques (2 en 5 ans) (49).

Parallèlement à cet engouement, plusieurs écoles interdisent la plongée aux diabétiques.

La SPUMS contre indique la pratique en 1992, prétextant à un risque trop important d'hypoglycémie en immersion et de noyade en cas de perte de connaissance. L'interdiction sera confirmée en 2002 lors du congrès international de la SPUMS (50).

L'organisation PADI, fait signer une décharge à tous les plongeurs sous forme de questionnaire médical, un plongeur diabétique se verra interdire la sortie sans certificat médical.

En France subsiste une controverse. La FFESSM, contre indique depuis toujours la plongée aux diabétiques insulinotraités, cependant l'Association de Langue Française pour l'Etude du Diabète et des Maladies Métaboliques (ALFEDIAM) cite en 1998 dans des recommandations sur l'activité physique, la plongée comme cas particulier et indique qu'elle peut être pratiquée avec un certain nombre de règles (51).

B) Les études sur les risques liés à la pratique de la plongée

B.1. Les Etudes en milieu naturel

Après les études du camp DAVI en 1996 et celle de Lerch en 1995, beaucoup d'associations nationales et internationales se sont intéressées au plongeur diabétique.

➤ Aux U.S.A

-L'étude de DAN « Diabete and diving »

Une étude majeure dans le monde du diabète et de la plongée est celle de DAN, « Diabete and diving » qui a été menée de 1997 à 2000 (52).

Cette étude parue dans *Undersea & Hypermed* a pour objectif d'observer les effets de plongées de loisirs répétées sur les glycémies de diabétiques insulino-dépendant.

Les sujets participant à l'étude doivent avoir une HbA1c < 9%, aucune complication du diabète, aucun accident lié au diabète dans les 12 mois auparavant, un bon contrôle de la maladie.

Le groupe des plongeurs diabétiques est comparé à un groupe de plongeurs non diabétiques, qui font les mêmes plongées.

Toutes les plongées se déroulent en mer des Caraïbes.

Les glycémies capillaires sont vérifiées à 60, 30 et 10 minutes avant la plongée dans le groupe des diabétiques et à 10 minutes avant pour les plongeurs sains.

Pour les deux groupes la glycémie capillaire est prise immédiatement après la plongée.

Toutes les données de plongée ont été enregistrées, temps et profondeur, mais aussi efforts physiques et confort thermique (notés par le patient), et l'ingestion de glucides.

Plusieurs rapports intermédiaires ont été publiés, dont plusieurs délivrés lors de meetings scientifiques et cinq articles dans des revues scientifiques.

Au total 83 plongeurs ont participé, 40 diabétiques et 43 non diabétiques
Un total de 1059 plongées ont été monitorées, 555 de plongeurs diabétiques et 504 dans le groupe contrôle.

Lors de l'étude le groupe des diabétiques plonge depuis 9 ans en moyenne et ont le diabète depuis une moyenne de 15 ans. La moyenne des HbA1c est de 7.5%.

Les plongées ont une moyenne de profondeur de 19 mètres et le temps d'immersion de 41 minutes en moyenne.

Aucun symptôme ou complication liés à l'hypoglycémie n'a été rapporté.
Le glucose sanguin après la plongée est inférieur à 0.7g/L dans 7% des plongées chez les diabétiques contre 1% dans le groupe contrôle.

Les auteurs concluent que même si il existe des grandes variations dans le glucose sanguin après la plongée, les données indiquent que des adultes diabétiques avec un diabète correctement équilibré peuvent plonger en évitant les hypoglycémies en étant encadrés et avec des bonnes conditions de plongée.

Au vu de ces résultats, la branche assurance de DAN continue d'assurer les plongeurs diabétiques

-L'étude de DAN « Teenage, Novice Divers with Diabetes »

Une Etude observationnelle majeure est conduite chez les adolescents diabétiques (53).

Les données ont été collectées pendant un camp de plongée (Dream Big), organisé par le « Barton Center for Diabetes Education» qui se déroule dans les Iles Vierges.

Les critères d'inclusion sont les mêmes que ceux pour l'étude des adultes avec l'accord parental en plus.

Le protocole de monitoring des plongées est similaire également à celui des adultes, avec en plus la vérification des cétones urinaires avant chaque plongée. Les plongeurs qui ont une glycémie inférieure à 1.2g/L doivent prendre du glucose par voie orale.

Sept adolescents âgés de 16 à 17 ans avec un diabète de type 1 ont participé à l'étude, 4 garçons et 3 filles. La moyenne des HbA1c avant l'étude est de 7.3%.

Aucun groupe contrôle n'a été sélectionné puisqu'il s'agit d'une étude observationnelle, 42 plongées ont été enregistrées avec une moyenne de profondeur maximale de 17 mètres et une moyenne de temps en immersion de 44 minutes.

La glycémie est inférieure à 0.8 g/L dans deux cas, mais aucun symptôme ou complication liés à l'hypoglycémie n'ont été enregistrés.

Les auteurs concluent que l'étude, bien que ne concernant qu'un petit nombre d'adolescents, prouve que les adolescents diabétiques encadrés et pris en charge dans un programme adapté peuvent plonger dans des conditions de sécurité.

Pour finir, ils insistent sur l'éducation thérapeutique qui doit faire part entière de la prise en charge pour éviter les hypo ou hyperglycémies.

➤ *Au Royaume Uni*

Nous rappelons que les diabétiques peuvent plonger au sein de la BSAC depuis 1992, et elle fournit même des recommandations et des protocoles de mise à l'eau (46).

La BSAC a menée de 1991 à 2001 une vaste étude observationnelle dont l'objectif est d'observer les habitudes des plongeurs récréatifs diabétiques.

Elle examine également les glycémies auxquelles les plongeurs diabétiques et les plongeurs non diabétiques cessent de plonger et s'il existe des différences significatives entre eux.

Les données sont présentées à partir des 11 premières années de cette enquête (1991-2001) et publiées en 2003 (54).

A la fin de l'année 2001, 447 diabétiques ont remplis le formulaire de l'étude, ce qui correspond à 14000 plongées. Il s'agit de diabétiques de type 1 et 2, traités ou non par insuline.

Les résultats montrent que 82% des plongeurs mangent ou boivent avant la plongée, seulement 32% des plongeurs savent se resucrer en immersion (pâte de glucose) et seulement 59% des plongées ont été faites avec une personne sachant administrer du glucose ou du glucagon.

Deux accidents mortels sont rapportés non attribués au diabète, et un épisode d'hypoglycémie traité avec succès en immersion.

Cette étude inclus des sujets diabétiques insulino et non insulino-dépendants, il s'agit d'un questionnaire libre, les données ont été récoltées sur une longue période et l'étude ne comporte pas de groupe contrôle.

Malgré cela, les auteurs concluent que les diabétiques bien équilibrés, bien éduqués, et qui suivent les recommandations et protocoles de mises à l'eau ont des risques d'hypoglycémie faible mais non négligeable.

Mais que cependant ces risques peuvent être prévenus par une bonne surveillance glycémique, une adaptation des doses d'insuline et un resucrage en immersion avec des pâtes glucosées.

➤ *En Australie*

Des auteurs publient en 2002 une large étude observationnelle concernant 346 plongeurs, dont l'objectif est de déterminer la prévalence des plongeurs en activité malgré les contres indications (55).

En effet, en Australie un examen médical est nécessaire avant d'entreprendre son cursus de formation (passage des niveaux), et aucun autre examen n'est nécessaire. Beaucoup de plongeurs développent des contre indications au cours du temps.

Les résultats montrent que même si un seul plongeur est diabétique, 10% souffrent d'asthme et 24% de problème cardio vasculaire (HTA ou Insuffisance coronaire).

Cette étude a amenée la SPUMS à publier «Suggested assessment for divers with diabetes» en 2011 qui sont des recommandations sur les diabétiques en plongée, lors d'une conférence annuelle de la SPUMS à Cairns, en Australie (The SPUMS diving medical 2011).

➤ En France

La FFESSM qui a, nous le rappelons, la délégation du Ministère de la jeunesse et des sports, a toujours contre indiquée la plongée sous-marine aux diabétiques sous insuline et publie en 2003 une liste des contre indications absolues à la plongée avec dans la section métabolique «Le diabète, traité par insuline, acarbose, sulfamides ou non équilibré» (56 et Annexe 2), malgré l'étude du Dr L. Dufaitre et du Pr Vialettes qui font en 2000 des propositions pour permettre aux diabétiques insulino dépendant de plonger (58).

La politique de la Société Francophone de diabète (à l'époque l'ALFEDIAM) est par contre plus souple et considère que la plongée peut être réalisée dans sa variété de loisir à condition de respecter un certain nombre de règles (57).

Ces instructions pratiques sont définies à partir de données de la littérature (notamment les études de Edge en 1997 et Lerch en 1995) et de l'expérience de la plongée de médecins diabétologues et permettent de définir un cadre et de préciser les procédures de sécurité indispensables que doivent respecter le patient et son entourage pendant toute la période qui entoure la plongée.

Elles concernent les conditions d'aptitudes, le suivi diabétologique, les précautions au cours de la plongée et les conditions de la plongée elle-même.

En 2003, un travail scientifique majeur bouleverse les recommandations de la fédération en France.

Un groupe de diabétologues dirigé par le Dr B. Lormeau amène des diabétiques de type 1 plonger à Golfe Juan (Cote d'Azur) dans le but de faire changer les recommandations de la FFESSM (59).

L'étude concerne 15 diabétiques de type 1 sans complication, avec un bon équilibre métabolique et volontaires, effectuant des plongées du 29 Octobre au 1^{er} Novembre 2003.

L'âge moyen est de 40 ans, la durée moyenne d'évolution du diabète de 9 ans et la moyenne de l'HbA1C de 7.2%.

Les schémas d'insulinothérapie ont été adaptés au cas par cas par les diabétologues et plusieurs glycémies capillaires ont été réalisées avant et après chaque plongée.

Un séjour préalable a été réalisé à Marseille, dans des conditions équivalentes pour effectuer une auto surveillance glycémique et des protocoles de resucrage identiques à ceux de l'étude afin de définir la faisabilité du projet.

A cause des conditions climatiques difficiles, 100 plongées ont été réalisées au lieu de 120 prévues, et 700 glycémies capillaires ont été mesurées.

La moyenne des glycémies avant la mise à l'eau est de 2.04g/l, et de 1.64g/l au retour sur le bateau. Les doses d'insuline ont été diminuées en moyenne de 19.3%.

La mesure en Holter a été effectuée pour un patient, elle montre une stabilisation de la glycémie à 1.4g avant la plongée et peu de modifications au cours de la plongée.

L'absorption de 25g de glucides avant l'immersion de manière systématique protège dans 95% des cas d'une variation supérieure à 0.5g de glycémie.

Aucun symptôme d'hypoglycémie n'a été rapporté durant le séjour.

En conclusion les auteurs préconisent notamment une diminution de 30% de l'insuline basale la veille de la plongée et de l'insuline basale et des bolus le

jour même, et une déconnection de la pompe pendant toute la durée de l'immersion ainsi que l'absorption de 15g de glucides avant la mise a l'eau.

En 2004, lors de la réunion du comité national de la FFESSM, les experts diabétologues et les membres du comité proposent un changement de la réglementation au vu des résultats très positifs de l'étude.

Les discussions après proposition des protocoles de mise a l'eau et des modalités de rédaction des certificats de non contre indication, ont permises la rédaction par la FFESSM du document « proposition de non contre-indication à la plongée sous marine de loisir avec prérogatives restreintes pour les diabétiques traités par insuline ».

La mesure est définitivement adoptée le 17 Octobre 2004, date à partir de laquelle les diabétiques insulino-traités sont autorisés à plonger sous certaines restrictions et avec des protocoles bien précis. Nous exposerons la législation officielle dans le chapitre suivant.

Ces résultats positifs sont confirmés lors d'une seconde étude menée par la même équipe de diabétologues mais cette fois en mer chaude sur l'île de la Réunion (Saint Gilles) en 2005.

Une autre étude a marquée l'histoire de la plongée et du diabète de type 1, toujours menée par Dr B.Lormeau et son équipe, puisqu'elle a donnée l'accès à l'autonomie dans l'espace médian jusqu'à 20 mètres et à la plongée encadrée jusqu'à 40 mètres.

Cette étude (60) s'est déroulée en Septembre 2012 à Marseille ou cinq plongées ont été réalisées dans le but d'étudier les effets d'un mélange suroxygéné sur les plongeurs diabétiques, et de réévaluer les restrictions des protocoles de 2004 auprès de la FFESSM.

Cette étude concerne 15 diabétiques de type 1 divisés en deux groupes selon le niveau de plongée ,un groupe «confirmé» et un groupe «expert», qui effectuent 70 plongées au total, toutes avec du Nitrox.

Le protocole de mise à l'eau de la FFESSM a été appliqué, les glycémies avant et après ont été mesurées, 6 plongeurs sont équipés de la mesure en continue, et la baisse moyenne des taux d'insuline est de 27.6%.

Les résultats sont très positifs puisque aucun accident hypoglycémique n'a eu lieu et aucune plongée annulée en raison d'un problème de glycémie.

La moyenne des glycémies à la mise à l'eau est de 2.15g/L, et la moyenne des baisses de 0.4g/L avec seulement 31.4% des plongées qui entraînent une baisse supérieure à 0.5g/dL. La prise moyenne de glucides est de 18g par plongée pour chaque plongeur.

En conclusion de cette étude, le mélange Nitrox à 32% peut être utilisé en toute sécurité sans incidence supplémentaire sur le profil glycémique chez le plongeur diabétique de type 1 insulino-traité. L'intérêt du Nitrox chez le diabétique est de pouvoir rester plus longtemps dans la courbe de sécurité et pourrait ainsi être préféré à l'air.

A la lumière de ces résultats et constatations et de l'absence d'accidents de plongée impliquant des plongeurs DT1 recensés depuis la mise en place de la réglementation FFESSM de 2004, les restrictions actuelles ont été réévaluées avec pour les plongeurs diabétiques insulino-traités l'acquisition de l'autonomie dans l'espace de 0 à 20 mètres et la possibilité d'effectuer des plongées encadrées dans l'espace de 0 à 40 mètres depuis 2014.

➤ En Europe

Suède

En Europe, une étude nous a particulièrement intéressée (61).

Cette étude a évalué la précision et la fonction du système CGMS lors de la plongée sous-marine de loisir chez les diabétiques de type 1.

Vingt-quatre adultes, dont 12 avec diabète de type 1 et 12 témoins, ont été étudiés pendant cinq plongées effectuées sur trois jours consécutifs.

Tous les participants ont utilisés le CGMS tous les jours et pendant toutes les plongées. Des comparaisons ont été faites entre le glucose plasmatique à des

intervalles de temps spécifiques et le CGMS. L'enregistrement par le CGMS était robuste, avec peu de problèmes de capteur.

La durée moyenne de survie du capteur était > 48 h, et 85% des individus n'ont utilisés qu'un seul capteur pendant toute la durée de l'essai.

La différence absolue moyenne globale au sein du groupe diabétique était de 14,4mmol +/-6%.

Avec une limite fixée à 70 mg / dL, une hypoglycémie pré et post-plongée a été détectée.

Les auteurs concluent que le CGMS a été utilisé avec précision dans des conditions aussi difficiles que la plongée sous-marine et fournies des informations solides sur les variations de glucose.

Italie

Pour finir, une étude italienne est particulièrement intéressante puisqu'elle concerne des jeunes diabétiques adolescents.

L'étude publiée en 2009 (62) a pour but de vérifier si, après avoir reçu une formation spécifique, de jeunes diabétiques bien équilibrés, sans complications, peuvent plonger en sécurité, sans risques médicaux et métaboliques supplémentaires.

Elle a concerné 12 jeunes diabétiques de type 1, qui après un cours de plongée dont le programme était ciblé sur le diabète, ont pratiqué deux stages de cinq jours sur l'île de Ventotene (Italie) à raison de deux plongées par jour. La GC est mesurée, et des mesures de correction sont adoptées en cas de nécessité.

Un dispositif CGMS, a été également utilisé en immersion.

Les données de 90 plongées sont analysées et montrent des résultats plutôt positifs, la GC moyenne mesurée 60, 30 et dix minutes avant immersion est de 205, 200, et 200,5 mg/dL et après la plongée, la moyenne des GC est de 158 mg/dL.

Une plongée a dû être interrompue du fait de signes d'hypoglycémie. Les auteurs concluent que après une formation spécifique, et en appliquant rigoureusement un protocole de prévention et des contrôles répétés de la GC avant l'immersion, un jeune diabétique bien équilibré, indemne de complication, peut pratiquer avec un niveau de sécurité raisonnable la plongée avec scaphandre autonome. En particulier, chez ces patients les conditions spécifiques de la plongée ne semblent pas comporter d'augmentation significative du risque d'hypoglycémie.

B.2. Les Etudes en Caisson Hyperbare

➤ *Le risque hypoglycémique*

Plus récemment et même si les recommandations ont évoluées et permises aux diabétiques de plonger dans la plupart des pays, une étude a été publiée en 2015 (63) dans le but d'estimer l'incidence, les facteurs de risque et un seuil de glycémie avant les séances pour lutter contre l'hypoglycémie en conditions hyperbare.

Cette étude est intéressante car beaucoup de diabétiques pratiquent des séances de caissons hyperbares dans le cadre de la prise en charge de plaies chroniques liées aux neuropathies.

Les auteurs ont évalués rétrospectivement une cohorte de patients sous thérapie hyperbare en fonction de l'âge, du sexe, du type de diabète, de l'insuline, de l'indice de masse corporelle, du taux d'hémoglobine A1c et du temps de traitement en caisson.

Au cours de 77 mois, 3 136 séances de caisson ont été réalisées sur des patients diabétiques.

Le taux de glucose dans la chambre est plus élevé que le glucose avant la séance dans 1 708 séances (54%). L'incidence des hypoglycémies pendant ou immédiatement après le traitement hyperbare était très faible, de 1,5%.

En conclusion, chez les diabétiques de type 1 et 2 en conditions hyperbare, une hypoglycémie grave est rare et survient plus fréquemment dans le diabète de type 1. Les valeurs de glucose avant la séance peuvent être utilisées pour prédire l'hypoglycémie subséquente et réduire la nécessité d'une surveillance systématique du glucose pendant et après la séance.

Ces données bien que issues d'une étude en caisson et non en condition réelle de plongée nous montrent que les conditions physiologiques de pression et d'oxygène subies lors de la plongée ne sont pas génératrices d'un grand risque d'hypoglycémie.

Il faut noter que d'après une autre étude (64) publiée en 2013, la tendance à l'hypoglycémie lors des séances de caisson hyperbare n'est pas due à l'environnement hyperbare en lui-même.

Dans cette étude, les auteurs comparent les glycémies avant et après des séances de caissons hyperbares avec des séances similaires en condition normobare, chez 3 groupes de patients, des diabétiques (type 1 et 2), des traumatisés crâniens et des volontaires sains.

Ils montrent qu'il y a une diminution significative de la glycémie avant et après les deux types de séances, mais qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux types de caisson.

De plus, en prenant les 3 groupes séparément, le seul groupe qui montre une diminution significative de la glycémie est le groupe des diabétiques mais en situation normobare.

Cette étude prouve donc que les conditions présentes en caisson sont responsables d'un taux significatif d'hypoglycémie mais qu'elle ne sont vraisemblablement pas dues aux conditions hyperbare elles-mêmes.

➤ Les autres risques

La difficulté de plonger pour les diabétiques est essentiellement et historiquement liée au risque d'hypoglycémie, mais d'autres risques existent et sont depuis peu mis en évidence.

-Ophtalmologiques

Une étude (65) publiée en 2015 met en évidence le fait que l'oxygénothérapie hyperbare augmente la pression d'oxygène et donc la concentration d'espèces réactives d'oxygène dans le sang, qui peuvent contribuer aux complications de l'oxygénothérapie hyperbare, comme la cataracte.

En raison de sa forte consommation d'oxygène, la rétine est particulièrement sensible au stress oxydatif, qui joue un rôle majeur dans la rétinopathie, ainsi, les radicaux libres d'oxygène et les déficiences des activités antioxydantes contribuent aux processus pathogéniques comme le kératocône ou la dégénérescence maculaire et la cataracte.

Des auteurs se sont intéressés aux conséquences des complications chroniques du diabète sur la plongée.

Après avoir rencontré un cas de perforation tympanique indolore lors de la thérapie en caisson hyperbare d'un patient diabétique les auteurs ont émis l'hypothèse que la neuropathie périphérique pourrait être associée à un risque accru d'otite barotraumatique (OBT) asymptomatique après des séances en caisson.

Dans cette étude (66) publiée en 2014 les dossiers médicaux de tous les patients ayant pratiqués des séances de caisson au cours d'une période d'un an ont été examinés.

Les sujets ont été sélectionnés sur la base de la documentation otoscopique de l'OBT et divisés en deux groupes en fonction de la présence ou de l'absence de neuropathie périphérique des membres inférieurs.

Un total de 38 patients avec OBT sont inclus, 18 avec neuropathies périphériques et 20 sans, ont été identifiés.

Les résultats montrent que l'OBT asymptomatique est plus fréquente dans le groupe des neuropathiques (56% vs 5%) et de manière significative ($p < 0.001$).

C. Les réglementations

Suite au nombre grandissant de plongeurs en général et de plongeurs diabétiques qui plongent malgré les interdictions, un changement des mentalités et des réglementations s'opère à partir années 2000.

➤ En France

Les conditions précises liées à la plongée des diabétiques insulino-dépendants sont disponibles sur le site de la FFESSM, et le site de l'association Diabète et Plongée.

Concernant le certificat médical, comme expliqué précédemment, même si les lois ont changé pour la population générale, le plongeur DT1 doit être en possession d'un double certificat médical : un du diabétologue, et un du médecin fédéral ou hyperbare de moins d'un an.

Le certificat exige le respect des 7 contre indications suivantes :

- 1. Diabétique insulino-traité âgé d'au moins 18 ans.
- 2. Suivi diabétologique régulier (au moins 3 fois / an) depuis au moins un an par le même diabétologue. Une éducation diabétologique, notamment concernant la gestion de l'insulinothérapie et la prévention de l'hypoglycémie en cas d'activité sportive a été dispensée.
- 3. HbA1c < 8,5%
- 4. Auto surveillance glycémique régulière (au moins 4 fois / jour).
- 5. Aucune hypoglycémie sévère ni acidocétose dans l'année précédant la délivrance du certificat.
- 6. Seuil de perception correct des hypoglycémies (> 0,50 g/l soit 2,75 mmol/l). Le patient doit savoir reconnaître une hypoglycémie et y réagir seul.
- 7. Absence de retentissement macroangiopathique ou microangiopathique ou de neuropathie périphérique patente.

Celui-ci peut effectuer les plongées loisirs dans le respect de ses prérogatives restreintes soit 20 mètres en autonomie (PA20) et 40 mètres en encadré (PE40) et des prérogatives techniques :

- 1. Plongées encadrées par un E2 au minimum en milieu naturel, un E1 au minimum en milieu artificiel.
- 2. Plongées dans la courbe de sécurité.
- 3. Durée de la plongée limitée à 30 minutes.

4. La palanquée ne peut comprendre plus d'un plongeur diabétique insulino-dépendant, et cela quel que soit son niveau.

5. Interdiction de plonger : si température de l'eau inférieure à 14°C, s'il existe des conditions gênant la mise en pratique du protocole de mise à l'eau (bateaux peu stables par exemple), si le retour vers le bateau est difficile (courant, vagues, turbidité de l'eau, brume, nuit, etc....).

Enfin il est précisé que aucune qualification pour l'encadrement de ces plongeurs n'est nécessaire, il est du devoir des diabétiques d'informer des contraintes de ce type de plongée.

Il est par contre conseillé aux encadrants et aux directeurs de plongées de consulter les informations relatives à la pratique de plongée chez le diabétique en se connectant sur le site de la FFESSM.

➤ *En Europe*

La fédération Belge, la Ligue Francophone de Recherche et d'Activités Sous-marine (LIFRAS), contre indique le diabète à la plongée sous-marine, insulino-traité ou non, de type 1 ou 2.

La fédération suisse se base sur les recommandations de DAN et autorise les plongeurs diabétiques insulino-dépendant à plonger avec les mêmes conditions.

Aussi, l'Allemagne et l'Autriche, tout comme la Suisse, autorisent les diabétiques à plonger depuis plus longtemps que la France, avec notamment la présentation des recommandations lors des journées Hyperbare à Genève en 2003.

➤ Dans le monde

Nous rappelons qu'avec l'école PADI, légalement le plongeur est responsable et qu'avant la plongée il devra signer une décharge.

Une visite médicale n'est nécessaire que si le plongeur avoue sa maladie. Et dans ce cas la plupart du temps le médecin refusera de lui rédiger le certificat.

Mais ça n'a pas empêché DAN de produire notamment en 2005 des guides de bonnes pratiques à l'intention des plongeurs diabétiques pour les aider le cas échéant.

Il s'agit de la réunion la plus importante sur le sujet depuis les années 2000 à l'échelle mondiale :

La conférence de DAN et UHMS en 2005

«Diabetes and recreational diving : guidelines for the future» est une conférence mondiale organisée par DAN et UHMS en 2005 à Las Vegas (67). Il s'agit d'un travail concernant les problématiques liées au diabète et à la plongée de loisir, réunissant de nombreux acteurs de la communauté internationale de la plongée et experts scientifiques du diabète. Il s'agit de 50 intervenants américains, anglais ou nouveaux zélandais.

Les opinions divergentes ont augmentées au cours des 20 dernières années aux Etats Unis et les autorités compétentes, reconnaissant qu'un nombre substantiel de plongeurs plongent avec succès avec leur diabète ont pensées nécessaire de reconnaître ce fait et de réexaminer la position concernant le diabète et la plongée.

Les objectifs sont de passer en revue les données existantes et de mettre en place des lignes de conduites et des protocoles sur les diabétiques en plongée.

Les lignes de conduites sont divisées en trois parties:

- Sélection et surveillance des plongeurs diabétiques.
- Paramètres de la plongée.
- Gestion de la prise de glucose le jour de la plongée.

Le texte modifié et une transcription éditée de la discussion ont ensuite été distribués aux participants par voie électronique. Chacun a été invité à faire des commentaires. Les changements ont été diffusés pour stimuler la discussion électronique.

La pratique de la plongée de loisir pour les diabétiques de type 1 est maintenant guidée par des recommandations officielles de DAN, qui ne sont que des recommandations et ne font pas office de loi contrairement aux recommandations de la FFESSM.

D. Conclusion

Nous avons vu que la pratique de la plongée concerne de plus en plus de monde, y compris chez les sujets diabétiques.

Cet engouement a posé depuis les années 1990 des problèmes éthiques et sécuritaires aux organisations Françaises et Internationales et a amené bon nombres d'équipes à s'intéresser à la question en publiant des études et recommandations.

La majorité des plongées mondiales étant régies par le système PADI, le plongeur diabétique se verra dans la plus grande majorité des cas interdire la plongée sans un certificat médical qui ne lui sera la plupart du temps pas délivré.

En France, la réglementation étant entre les mains de la fédération ,elle a beaucoup évoluée dans les années 2000, avec l'autorisation depuis 2004 et la

mise en place d'un protocole de mise a l'eau , puis l'accès a l'autonomie en 2012.

Cependant, le diabète de type 1 est une maladie qui touche un nombre élevé d'enfant et d'adolescent, et le certificat médical du diabétologue et du médecin fédéral ne pourra être délivré à un diabétique d'age inférieur à 18 ans en 2016.

VII) LES JEUNES DIABETIQUES PLONGENT À MAYOTTE

A. MATERIEL ET METHODES

A.1. GENERALITES

Les enfants sont adressés par leur endocrino-pédiatre traitant et restent pour leur suivi diabétologique avec leur médecin pendant toute la durée du projet (sauf pour deux patients ayant profités de cette étude pour transférer leur suivi de pédiatrie au suivi adulte). Ils sont tous volontaires pour participer à l'étude.

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Diabète type 1
- Né(e) entre octobre 1998 et octobre 2002
- Consentement éclairé et autorisation parentale
- Certificat diabétologique de non contre indication à la plongée
- Certificat médical final de non contre indication par médecin fédéral FFESSM
- Accepter de suivre les recommandations de mise à l'eau proposées par la FFESSM et, en particulier pratiquer une autosurveillance glycémique
- Accepter les modalités liées à l'aspect scientifique : mesures répétées des glycémies capillaires, holters glycémiques, relevés des repas, questionnaires de qualité de vie.
- Validation et confirmation du niveau 1 avec 2 plongées en mer avec les organisateurs à Marseille (pour les jeunes métropolitains) (juillet 2016)
- Titulaire du niveau 1 de plongée en octobre 2016

Les critères d'exclusion sont définis comme l'âge <14 ans ou >18 ans en octobre 2016, et avoir une contre indication à la plongée sous marine (asthme, épilepsie, cardiopathies, pathologies ORL, troubles mentaux...)

A.2. MODALITES DE FORMATION

De janvier à octobre 2016, chaque participant doit assurer sa propre formation afin d'obtenir en 1 an, le diplôme FFESSM niveau 1 de plongée. Pour cela : inscription à un club de plongée FFESSM et licence FFESSM obligatoire pour l'assurance dans le cadre du projet. Les modalités de formation peuvent être différentes selon l'endroit d'habitation : en piscine ou en mer sous la responsabilité des organisateurs avec application du protocole de mise à l'eau en vigueur chez l'adulte.

Le niveau 1 est définitivement validé par 2 plongées en mer Méditerranée (Marseille, les Goudes) pour les métropolitains. Les inclusions définitives pour l'étude de Mayotte ont été faites à l'issue de ces deux plongées.

A.3. DESCRIPTION DE L'ETUDE

L'étude se déroule à Mayotte du 27 octobre au 3 novembre 2016. Sont prévues cinq plongées à raison d'une plongée par jour. Les plongées se déroulent dans l'espace médian en suivant les recommandations de mise à l'eau et de resucrage de la FFESSM (définies et validées pour les adultes type 1) ; des déviations à ce protocole pourront être faites sur décision des médecins organisateurs. Des mesures de glycémie capillaire (GC) sont effectuées avant (trois) et après (une) chaque plongée et avant chaque repas. Chaque patient sera équipé de son lecteur de glycémie (au choix le sien ou le lecteur *Abbott*) et d'un capteur de mesure en continu du glucose (FSL) en place pendant la durée du séjour.

- L'encadrement :

- Médical : 3 médecins endocrinologues diabétologues + 2 infirmières (IDE) : une Métropolitaine et une Mahoraise.
- Non médical : 3 membres de l'association « diabète et plongée » qui sont des diabétiques plongeurs + 4 animateurs brevetés.

- La surveillance glycémique

- En dehors des sorties plongées : matin, midi et soir, chaque jeune effectue une GC et un FSL ; les valeurs étaient recueillies systématiquement pour chacun d'entre eux par l'équipe médicale lors d'un court entretien individuel en face à face. Cet échange permettait également de discuter et d'adapter les doses d'insuline en fonction des résultats antérieurs, de l'alimentation et des activités prévues.
- Pendant les sorties plongées : le protocole de mise à l'eau s'est basé sur celui en vigueur chez l'adulte : objectif glycémique avant mise à l'eau >2gr/L.

3 GC + FSL sont effectuées à T-60-T-30 et T-5 minutes avant les plongées; l'analyse des données sur le bateau par l'équipe médicale entraîne la prise ou non de glucides qui est quantifiée puis le feu vert ou non pour la mise à l'eau.

Après les plongées, 1 GC + FSL sont effectuées à la sortie de l'eau.

- L'adaptation des doses d'insuline :

Pendant tout le séjour et avant les plongées, l'adaptation est individualisée pour chaque jeune en tenant compte de leurs traitements, de leurs comportements et de leurs habitudes alimentaires.

- L'alimentation :

Les repas sont élaborés par une diététicienne (*Rediabylang*) en tenant compte des spécificités de certains jeunes (5 Halals, 1 végétarienne, 1 pauvre en gluten).

- Le questionnaire de qualité de vie :

Il s'agit du questionnaire VSP-A : Vécu et Santé Perçue de l'Adolescent ; questionnaire de qualité de vie de l'adolescent. Il a été rempli à l'inclusion, à la fin du séjour à Mayotte et à 6 mois du retour.

- Le programme :

- Les plongées : 5 plongées (1 plongée par jour pendant 5 jours) sont réalisées dans l'espace médian (12 à 20 mètres) dans la « passe en S » à Mayotte par les 16 jeunes inclus.

Logistique : les jeunes sont répartis sur 2 bateaux avec répartitions des médecins et de l'infirmière ; une IDE est restée en sécurité sur chaque bateau pendant les plongées.

- En dehors des plongées : un programme élaboré par l'association Wema Watrou comportait : des sorties (jardin botanique, 3 sorties plage avec palmes-masque-tuba (PMT), des soirées avec une soirée débat organisée par *Rediabylang* sur les thèmes : diabète et fêtes – diabète et drogue – diabète et premiers amours.

- Le matériel :

- Mesure en continue du glucose avec le système Free style libre® (Abbott) (FSL)
- Relevé de la glycémie capillaire avec bandelettes *optium medisense*
- Relevé de la cétonémie avec bandelettes cétone *optium freestyle*
- Bouteilles de plongée : air – 12 litres acier
- Plongées avec des combinaisons humides 3mm.
- Sont fournis : 1 lecteur de glycémie, 100 bandelettes et 3 capteurs de mesure en continue du glucose (FSL) par participant.

L'apprentissage du système FSL se fait durant une période d'essai de 14 jours pendant la phase de formation. La pose du capteur se fait au début de l'étude à Mayotte. Les capteurs sont maintenus à l'aide d'une bande « *K Taping*® » ou d'un pansement « *TEGADERM + PAD*® ».

- Statistique :

La comparaison est faite avec le test T de Student apparié, adapté pour comparer les moyennes de mesures quantitatives de petits échantillons dépendants.

A.4. CRITERES D'EVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SUR LA MALADIE DIABETIQUE

- A court terme :

- Evolution des glycémies avant pendant et après les plongées, et nombre d'hypoglycémies.

- Prise de glucides et adaptation des doses d'insuline, individualisées pour chaque adolescent.

A moyen terme :

- Dosage HbA1c à l'inclusion, en juillet 2016, en octobre 2016 et après l'étude à trois et six mois.
- Questionnaire de qualité de vie (VSP-A) : à l'inclusion, à la fin du séjour, et à 6 mois du retour.

B. RESULTATS

La formation au niveau 1 a eu lieu à proximité du domicile, en piscine (une dizaine de séances) pour 8 jeunes et en mer (4 à 7 plongées) pour les 8 autres. Tous les jeunes suivaient le protocole de mise à l'eau en vigueur chez l'adulte. Aucun malaise ni aucune hypoglycémie sous l'eau n'ont été notés. Aucune plongée de formation n'a été annulée pour raisons médicales.

B.1. A L'INCLUSION

- Effectif et caractéristiques de la population :

Au total, 17 jeunes Métropolitains (« métros ») et 9 jeunes Mahorais ont été inclus entre octobre 2015 et mars 2016.

Concernant les « métros », un jeune a abandonné en cours de formation niveau 1 ; un jeune n'a pas validé ses plongées (peur de plonger). Ainsi, 15 jeunes sont partis à Mayotte.

A Mayotte, 9 jeunes ont été pressentis mais 6 avaient une contre indication à la plongée ou une situation de précarité ou des interdits culturels ou ne savaient pas nager et seulement 3 ont pu suivre une formation niveau 1. Au final, un seul a pu effectuer les plongées dans l'espace médian.

Au total, 16 jeunes sont inclus, dont les caractéristiques sont définies :

- 5 filles – 11 garçons
- Diabétiques type 1
- Age : $M= 15.6 \pm 1.01$ (14-17.5) ans
- Poids : 64.2 ± 11.51 (51-100) kg
- Taille : 167.2 ± 8.56 (155-183) cm
- Durée diabète : 6.3 ± 3.89 (1-14) ans
- HbA1c inclusion : 8.99 ± 1.13 (7.7-11.9) %
- Dose journalière d'insuline : 64.9 ± 18.62 (38-95) UI

- Traitement :

Neuf sont traités par pompe à insuline et sept par multi injections (schéma basal bolus) (une jeune « métró » avait un schéma à 2 injections quotidiennes et est passée à un schéma basal bolus un mois avant le départ à Mayotte).

Un seul jeune, 15 ans, inclus avec un diabète bien équilibré (HbA1c= 7.9% puis 7% puis 6.5%) très récent (1 an), possède déjà le niveau 1 de plongée à l'inclusion.

- Questionnaire de qualité de vie en sous catégorie :

- Bien être psychologique : 64 ± 23.25 (0-100)
- Energie et vitalité : 28 ± 4.6 (0-100)
- Amis : 19 ± 5.52 (0-100)
- Parents : 20 ± 8.55 (0-100)
- Loisirs : 26 ± 4.31 (0-100)
- Ecole : 71 ± 7.26 (0-100)

B.2. A MARSEILLE (JUILLET 2016)

A Marseille, 14 « métros » sont présents en juillet 2016. Un jeune est absent en raison d'une fracture du pied survenue quelques semaines avant. Deux plongées ont été effectuées dans une seule journée.

Deux jeunes n'ont pas fait la plongée de l'après midi (fatigue) et 2 jeunes ont abrégés la plongée de l'après midi (crampes).

Les plongées sont faites dans l'espace médian (12 à 20 mètres) et durent 35 minutes. Les doses d'insuline ont été diminuées de 28.5% en moyenne (27.4% de basale et 29.7% de bolus). La glycémie moyenne à la mise à l'eau est de 3.35 ± 1.28 gr/L et diminue à 2.70 ± 0.89 gr/L à la sortie de l'eau. La prise de glucides sur le bateau avant les plongées ne concerne que 4 jeunes qui ont absorbés 20 à 60 gr de glucides.

Entre l'inclusion et Marseille (4 à 10 mois), seulement 3 sur 15 ont améliorés leur HbA1c.

La moyenne des HbA1c est passée de $8.99 \pm 1.13\%$ à $9.33 \pm 1.56\%$ ($p=0.55$).

B.3. ENTRE MARSEILLE ET MAYOTTE (3 MOIS)

Sur 16 adolescents, 7 ont améliorés leur HbA1c : la moyenne des baisses est de $0.57 \pm 0.32\%$. La moyenne des HbA1c a diminuée de $9.33 \pm 1.56\%$ à $8.76 \pm 1.88\%$ ($p=0.40$).

On notera l'amélioration importante (7.9% à 6.5%) du seul jeune, DT1 récent, qui avait déjà le N1 avant l'inclusion et la dégradation importante (8.9% à 12.7%) du jeune qui posera par la suite des problèmes de comportement et devra être exclu de l'étude.

B.4. A MAYOTTE (7 JOURS)

- Nombre de plongées effectuées :

Six plongées sont initialement prévues. Une plongée a due être annulée en raison d'une arrivée tardive à Mayotte (vol aller annulé et reporté 24 heures après). Cinq plongées (1 plongée par jour pendant 5 jours) sont programmées pour les 16 jeunes inclus. Six plongées n'ont pas été effectuées sur instructions des organisateurs :

- 3 pour troubles du comportement chez un jeune
- 1 pour cétose
- 1 pour glycémie trop basse
- 1 pour crampes

Au total, 74 plongées ont été effectuées dans l'espace médian. Les plongées se sont parfaitement déroulées ; aucun accident barotraumatique (type otite) n'a été à déplorer chez ces jeunes plongeurs.

La durée moyenne des plongées est de 47.8 minutes (40 -58).

- Gestion du matériel du diabète et du traitement :

Chaque jeune est responsable de son traitement, de son matériel, avec l'aide bienveillante des organisateurs. Neuf jeunes disposent d'une pompe sous cutanée. Nous avons préféré enlever ce dispositif à deux d'entre eux (à J2 et J3) et switcher avec un schéma basal bolus (*LANTUS® – NOVORAPID®*).

La raison est une incapacité à gérer leur pompe dans ce contexte d'activité de plongée. Nous avons observé chez ces deux jeunes des longues périodes d'interruption de la pompe, des cétooses, des bolus et des corrections intempestives, des cathéters arrachés. Nous avons repris la main sur l'administration d'insuline avec les injections sous cutanées. Ces deux jeunes font l'objet d'une discussion.

Pendant le séjour, nous avons noté chez les 16 jeunes :

- 5 cathéters de pompe arrachés
- 4 capteurs FSL arrachés
- 2 capteurs FSL hors service (HS) temporairement à cause de la chaleur (exposition du capteur au soleil sur le bateau)
- 1 lecteur *free style* noyé
- 27 hypoglycémies (<0.7 gr/L) bénignes
- 64 hyperglycémies (> 3 gr/L)
- 3 cétooses (cétonémie >0.6 mmol/L)

- Evolution des glycémies avant, pendant et après les plongées :

➤ Hypoglycémies

Aucune hypoglycémie n'a eu lieu en immersion. Une plongée a été raccourcie de 10 minutes en raison d'une sensation évocatrice d'hypoglycémie (glycémie réelle à la sortie de l'eau : 3.02 gr/L).

Trois hypoglycémies avec resucrage ont eu lieu après la plongée. Il s'agit de trois jeunes différents lors de la plongée n°4 :

- Un des jeunes avec une hypoglycémie à la sortie de la plongée n°4 a aussi une glycémie inférieure à 1g/L à la sortie de la plongée n°3 : 0.76 gr/L avec une glycémie à 2.16 gr/L avant la mise à l'eau (FSL à 2.48 gr/L). Il récidive à la plongée n°4 à 0.5gr/L avec une glycémie à la mise à l'eau de 2.01gr/L (FSL à 2.31 gr/L).

Ce qui est notable c'est que ces événements ne sont pas en rapport avec l'insulinothérapie puisque cet adolescent a reçu moins d'insuline que la moyenne de tous les jeunes en basale et en bolus : 18UI de basale pour la plongée n°3 pour une moyenne des jeunes à 22UI, et 24UI de bolus pour une moyenne des jeunes à 33UI. De même à la plongée n°4 avec 16UI de basale pour une moyenne des jeunes à 22UI et 22UI de bolus pour une moyenne à 28UI. Il n'a reçu que 20g de glucides, à la plongée n°4, 5 min avant la mise à l'eau pour une GC à 2.01g/L.

Ces chiffres nous font évoquer deux explications, l'éventuelle prise de bolus d'insuline non déclarés, ou un métabolisme moins prévisible que les adultes avec une variabilité inter individuelle plus importante. Notons aussi que deux autres jeunes avec des glycémies plus basses avant cette plongée, sont ressortis de l'eau avec des glycémies supérieures à 1gr/L.

Le deuxième jeune qui fait une hypoglycémie à la sortie de l'eau (0.49 gr/L), également lors de la plongée n°4, a une GC limite lors de la mise à l'eau, 2gr/L avec un FSL à 2.36gr/L. Il a reçu 20g de glucides 60 min avant la mise à l'eau pour une GC à 1.36gr/L. Il fait partie des éléments qui nous emmène à rediscuter les objectifs glycémique de mise à l'eau.

Enfin le troisième jeune est mentionné dans la discussion sur l'intérêt du FSL, puisque sa mise à l'eau a été autorisée avec 1.07gr/L mais avec une flèche très ascendante sur le FSL. Il a reçu 60gr de glucides, respectivement 30gr, 20gr puis 10gr à 60, 30 et 5 min avant la mise à l'eau pour des GC de 1.03gr/L, 1.07gr/L et 1.07gr/L. A la sortie sa glycémie est de 0.43 gr/L.

➤ Glycémies <1gr/L

Huit plongées finissent avec une GC <1gr/L, une pendant la plongée n°2 (0.8gr/L), deux pendant la plongée n°3 (0.76gr/L et 0.94gr/L), quatre pendant la plongée n°4 (0.43gr/L, 0.50gr/L, 0.96gr/L, et 0.49gr/L) et une après la plongée n°5 (0.88gr/L).

Malgré cela, la plongée n°4 n'est pas la plongée ou la variation glycémique est la plus importante (0.88gr/L de variation moyenne contre 0.89gr/L pour la plongée n°2). Nous pouvons expliquer ce nombre important de GC<1gr/L après la plongée n°4 d'une part parce qu'elle faisait partie des plongées les plus physiques (courant et température de l'eau, trajet à effectuer) et d'autre part parce que par rapport à la plongée n°2, les glycémies de départ sont moindre (GC de moyenne 2.67gr/L pour la plongée n°4 contre 3.13gr/L pour la plongée n°2).

Analyse des plongées avec une sortie de l'eau inférieure à 1 gr/L :

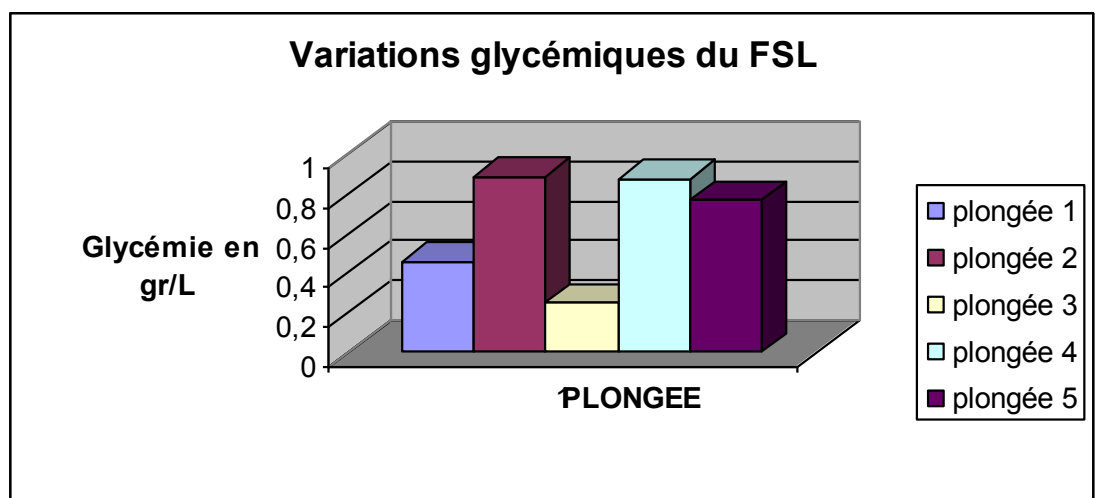
- Huit plongées ont une GC inférieure à 1gr/L (5 entre 0.6 et 1 gr/L et 3 entre 0.4 et 0.6 gr/L).
- Concerne 5 jeunes (2 jeunes totalisant 4 plongées avec sortie < 1gr/L).

- Concerne la plongée n°4 pour 4 jeunes, la plongée n°3 pour 2 jeunes, et les plongées n°2 et n°5 pour 1 jeune chacune.
- Prise de glucides avant : 3 plongées.
- Flèche de tendance : stable : 4 fois ; pas indiquée : 1 fois ; très ascendante : 1 fois ; très descendante : 2 fois.
- Sur ces 8 plongées, on note que toutes les glycémies avant la mise à l'eau sont inférieures à la moyenne des glycémies de l'ensemble des jeunes, mais que cependant il y a, pour chacune d'entre elle, des jeunes avec des glycémies inférieures qui sortent de l'eau avec des glycémies supérieures à 1gr/L.

➤ Variations glycémiques

La glycémie moyenne de mise à l'eau sur l'ensemble des plongées était de 2.83 gr/L.

Les variations glycémiques pendant les plongées (caractérisées par la soustraction de la glycémie avant la plongée à T-5 min et après la plongée à la sortie de l'eau) sont résumées dans le graphique suivant; la variation moyenne est de 0.75 ± 0.76 gr/L.



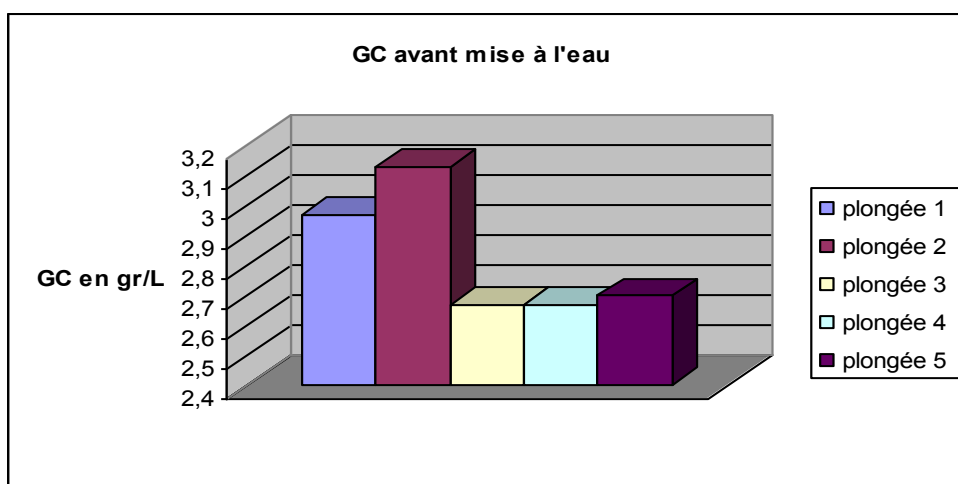
Nous notons que les variations glycémiques les plus importantes sont enregistrées pendant les plongées n°2 et n°4. L'explication principale est liée au type de plongée, qui sont plus physiques et demandent plus d'effort.

➤ Glycémies lors de la mise à l'eau

Les glycémies avant mise à l'eau supérieures à 3gr/L sont plus nombreuses pour les deux premières plongées que pour les trois autres. En effet, les valeurs de GC>3gr/L sont de 8 avant les plongées n°1 et n°2, de 5 pour plongées n°3 et n°5 et de 4 pour la plongée n°4.

De même, les glycémies avant la mise à l'eau sont plus basses pour les plongées n°3-4-5 que pour les deux premières : la moyenne des GC avant mise à l'eau est de 3.05gr/L pour les deux premières plongées et de 2.68gr/L pour les trois autres. Nous retrouvons cette différence avec les données en FSL, preuve qu'elle n'est pas liée à l'hémodilution aux doigts mouillés, avec une moyenne de 3.33gr/L pour les plongées n°1-2 contre 3.0gr/L pour les plongées n°3-4-5 (p=0.22).

Ceci s'explique par le fait que le cadre médico-éducatif offert aux jeunes leur a permis de baisser leurs glycémies au fil du séjour, et cette baisse a été plus rapide que la baisse des doses d'insuline, avec comme résultat une baisse des GC et des FSL avant mise à l'eau et une augmentation des prises de glucides.



➤ Hyperglycémies

Au total, nous avons relevé 64 Hyperglycémies, dont 16 fois > 3gr/L.

La cétonémie est mesurée systématiquement si la glycémie est supérieure à 3gr/L.

Des valeurs entre 0.2 et 0.5 mmol/L ont été relevés 13 fois, 0.6 mmol une fois, 1.4 mmol une fois et 2.1 mmol une fois. La valeur 2.1 mmol a entraînée l'annulation de la plongée pour le jeune concerné. La valeur à 1.4 mmol s'est négativée 45 minutes plus tard et le jeune a eu l'autorisation de mise à l'eau.

- Prises de Glucides :

Ont été utilisés : soda sucré, jus de fruits, barres chocolatées, barres céréales, fruits secs. Au total, 59 plongées sur 74 ont été effectuées sans prise de glucides préalable. Sur les 15 plongées qui ont nécessité une prise de glucides (34 gr/ plongée en moyenne), huit concernent deux jeunes. Pour autant, la prise de glucides en dehors des repas et des resucrages comptabilisés sur le bateau ne peut être quantifiée et est certainement majeure.

Globalement, la prise de glucides est plus importante pour les plongées n°3-4-5 que pour les deux premières plongées : moyenne de 8.63gr contre 3.84gr, ce

qui est facilement corrélé avec la baisse des GC et FSL avant la mise à l'eau au fil du séjour.

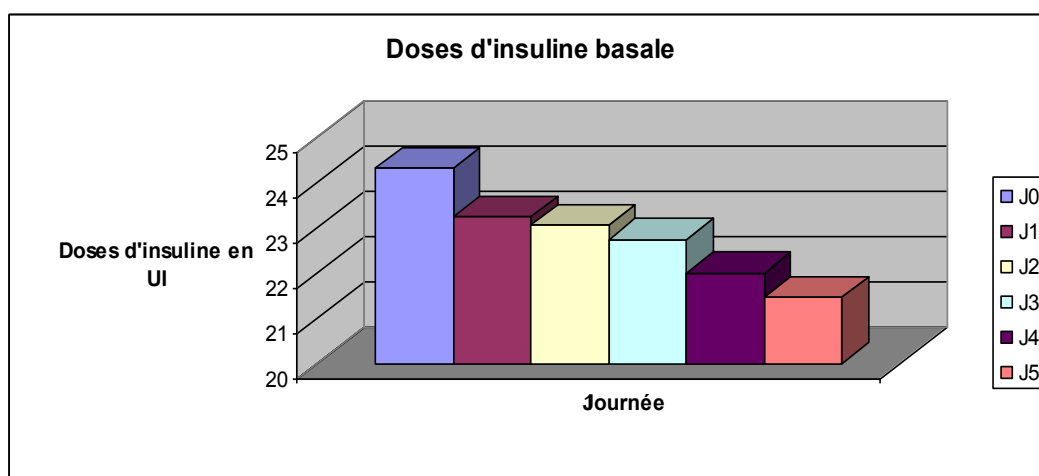
- Doses d'insuline :

A J0, les doses moyennes d'insuline (basale + bolus) sont un peu moindres que celles administrées à Marseille (58.9 ± 17.3 vs 64.9 ± 18.6 UI).

Les doses ont diminuées en moyenne de 13.2% entre J0 et J5 ; 4 jeunes ont cependant augmentés les doses entre J0 et J5. Parmi ces jeunes, nous n'identifions pas plus d'événements intercurrents négatifs que pour les autres jeunes, sauf pour un jeune, qui ressort lors des plongées n°3-4-5 avec des GC post plongée <1 gr/L (respectivement 0.94gr/L, 0.49r/L et 0.88gr/L).

L'insuline basale est diminuée de 4.4% entre J0 et J1 puis de 7.7% entre J1 J5, elle a été insuffisante 7 fois. Ces résultats sont à interpréter avec réserve car ils reposent sur les déclarations d'injections pour les jeunes sous multi injections (les doses administrées sous pompe ont été contrôlées dans l'historique des pompes mais des doses au stylo ont pu être réalisées également pour des prises alimentaires non déclarées). La baisse de l'insuline avant les plongées est en moyenne de 6.8%.

Ci-dessous le graphique représentant les moyennes des doses d'insuline basales en UI selon les journées :



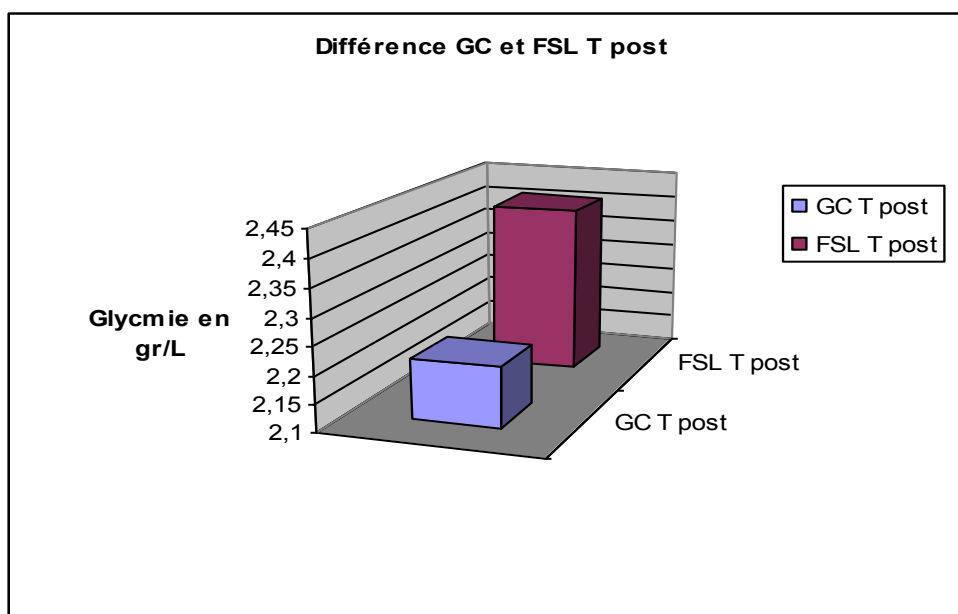
- Capteurs FSL

Les valeurs du FSL ont été relevées dans tous les cas matin, midi et soir avant les repas et aux quatre temps entourant les plongées (donc $(16 \times 3 \times 7) + (16 \times 4 \times 5) - 6 = 650$ mesures). Les flèches de tendance ont été systématiquement notées ; elles n'apparaissent pas dans 58 cas (8.9%).

➤ Périodes entourant les plongées

La variation moyenne entre la GC et le FSL est de 0.33 gr/L (0.07-0.49). Cette variation moyenne va la plupart du temps dans le même sens (valeurs FSL > GC) et est accentuée (0.46gr/L) après la plongée. Dans le détail, FSL est inférieur à GC seulement 21 fois sur 74 à T-60, 10 fois à T-30, 12 fois à T-5 et 5 fois à T+ plongée. La raison est une sous estimation de la GC après plongée liée à une pulpe de doigt humide et fragilisée par l'exposition prolongée à l'eau. La concordance entre la GC et les valeurs du FSL est mesurée à 59%.

Ci-dessous le graphique représentant la différence entre les GC et le FSL en post plongée :



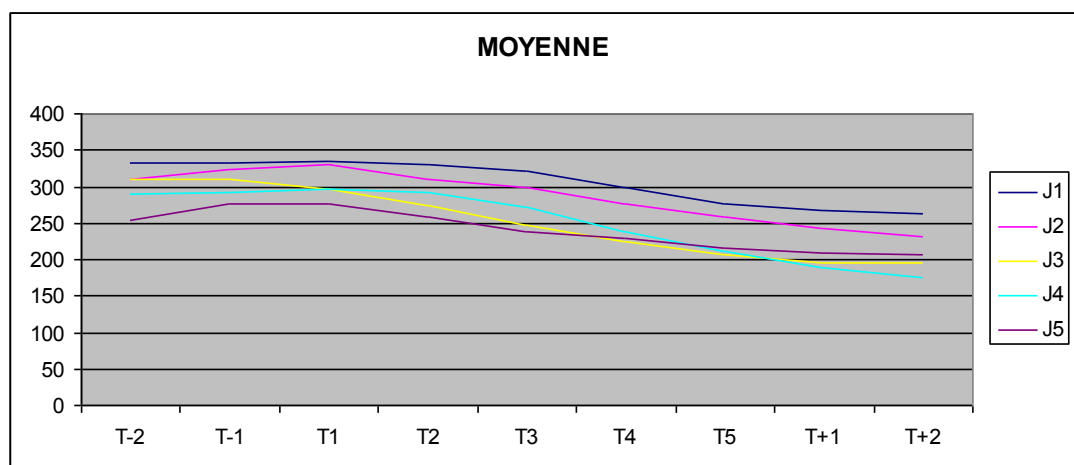
Sur les 296 (74x4) flèches de tendance enregistrées, on note près d'une fois sur deux, soit une stabilité (29.4%), soit l'absence de tendance (16.9%). On note une ascension modérée (13.2%), importante (15.5%), une baisse modérée (11.5%), importante (8.1%), valeur HI (5.4%).

Les flèches de tendance confortent l'attitude des organisateurs quant au traitement et à la prise de glucides. Elle a permis une fois l'autorisation de mise à l'eau avec une GC à 1.07 et 6 fois une autorisation avec une GC entre 1.2 et 1.5gr/L.

Une valeur discordante entre GC 1.30 et FSL 2.76 a conclu à une GC faussée (diluée) et une attitude prenant en compte le FSL (pas de resucrage). La GC de ce jeune après la plongée était de 0.94 gr/L. Ces résultats nous confortent dans la fiabilité du système en condition de plongée.

➤ Pendant les plongées :

Nous avons extrait les 5 valeurs mesurées toutes les 15 minutes pendant la durée de la plongée. Celles-ci sont cohérentes avec une décroissance stable et prévisible même en fin de plongée.



➤ En dehors des plongées

L'analyse du FSL montre dans les périodes entourant les plongées la fréquence des hypoglycémies nocturnes, témoignant d'une surinsulinisation.

Les variations observées pour les mesures FSL effectuées en dehors du bateau, matin, midi et soir avant les repas sont différentes puisque qu'aux 3 repas, les valeurs FSL sont en moyenne inférieures aux GC.

Au total, 308 flèches de tendances ont été enregistrées avant les 3 repas. Plus d'une fois sur deux (52.6%), on note une stabilité. Plus rarement pas de tendance (9.1%), ascension modérée (8.4%), importante (6.2%), décroissance modérée (12.7%), importante (3.6%), valeur HI (5.5%), valeur LO (1.9%). Les tendances ont influées sur la dose d'insuline dans les situations de variations importantes (soit dans $6.2+3.6=9.8\%$ des cas).

L'intérêt du dispositif a été noté à 9.32/10 par les jeunes.

- Qualité de vie :

Le séjour a été apprécié avec une note attribuée par les jeunes à 8.5/10.

Le questionnaire de qualité de vie a été rempli à l'inclusion, à Mayotte, et à 6 mois du retour. Globalement, les jeunes ont un bien être psychologique correct, de l'énergie, des amis, des parents à l'écoute, de bons résultats à l'école et des loisirs satisfaisants. Les résultats s'améliorent après Mayotte.

Le questionnaire VSP-A se divise en plusieurs parties : Bien être psychologique, énergie et vitalité, amis, parents, loisirs et école.

Dans le détail, entre l'inclusion et Mayotte, les jeunes ont un moins bon « Bien être psychologique » passant d'une moyenne de 64 ± 23.2 à 67 ± 13.9 (avec $p=0.158$).

Cependant ils améliorent les parties « Energie et vitalité » (la moyenne passe de 28 ± 4.6 à 24 ± 6.1 , $p=0.161$), « Amis » (de 19 ± 5.5 à 13 ± 4.2 avec $p=0.049$) et « Loisirs » (de 26 ± 4.3 à 13 ± 1.9 avec $p=0.001$), « Parents » (20 ± 8.6 à 19 ± 7.1 avec $p=0.979$) et « Ecole » (71 ± 7.3 à 58 ± 13 avec $p=0.232$).

Pendant ce séjour, quatre jeunes plus fragiles, plus instables, ont fait l'objet d'une attention particulière. Le VSP-A reste pour ces jeunes dans l'ensemble positif mais on note : souvent stressé (1), dégoûté (1), pensifs (2), fatigués (2), moral rarement bon (1), peu d'amis (1), amis qui comprennent rarement (1) et des parents peu à l'écoute (2).

Un fait important est que ces quatre jeunes ont eu 2 plongées annulées (sur 5 au total), une variabilité glycémique plus importante et une baisse glycémique pendant les plongées 4 fois sur 17 supérieures à 1gr.

B.5. APRES MAYOTTE

- 3 Mois :

L'HbA1c contrôlée 3 mois après le retour est en moyenne de $8.35 \pm 1.1\%$ contre $8.75 \pm 1.9\%$ avant le départ ($p=0.952$) avec une seule amélioration significative (8.2 à 6.2%). Il n'y a donc pas de différence significative concernant les HbA1c à 3 mois

- 6 Mois :

➤ HbA1c :

L'HbA1c contrôlée à 6 mois après le retour est en moyenne de $9.13 \pm 1.7\%$ contre $8.35 \pm 1.1\%$ à 3 mois après le retour ($p=0.183$). Seulement quatre jeunes

ont améliorés leur HbA1c, et ce de manière peu importante : respectivement de 8.5% à 8.3%, de 8.8% à 8.4%, de 7.8% à 7.5%, et de 9.3% à 8.5%. Nous n'avons pas trouvé de différence significative concernant les HbA1c entre 3 et 6 mois du retour du séjour.

➤ Questionnaire de qualité de vie :

Le questionnaire VSP-A est également rempli à 6 mois du retour de Mayotte.

Globalement, les jeunes ont améliorés leur bien être psychologique, la moyenne passe de 67 ± 13.9 à 64 ± 13.8 (avec $p=0.109$).

Cependant ils obtiennent un score d'énergie et de vitalité et d'amitié moindre : les moyennes passent respectivement de 24 ± 25.2 à 37 ± 5.5 (avec $p=0.001$) et de 13 ± 23.7 à 32 ± 5.6 (avec $p=0.841$)

De même, ils ont moins de loisirs et ont moins confiance en leurs parents (les moyennes passent respectivement de 8 ± 20.6 à 37 ± 5.8 (avec $p=0.001$) et de 20 ± 7.1 à 31 ± 8.4 (avec $p=0.029$).

Ils ont en revanche des meilleurs résultats scolaires et sont plus satisfaits de leur travail : les moyennes passent de 58 ± 12.9 à 39 ± 3.2 (avec $p=0.964$).

➤ Questionnaire ouvert (cf annexe) :

Au terme du suivi des jeunes, c'est à dire à 6 mois après l'étude, nous leur avons proposé quelques questions téléphoniques ouvertes sur leurs ressentis et impressions globales concernant le séjour et sur les changements éventuels engendrés par cette expérience sportive et humaine.

En ce qui concerne les impressions globales du séjour, les termes qui reviennent le plus souvent sont « Enrichissant » et « Inoubliable », et en les questionnant sur ce qui les a le plus marqués, nous retrouvons que la « Découverte d'une nouvelle culture » et la « Rencontre avec d'autres diabétiques » sont spontanément largement cités en premier chez la plupart des

jeunes. Nous retrouvons aussi l'idée de « mieux gérer sa maladie », et de « gagner en assurance et en connaissance », mais bien moins souvent et dans tous les cas en deuxième partie de réponse.

Il semble donc que les jeunes ont plus été marqués par le côté humain du séjour, notamment la découverte d'une île inconnue, avec sa culture et son identité propre. La rencontre avec d'autres adolescents du même âge et dans la même situation paraît aussi très importante chez des jeunes qui sont le plus souvent isolés face à leur pathologie.

La deuxième partie du questionnaire concerne les changements que l'expérience a apportée dans la vie des jeunes.

D'abord sur les changements apportés sur le jeune lui-même, la plupart répondent que, oui, le séjour a changé leur quotidien et dans la majorité des cas le changement porte sur la gestion de la maladie, la plupart des sujets expliquent que depuis l'expérience il se sentent plus à l'aise avec leur maladie, et la notion d'appropriation et d'investissement dans leur prise en charge est clairement ressortie durant l'interrogatoire.

Les notions qui ressortent le plus souvent sont celles de « l'apprentissage » et de « connaissance » de la maladie, ainsi que les idées de « meilleure gestion » des glycémies au quotidien et pendant le sport et d'un « meilleur équilibre glycémique ».

Quelques idées plus minoritaires sont évoquées, comme l'envie de plonger à nouveau, la découverte de FSL, et la découverte d'amis diabétiques.

Ensuite sont évoqués les changements d'opinions et de regard des proches. Pour quasiment tous les jeunes, cette expérience n'a pas changée le regard des proches, même si pour quelques uns on retrouve la notion d'une confiance retrouvée avec l'entourage.

Enfin, la troisième partie concerne la plongée sous marine.

A la question « souhaites tu plonger à nouveau ? », tous les jeunes répondent oui, sauf deux pour des questions de logistique et d'éloignement des côtes.

Concernant les conseils à donner à un diabétique qui souhaiterait plonger, tous les jeunes conseilleraient d'y aller sans hésiter mais avec quelques précautions. Le plus souvent, les jeunes insistent sur la notion de contrôle glycémique renforcé, et soulignent dans la plupart des cas de « ne surtout pas paniquer ».

D. DISCUSSION

- Gestion des doses d'insuline :

La gestion thérapeutique a été compliquée par le comportement des jeunes vis-à-vis de l'administration d'insuline particulièrement les oublis de bolus, les déconnexions de pompe prolongées, et les corrections intempestives d'hyperglycémies.

La base a été diminuée initialement de 4.4% (les moyennes d'insuline basale entre J0 et J1 sont passées de 24.3 UI à 23.3 UI) puis à nouveau de 7.7% entre J1 et J5 (passant de 23.3 UI à 21.5 UI).

La baisse a donc été insuffisante au départ, même si, in fine, celle-ci a été moins importante que chez les adultes. Cette différence s'explique par le fait que les adolescents ont présentés de nombreux pics hyper glycémiques à cause de l'alimentation souvent anarchique à fort index glycémique.

Les bolus ont été diminués de 13% entre J0 et J1 (de 34.6 UI de moyenne à 30.1 UI) et sont quasiment stables entre J1 et J5 (augmentés de 0.67% en moyenne).

Au total, ils ont été diminués de 12.4%. En fait, cette moyenne intègre la diminution recommandée de 10-50%, souvent annulée par une correction intempestive d'une hyperglycémie ou un calcul de doses en fonction d'un repas glucidique (IF).

On pourra donc conseiller une baisse de l'insuline basale de 20% et des bolus avant la plongée de 50% et de ne pas appliquer avant les plongées de correction d'hyperglycémie. Ces recommandations sont les mêmes que pour celles d'une activité physique d'intensité moyenne prolongée.

La pompe à insuline équipe 9 jeunes au départ. Le dispositif est idéal pour la gestion d'une activité sportive ; en plongée, elle est enlevée avant la mise à l'eau et remise juste après le retour en surface. Cependant, nous avons préféré remplacer la pompe par des injections sous cutanées pour deux jeunes pour reprendre la main et la maîtrise de l'insuline et des doses administrées. On en déduira que le port de la pompe en plongée nécessite dans cette population une maturité qui devra être appréciée par le pédiatre diabétologue traitant qui fournira le certificat d'aptitude diabétologique.

Au total, entre J0 et J5, la somme des doses basales et des bolus insuliniques a été diminuée en moyenne de 8.8%, passant de 58.9 UI à 51.1 UI.

- Gestion des glucides :

La prise de glucides avant les plongées, selon le protocole a été faible : 15 plongées/74, 34gr/plongée, et 8 plongées avec resucrage concernent 2 jeunes.

On peut l'expliquer par une raison en particulier : elle a été importante en dehors des plongées, ce qui explique que malgré que nous avons voulu assurer la sécurité en visant une glycémie avant plongée $> 2\text{gr/L}$ et même 2.5gr/L compte tenu de la variabilité glycémique observée chez ces jeunes, la prise de glucides reste rare.

En effet la prise de glucides était très difficile à gérer en dehors des heures de sortie en mer, la prise d'aliments non déclarés semble importante.

La glycémie moyenne de mise à l'eau était donc de 2.83 gr/L . Les quantités de glucides ingérés avant les plongées sont correctes et sont les mêmes que celles recommandées chez l'adulte.

Il faut noter que l'augmentation au fil des journées de la prise de glucides avant les plongées est corrélée à la baisse des GC avant la mise à l'eau. Ces variations sont la preuve que le séjour (nutrition, encadrement médical, activité physique) a permis une baisse progressive des GC et que la diminution des doses d'insuline basale était insuffisante au départ. De plus, le stress lié à l'activité qui est un facteur majorant les glycémies, diminue au cours de l'expérience des jeunes.

- Gestion du protocole de mise à l'eau et des glycémies, intérêt du FSL

La consigne de départ était de suivre le protocole de mise à l'eau en vigueur chez l'adulte. La glycémie avant mise à l'eau était largement $> 2\text{gr/L}$ ($M = 2.83\text{ gr/L}$). Malgré cela, huit plongées finissent à moins de 1gr/L .

Parmi ces 8 cas, quand on regarde la glycémie avant mise à l'eau, on constate seulement deux valeurs inférieures à 2gr/L qui sont autorisées à plonger grâce aux FSL : une valeur GC à 1.3 gr/L , discordante avec le FSL (2.76gr/L), qui sera pris en compte et une GC à 1.07gr/L mais avec une flèche très ascendante qui sera prise en compte.

Il faut également noter que le jeune avec une GC à 1.07gr/L avant la mise à l'eau avec une flèche très ascendante fait parti des 3 hypoglycémies relevées après la plongée.

Cependant, le FSL a permis 7 mises à l'eau qui auraient été interdites et aucune hypoglycémie n'a eu lieu en immersion :

Il a permis une fois l'autorisation de mise à l'eau avec une GC à 1.07 avec une flèche très ascendante et 6 fois une autorisation avec une GC 1.2 à 1.5gr/L associée à une valeur FSL supérieure à 1.60 gr/L . Notamment une valeur très discordante entre GC à 1.30 gr/L et FSL à 2.76 gr/L a conduit à une GC faussée (diluée) et une attitude prenant en compte le FSL (pas de resucrage). La GC de ce jeune après la plongée est de 0.94 gr/L .

Pour finir, deux hypoglycémies sur trois après la plongée avaient une GC très proche de 2gr/L avant l'immersion : respectivement 2gr/L et 2.01gr/L. Ces données nous amènent à revoir l'objectif glycémique a la hausse.

On pourra donc conseiller dans cette population un objectif de mise à l'eau à 2.5 gr/L, pas de plongée si $GC < 2gr/L$ et si $1.6 < GC < 2 gr/L$ et flèche de tendance ascendante : autorisation discutée.

Les données FSL en mode texte ont pu être recueillies pour 8 patients. Les valeurs enregistrées toutes les 15 minutes pendant les plongées sont cohérentes et ne semblent pas modifiées par la pression exercée sur le capteur (3 bars).

Concernant les plongées avec une GC à la sortie de l'eau inférieure à 1gr/L, la diminution des valeurs de 20% toutes les 15 minutes est constante et stable. On ne constate pas de décroissance accentuée après 30 minutes en immersion, sûrement grâce à l'absence de gestion du froid à Mayotte !

Si ces valeurs avaient été disponibles sous l'eau, une valeur $< 1.50g$ aurait entraîné une décision du plongeur de remonter 15 minutes plus tôt pour 3 plongées et 30 minutes plus tôt pour 2 plongées.

Le FSL peut être une alternative aux GC et pourrait être exclusivement utilisé en plongée mais ces limites de fonctionnement à la chaleur doivent être prises en compte et le jeune DT1 devra disposer sur le bateau des mesures de GC et de FSL.

- **Conséquences a moyen terme, équilibre glycémique et qualité de vie :**

Finalement, contrairement à ce qui était prévu initialement, il n'y a pas eu de restrictions de valeurs d'HbA1c à l'inclusion. Le but était d'avoir une population variée d'adolescents avec parfois les difficultés inhérentes au diabète à cet age, se traduisant par une HbA1c (très) élevée.

L'impact à moyen terme sur l'équilibre glycémique des jeunes n'a pas été significatif.

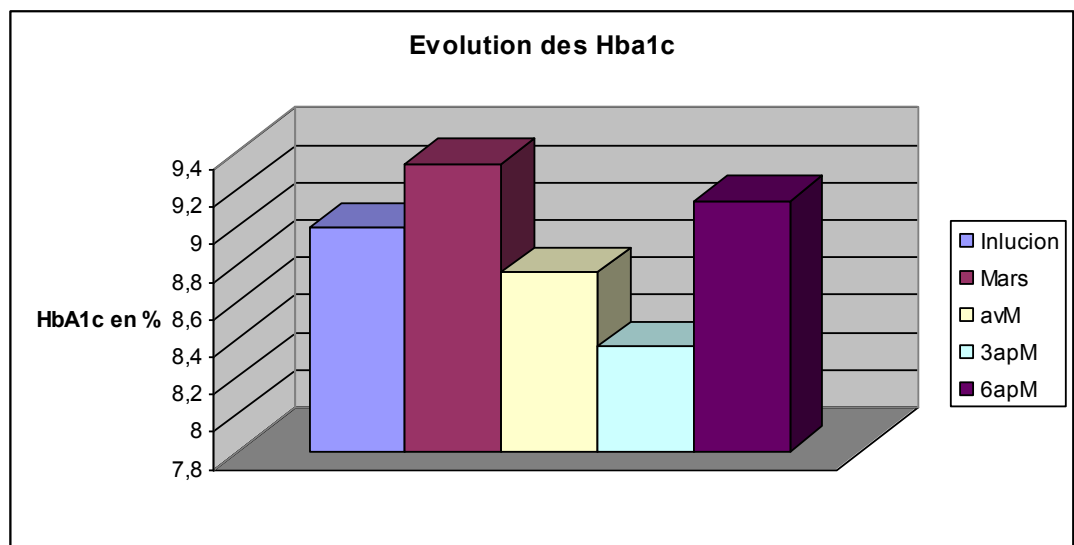
En effet l'équilibre glycémique s'est d'abord dégradé à Marseille passant de 8,99% de moyenne à 9,33% avant de s'améliorer de manière non significative avant Mayotte à 8,75% et 3 mois après le séjour 8,35%. Enfin, à 6 mois du retour l'équilibre s'est nettement dégradé avec une HbA1c de 9,13% en moyenne.

L'HbA1c n'est donc pas un critère d'amélioration aussi fiable que chez les adultes.

On notera une grande variabilité interindividuelle avec entre l'inclusion et Mayotte 8 jeunes sur 14 qui ont améliorés leur HbA1c, avec notamment deux jeunes qui ont diminués leur Hba1C de manière importante, passant respectivement de 11,1% à 9,1% et de 9,8% à 6,8%.

Au contraire, plusieurs jeunes ont largement dégradés leur contrôle glycémique, faisant augmenter de manière importante la moyenne, avec la plus grande détérioration passant de 8,6% à 14,1%, et un autre jeune de 8,6% à 10,6%.

Ci-dessous le graphique résumant l'évolution des HbA1c au cours de l'étude



Le groupe était assez soudé, solidaire ; aucun jeune n'a été mis à l'écart. L'ambiance était bonne, chaleureuse. Le contact était facile avec les organisateurs, et a été constant avec les parents. La présence des membres de l'association « diabète et plongée », qui sont des adultes diabétiques plongeurs a créé un lien positif entre les jeunes et les adultes.

En ce qui concerne le score de qualité de vie, à Mayotte, les deux améliorations significatives concernent les catégories « Loisirs » et « Amis », les autres catégories s'améliorent de manière non significative, et le score de « Bien être psychologique » se dégrade.

Il n'y a pas d'amélioration à 6 mois, puisque seulement deux sous catégories présentes des améliorations (« Bien être psychologique » et « Ecole »), et ceux de manière non significative.

- Différences adolescents – adultes :

L'exercice physique est fortement recommandé chez le jeune. Mais les enfants et adolescents DT1 remplissent rarement les recommandations et pratiquent moins que leurs pairs sains et moins que les adultes.

Les variations glycémiques moyennes pendant les plongées sont un peu plus importantes que chez les adultes avec surtout un écart type plus grand.

De même, on observe chez les jeunes plus d'épisodes d'hypo et d'hyperglycémie ou cétose entourant les plongées.

Néanmoins, à cet âge, le comportement des jeunes et leur personnalité influent de manière importante sur leurs fluctuations glycémiques et sur l'activité plongée.

Les différences majeures par rapport aux adultes portent sur :

- Le temps de **sommeil**, souvent raccourci par des difficultés à se coucher tôt.

- Une **alimentation** très anarchique avec beaucoup de gâteaux mangés à toute heure et des repas incomplets, dus à des mets inconnus que les jeunes rechignent à goûter.
- Une **gestion** radicale de leurs glycémies avec une utilisation systématique et excessive de la correction avec des paramètres d'insulino sensibilité qui leur ont été fournis mais qui sont inexacts dans le contexte (d'activité physique importante) ou ils se trouvent.

Par ailleurs, ils sont sensibles aux conseils prodigués, de doses d'insuline, de prise de glucides mais ils ne les appliquent pas forcément pour diverses raisons, volontaires ou non. Ils se servent parfois aussi de leur traitement dans des processus de séduction de l'autre ou pour attirer l'attention. Ils se mettent ainsi volontairement en hypo ou en hyperglycémie.

La maturité de ces jeunes est très variable : certains ont pu égarer quelques heures leur pompe à insuline comme ils peuvent égarer leur portable ou leurs chaussettes...

Enfin, l'aspect groupe a certainement influé sur leur comportement. Nous avons noté une volonté d'intégration au groupe, une solidarité entre eux, une entraide, valeurs appréciables en plongée.

L'activité plongée sous marine répond à des impératifs spécifiques et rigoureux : périodes d'hyperglycémies volontaires sans cétose pendant la plongée (environ 1 heure) avec le reste du temps un équilibre glycémique correct et surtout prévisible pour pouvoir gérer correctement de façon fiable ces périodes d'hyperglycémies.

Compte tenu de la grande variabilité glycémique observée en dehors des plongées, on peut déjà conseiller dans cette population une seule plongée par jour.

- Différences « Métros » et Mahorais :

La soirée débat, organisée par Rediabylang, entre les jeunes « métro » et des jeunes diabétiques Mahorais, non inclus mais ayant participé à la formation initiale à Mayotte, a mis en évidence qu'à Mayotte, le diabète est considéré comme une maladie honteuse ; il est souvent caché à l'entourage, même proche et est responsable d'une exclusion.

Le jeune inclus et les deux en fin de formation ont donc dus surmonter une série d'obstacles qui rend leur performance remarquable : exposer leur diabète, braver la réticence de parents peu tournés vers la mer, apprentissage de la plongée et souvent avant de la natation, gestion des doses d'insuline chez des jeunes souvent encore pris en charge par un(e) infirmier(ère), gestion des glucides dans des situations où l'accès à la nourriture de base n'est pas toujours acquis. Dans ces conditions, l'activité plongée ne peut se concevoir que strictement encadrée.

VIII) CONCLUSION

Le diabète de type 1 est une maladie chronique concernant environ 5 enfants sur 100 000 dont le seul traitement est l'insulinothérapie, et qui peut présenter des complications aiguës parfois graves comme l'hypoglycémie ou l'acidocétose et des complications chroniques invalidantes.

La rigueur imposée par la gestion de cette maladie est d'autant plus importante durant la période de l'adolescence, caractérisée par des changements somatiques et comportementaux influant de manière non négligeable sur son bon équilibre.

Même si de nombreuses solutions sont proposées aux jeunes diabétiques, et que le rôle du médecin traitant est majeur dans le suivi et le contrôle de cette maladie, la gestion du bon équilibre du jeune DT1 est parfois difficile, notamment durant les périodes d'exercices physiques.

L'importance et l'intérêt des contrôles glycémiques pluri quotidiens et des nouvelles techniques de contrôles interstitiels prennent tout leurs sens lors d'une activité physique.

A la vue des nombreux bénéfices engendrés par la pratique d'activités sportives, les risques, notamment les hypoglycémies et les hyperglycémies avec cétonémie ne doivent pas la limiter mais au contraire accentuer les connaissances des jeunes sur leur maladie et sa gestion en situation sportive pour leur permettre d'en garder tous les aspects positifs.

La plongée est une activité à risque chez le sujet sain, et par extension elle l'est d'autant plus chez le sujet diabétique. Cependant nous pensons qu'elle peut être pratiquée en condition de sécurité identique aux plongeurs sains en respectant des règles précises de mise à l'eau.

En France, la plongée est pour l'essentiel gérée par la FFESSM qui n'autorisait pas la plongée sous marine pour les DIT d'âge <18 ans jusqu'à notre étude, et ce pour des raisons historiques principalement liées au risque d'hypoglycémie.

L'étude « Impact d'un grand projet sportif centré sur la plongée sous marine chez des adolescents diabétiques de type 1 » nous démontre la faisabilité de la pratique de la plongée chez des jeunes diabétiques. Notamment, nous n'avons relevé aucune hypoglycémie en immersion alors que cet accident est initialement à la base de l'interdiction pour tous les diabétiques sous insuline, et les glycémies basses à la sortie de l'eau restent largement minoritaires.

L'étude nous montre en effet que avec des contrôles glycémiques fréquents, une gestion rigoureuse de l'insulinothérapie et de l'alimentation, et un protocole de mise à l'eau, il est possible de plonger en toute sécurité.

Même si cette tranche d'âge (14-18 ans) se caractérise par une plus grande variabilité glycémique liée principalement au comportement des jeunes diabétiques, la mesure en continu du glucose (FSL) est un outil intéressant en plongée.

Enfin, l'expérience humaine et sportive, et la rigueur nécessaire à cette activité, même si elles n'influent pas sur l'équilibre glycémique à moyen terme influent sur la qualité de vie, puisque entre l'inclusion et Mayotte les jeunes améliorent nettement leur indice de qualité de vie.

Une proposition de changement de la réglementation a été faite à la FFESSM, et elle a permise, après passage devant les deux commissions nationales, la CMPN et la CTN, un accès à la plongée pour les jeunes dès l'âge de 14 ans.

Depuis Mai 2017 les jeunes peuvent plonger selon les mêmes conditions de surveillance et de pratique que pour les adultes et en appliquant les conditions d'aptitude et de restrictions en vigueur chez l'adulte avant 2015 modifiées comme suit :

- limitation au niveau 1.
- une seule plongée par jour.

- autorisation parentale et présence d'un parent responsable ou représentant adulte sur le bateau.
- certificat d'aptitude diabétologique par le pédiatre et/ou diabétologue traitant : HbA1c < 8.5% - pas de cétose ou hypoglycémie sévère les 3 derniers mois, gestion autonome du diabète.
- protocole de mise à l'eau initial : traitement par multi injections ou par pompe sous cutanée ; baisse des doses d'insuline : base 20% et bolus 50%, ne pas appliquer avant les plongées de correction d'hyperglycémie.
- objectif de mise à l'eau (GC) : 2.5 gr/L – pas de plongée si GC < 2gr/L.
- la surveillance du glucose pourra se faire au choix avec les glycémies capillaires ou des systèmes de mesure en continu du glucose.

VIII) CONCLUSION

Le diabète de type 1 est une maladie chronique concernant environ 5 enfants sur 100 000 dont le seul traitement est l'insulinothérapie, et qui peut présenter des complications aiguës parfois graves comme l'hypoglycémie ou l'acidocétose et des complications chroniques invalidantes.

La rigueur imposée par la gestion de cette maladie est d'autant plus importante durant la période de l'adolescence, caractérisée par des changements somatiques et comportementaux influant de manière non négligeable sur son bon équilibre.

Même si de nombreuses solutions sont proposées aux jeunes diabétiques, et que le rôle du médecin traitant est majeur dans le suivi et le contrôle de cette maladie, la gestion du bon équilibre du jeune DT1 est parfois difficile, notamment durant les périodes d'exercices physiques.

L'importance et l'intérêt des contrôles glycémiques pluri quotidiens et des nouvelles techniques de contrôles interstitiels prennent tout leurs sens lors d'une activité physique.

A la vue des nombreux bénéfices engendrés par la pratique d'activités sportives, les risques, notamment les hypoglycémies et les hyperglycémies avec cétonémie, ne doivent pas la limiter mais au contraire accentuer les connaissances des jeunes sur leur maladie et sa gestion en situation sportive pour leur permettre d'en garder tous les aspects positifs.

La plongée est une activité à risque chez le sujet sain, et par extension elle l'est d'autant plus chez le sujet diabétique. Cependant nous pensons qu'elle peut être pratiquée en condition de sécurité identique aux plongeurs sains en respectant des règles précises de mise à l'eau.

En France, la plongée est pour l'essentiel gérée par la FFESSM qui n'autorisait pas la plongée sous marine pour les DIT d'âge <18 ans jusqu'à notre étude, et ce pour des raisons historiques principalement liées au risque d'hypoglycémie.

L'étude « Impact d'un grand projet sportif centré sur la plongée sous marine chez des adolescents avec un diabète de type 1 » nous démontre la faisabilité de la pratique de la plongée chez des jeunes diabétiques. Notamment, nous n'avons relevé aucune hypoglycémie en immersion alors que cet accident est initialement à la base de l'interdiction pour tous les diabétiques sous insuline, et les glycémies basses à la sortie de l'eau restent largement minoritaires.

L'étude nous montre en effet que avec des contrôles glycémiques fréquents, une gestion rigoureuse de l'insulinothérapie et de l'alimentation, et un protocole de mise à l'eau, il est possible de plonger en toute sécurité.

Même si cette tranche d'âge (14-18 ans) se caractérise par une plus grande variabilité glycémique liée principalement au comportement des jeunes diabétiques, la mesure en continu du glucose (FSL) est un outil intéressant en plongée.

Enfin, l'expérience humaine et sportive, et la rigueur nécessaire à cette activité, même si elles n'influent pas sur l'équilibre glycémique à moyen terme influent sur la qualité de vie, puisque entre l'inclusion et Mayotte les jeunes améliorent nettement leur indice de qualité de vie.

Une proposition de changement de la réglementation a été faite à la FFESSM, et elle a permise, après passage devant les deux commissions nationales, la CMPN et la CTN, un accès à la plongée pour les jeunes dès l'âge de 14 ans.

Depuis Mai 2017 les jeunes peuvent plonger selon les mêmes conditions de surveillance et de pratique que pour les adultes et en appliquant les conditions

d'aptitude et de restrictions en vigueur chez l'adulte avant 2015 modifiées
comme suit :

- limitation au niveau 1.
- une seule plongée par jour.
- autorisation parentale et présence d'un parent responsable ou représentant adulte sur le bateau.
- certificat d'aptitude diabétologique par le pédiatre et/ou diabétologue traitant : HbA1c < 8.5% - pas de cétose ou hypoglycémie sévère les 3 derniers mois, gestion autonome du diabète.
- protocole de mise à l'eau initial : traitement par multi injections ou par pompe sous cutanée ; baisse des doses d'insuline : base 20% et bolus 50%, ne pas appliquer avant les plongées de correction d'hyperglycémie.
- objectif de mise à l'eau (GC) : 2.5 gr/L – pas de plongée si GC < 2gr/L.
- la surveillance du glucose pourra se faire au choix avec les glycémies capillaires ou des systèmes de mesure en continu du glucose.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) Fournier, Cécile ; Gautier, Arnaud ; Attali, Claude ; Bocquet-Chabert, Amélie ; MosnierPudar, Helen ; et. al. Besoins d'information et d'éducation des personnes diabétiques, pratiques éducatives des médecins, étude Entred, France, 2007. In: Bulletin épidémiologique hebdomadaire, Vol. 42 - 43, p. 460 - 464 (2009).
- 2) The Diabetes Control and Complications Research Group, N Engl J Med 1993 ; 329:977.
- 3) MacLeod KM, Hepburn DA, Frier BM. Frequency and morbidity of severe hypoglycaemia in insulin-treated diabetic patients. Diabetic Med, 1993, 10, 238-245.
- 4) Beato-Víborá P, Yeoh E, Rogers H, Hopkins D, Amiel S A. Sustained benefit of continuous subcutaneous insulin infusion on glycaemic control and hypoglycaemia in adults with Type 1 diabetes.. Diabet Med. 2015 Nov;32(11):1453-9. doi: 10.1111/dme.12869. Epub 2015 Aug 19.
- 5) Gorst C1, Kwok CS2, Aslam S3, Buchan I4, Kontopantelis E5, Myint PK6, Heatlie G7, Loke Y8, Rutter MK9, Mamas MA10. Long-term Glycemic Variability and Risk of Adverse Outcomes : A Systematic Review and Meta-analysis . Diabetes Care. 2015 Dec;38(12):2354-69. doi: 10.2337/dc15-1188.
- 6) Bailey T1, Bode BW2, Christiansen MP3, Klaff LJ4, Alva S5. The Performance and Usability of a Factory-Calibrated Flash Glucose Monitoring

System. *Diabetes Technol Ther.* 2015 Nov;17(11):787-94. doi: 10.1089/dia.2014.0378. Epub 2015 Jul 14.

7) Pr. Jan Bolinder, MD, FRCPE, Institut Karolinska, Stockholm, Suède. Etude IMPACT, 76 ème congrès de l'ADA, 2016.

8) Adolfsson P1, Nilsson S, Lindblad B. Continuous glucose monitoring system during physical exercise in adolescents with type 1 diabetes. *Acta Paediatr.* 2011 Dec;100(12):1603-9. doi: 10.1111/j.1651-2227.2011.02390.x. Epub 2011 Oct 10.

9) J. Hamilton, D. Daneman. Deteriorating Diabetes Control during Adolescence: Physiological or Psychosocial? 2011. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, ISSN (Online) 2191-0251.

10) Moran A, Jacobs DR Jr, Steinberger J, et al. Association between the insulin resistance of puberty and the insulin-like growth factor-I/growth hormone axis. *J Clin Endocrinol Metab* 2002; 87: 4817-20.

11) Hannon TS, Janosky J, Arslanian SA. Longitudinal study of physiologic insulin resistance and metabolic changes of puberty. *Pediatr Res* 2006; 60: 759-63.

12) Dantzer C, Swendsen J, Maurice-Tison S, Salamon R. Anxiety and depression in Juvenile diabetes: A critical review. *Clin Psychol Rev* 2003; 23: 787-800.

13) Borus JS1, Laffel L.. Adherence challenges in the management of type 1 diabetes in adolescents: prevention and intervention. *Curr Opin Pediatr.* 2010 Aug;22(4):405-11.

14) B. Anderson, L. Laffel, C. Domenger, V. Pilorget, C. Candelas, T. Danne, M. Phillip, C. Mazza, R. Hanas, S. Waldron, R. Beck, C. Mathieu, F. Calvi-

Gries . « Relationship between glycemic control and quality of life (QoL) in young adults with type 1 diabetes (T1D): analysis of the global TEENs Study » publiée par l'ISPAD en 2014 et sponsorisée par le laboratoire Sanofi.

15) Butler DA, Zuehlke JB, Tovar A, et al. The impact of modifiable family factors on glycemic control among youth with type 1 diabetes. *Pediatr Diabetes* 2008; 9(4 Pt 2):373–381.

16) Viner RM, Christie D, Taylor V, Hey S. Motivational/solution-focused intervention improves HbA1c in adolescents with type 1 diabetes: a pilot study. *Diabet Med* 2003; 20:739–742.

17) Channon SJ, Huws-Thomas MV, Rollnick S, et al. A multicenter randomized controlled trial of motivational interviewing in teenagers with diabetes. *Diabetes Care* 2007.

18) Jacobson AM, Hauser ST, Willet J, et al. Consequences of irregular versus continuous medical follow-up in children and adolescents with insulin-dependent diabetes mellitus. *J Pediatr* 1997; 131:727–73.

19) DAFNE Study Group. Training in flexible, intensive insulin management to enable dietary freedom in people with type 1 diabetes: dose adjustment for normal eating (DAFNE) randomised controlled trial. *BMJ* 2002; 325:746.

20) Franklin VL, Waller A, Pagliari C, Greene SA. A randomized controlled trial of Sweet Talk, a text-messaging system to support young people with diabetes. *Diabet Med* 2006; 23:1332–1338.

21) Hanauer DA, Wentzell K, Laffel N, Laffel LM. Computerized Automated Reminder Diabetes System (CARDS): e-mail and SMS cell phone text messaging reminders to support diabetes management. *Diabetes Technol Ther* 2009; 11:99–106.

22) Lawson ML, Cohen N, Richardson C, et al. A randomized trial of regular standardized telephone contact by a diabetes nurse educator in adolescents with poor diabetes control. *Pediatr Diabetes* 2005; 6:32–40.

23) Galassetti P, Tate D, Neill RA, Morrey S, Wasserman DH, Davis SN. Effect of antecedent hypoglycemia on counterregulatory responses to subsequent euglycemic exercise in type 1 diabetes. *Diabetes*. 2003;52(7):1761–9.

24) Group DR in CN (DirecNet) S. The effects of aerobic exercise on glucose and counterregulatory hormone concentrations in children with type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2006;29(1):20–5.

25) Riddell MC, Bar-Or O, Ayub BV, Calvert RE, Heigenhauser GJF. Glucose ingestion matched with total carbohydrate utilization attenuates hypoglycemia during exercise in adolescents with IDDM. *International journal of sport nutrition*. 1999;9:24–34.

26) Cryer PE, Davis SN, Shamon H. Hypoglycemia in diabetes. *Diabetes Care* 2003;26:1902-12.

27) McMahon SK, Ferreira LD, Ratnam N, Davey RJ, Youngs LM, Davis EA, Fournier PA, Jones TW. Glucose requirements to maintain euglycemia after moderate-intensity afternoon exercise in adolescents with type 1 diabetes are increased in a biphasic manner. *J Clin Endocrinol Metab*. 2007 Mar;92(3):963-8.

28) Campbell MD, Walker M, Trenell MI, Jakovljevic DG, Stevenson EJ, Bracken RM, Bain SC, West DJ. Large pre- and postexercise rapid-acting insulin reductions preserve glycemia and prevent early- but not late-onset hypoglycemia in patients with type 1 diabetes. *Diabetes Care*. 2013 Aug;36(8):2217-24.

- 29) Robertson K1, Riddell MC, Guinhouya BC, Adolfsson P, Hanas R; International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2014. Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2014 Sep;15 Suppl 20:203-23.
- 30) Bussau VA1, 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*. 2006 Mar;29(3):601-6.
- 31) M. C. Riddell, O. Bar-Or, M. Hollidge-Horvat, H. P. Schwarcz, G. J. F. Heigenhauser Glucose ingestion and substrate utilization during exercise in boys with IDDM. *Journal of Applied Physiology* Published 1 April 2000 Vol. 88 no. 4, 1239-1246.
- 32) Berger M, Cüppers HJ, Hegner H, Jörgens V, Berchtold P. Absorption Kinetics and Biologic Effects of Subcutaneously Injected Insulin Preparations. *Diabetes Care*. 1982 Mar-Apr;5(2):77-91.
- 33) Leitzmann MF1, Park Y, Blair A, Ballard-Barbash R, Mouw T, Hollenbeck AR, Schatzkin A .Physical activity recommendations and decreased risk of mortality. *Arch Intern Med*. 2007 Dec 10;167(22):2453-60.
- 34) De Moor MH1, Beem AL, Stubbe JH, Boomsma DI, De Geus EJ..Regular exercise, anxiety, depression and personality: a population-based study. *Prev Med*. 2006 Apr;42(4):273-9.
- 35) Arthur S.Leon, and Otto A. Sanchez.Response of blood lipids to exercise alone or combined with dietary intervention. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33. June 2001 (6 Suppl):S502-15; discussion S528-9 .
- 36) McMahan SK, Ferreira LD, Ratnam N, Davey RJ, Youngs LM, Davis EA, et al. Glucose requirements to maintain euglycemia after moderate-intensity afternoon exercise in adolescents with type 1 diabetes are increased in a

biphasic manner. *J Clin Endocrinol Metab.* 2007 Mar;92(3):963-8. Epub 2006 Nov 21.

37) M. de Kerdanet, E. Heyman et Al. Activité physique et diabète de type 1 chez l'enfant et l'adolescent. Pourquoi ? Comment ? *Archives de Pédiatrie* 2016; 23 : 63-64.

38) Bohn B, Herbst A, Pfeifer M, Krakow D, Zimny S, Kopp F, Melmer A, Steinacker JM, Holl RW; Initiative..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.* 2015 Aug;38(8):1536-43. doi: 10.2337/dc15-0030.

39) Herbst A, Bachran R, Kapellen T, Holl RW. Effects of regular physical activity on control of glycemia in pediatric patients with type 1 diabetes mellitus.. *Archives of pediatrics & adolescent medicine.* 2006;160(6):573–7.

40) Franc S, et Al. Insulin-based strategies to prevent hypoglycaemia during and after exercise in adult patients with type 1 diabetes on pump therapy: the DIABRASPORT randomized study. *Diabetes Obesity Metabolism.*17: 1150-1157, 2015.

41) Grimm JJ, Ybarra J, Berné C, Muchnick S, Golay A.A new table for prevention of hypoglycaemia during physical activity in type 1 diabetic patients. *Diabetes Metab.* 2004 Nov;30(5):465-70.

42) Lukács A, Mayer K, Juhász E, Varga B, Fodor B, Barkai L..Reduced physical fitness in children and adolescents with type 1 diabetes. *Pediatr Diabetes.* 2012 Aug;13(5):432-7.

43) Williams BK1, Guelfi KJ, Jones TW, Davis EA. Lower cardiorespiratory fitness in children with Type 1 diabetes. *Diabet Med.* 2011 Aug;28(8):1005-7.

- 44) Javed Mohammed et Al. Assessment of Habitual Physical Activity in Adolescents with Type 1 Diabetes. Canadian journal 2014. Volume 38, Issue 4.
- 45) Warning : Spinal bend in a diabetic (Editorial), SPUMSJ, 1982 ; 12(1) : 34.
- 46) Davies D. SPUMS statements on diabetes SPUMS J, 1992 ; 22(1) : 31-32.
- 47) Kruger DF, Owen SK, Whitehouse FW. Scuba Diving And Diabetes. Practical Guidelines [letter], Diabetes Care. 1995 Jul ;18(7) :1074.
- 48) Lerch M, Lutrop C, Thurm U. Diabetes And Diving : Can The Risk Of Hypoglycemia Be Banned, SPUMSJ, 1996 ; 26(2) : 62-66.
- 49) Uguccioni D, DovenBarger J, The Diabete question, Alert Diver, 1996, Jan-Feb : 21-23.
- 50) EDGE C, Bryson P, Edmonds, Lowry C, Walker R. In : Edmonds C Lowry C, Pennefather J, Walker R. Diving and Subaquatic Medecine : Insulin-dependent diabetes mellitus. New York 2002 : Arnold. pp 581-595.
- 51) Gautier JF, Berne C, Grimm JJ, Lobel B, Coliche V, Mollet E. Recommandations de l'Alfediam : Activité physique et diabète, Diabetes Metab, 1998, 24, 281-290.
- 52)Dear G, Pollock W, Uguccioni D, Dovenbarger J, Feinglos M, Moon R. Plasma Glucose Response to Recreational Diving in Divers with Insulin- Requiring Diabetes. Undersea Hyper Med 2004 ; 31-3, pp291-302.
- 53) Pollock NW, Uguccioni DM, Dear Gd, Bates S, Albushies TM, Prosterman SA. Plasma glucose response to recreational diving in novice teenage divers with insulin requiring diabetes mellitus. Undersea Hyperb Med. 2006 Mar-Apr;33(2):125-33.

- 54) Edge CJ, Ledger-Dowse M, Bryson P. Survey of diabetic divers : results from 10-Year Study. Undersea Hyperb Med 2003 ; 30S : 220.
- 55) Taylor DM1, O'Toole KS, Ryan CM..Experienced, recreational scuba divers in Australia continue to dive despite medical contraindications. Wilderness Environ Med. 2002 Fall;13(3):187-93.
- 56) FFESSM, CMPN. Contre-indications à la plongée en scaphandre à l'air. Aptitudes restreintes chez le diabétique insulino traité <http://medical.ffessm.fr>.
- 57)Gautier JF, Berne C, Grimm JJ et Al. Recommandations de l'ALFEDIAM : Activité physique et diabète. Diabetes Metab 1998, 24 : 281-290.
- 58) Dufaitre.L, Vialettes B. La plongée sous marine avec scaphandre autonome peut elle être autorisée aux personnes diabétiques insulino traités ? Diabetes & amp ; Metabolism. 2000.
- 59) Lormeau B, Sola A, Tabah A, Chiheb S, Dufaitre L, Thurninger O, Bresson R, Lormeau , Attali JR, Valensi P. Blood glucose changes and adjustments of diet and insulin doses in type 1 diabetic patients during scuba diving (for a change in French regulations). Diabetes Metab 2005, 31: 144-51.
- 60) Boris LORMEAU , Agnès SOLA-GAZAGNES, Muriel MAURICE, Sylvain PICHAT, Lise DUFAITRE, Anh Linh FRANCOIS, Jehan MARIE, Virginie ETIEN, Guillaume GOURY,Olivier THURNINGER, Alexis TABAH, Nabil ASSAD, Régis BRESSON, Matthieu COULANGE, Sylvie PRADINES, Marc DRAPEAU, Elias AMIOUNI, Eric BERGMAN. Diabète et plongée Nitrox . 2012.
- 61) P. Adolfsson et Al. Accuracy and Reliability of Continuous Glucose Monitoring in Individuals with Type 1 Diabetes During Recreational Diving » Diabetes technology et therapeutics.

- 62) Bonomo M, Cairoli R, Verde G, Morelli L, Moreo A, Grottaglie MD, Brambilla MC, Meneghini E, Aghemo P, Corigliano G, Marroni A. Safety of recreational scuba diving in type 1 diabetic patients: The Deep Monitoring programme Diabetes Metab. 2009 Apr;35(2):101-7.
- 63) Stevens SL, Narr AJ, Claus PL, Millman MP, Steinkraus LW, Shields RC, Buchta WG, Haddon R, Wang Z, Murad MH. The incidence of hypoglycemia during HBO2 therapy: A retrospective review. Undersea Hyperb Med. 2015 May-Jun;42(3):191-6.
- 64) Peleg RK, Fishlev G, Bechor Y, Bergan J, Friedman M, Koren S, Tirosh A, Efrati S Effects of hyperbaric oxygen on blood glucose levels in patients with diabetes mellitus, stroke or traumatic brain injury and healthy volunteers: a prospective, crossover, controlled trial. . Diving Hyperb Med. 2013 Dec;43(4):218-21.
- 65) McMonnies CW. Hyperbaric oxygen therapy and the possibility of ocular complications or contraindications. Clin Exp Optom. 2015 Mar;98(2):122-5.
- 66) Mozdzanowski C, Perdrizet GA Peripheral neuropathy may increase the risk for asymptomatic otic barotrauma during hyperbaric oxygen therapy: research report. Undersea Hyperb Med. 2014 Jul-Aug;41(4):267-72.
- 67) Pollock NW, Uguccioni DM, Dear GdeL, eds., Diabetes and recreational diving: guidelines for the future. Proceedings of the Undersea and Hyperbaric Medical Society/Divers Alert Network 2005 June 19 Workshop. Durham, NC: Divers Alert Network; 2005.
- 68) Guide Pratique du Diabète Agnès Hartemann (Auteur) André Grimaldi (Auteur) Paru en août 2013 Scolaire / Universitaire (broché)
- 69) Jerome Vidart. Sport et diabète de type 1 : l'activité physique de 577 jeunes français en 2012. Médecine humaine et pathologie. 2014.

70) Activité Physique et diabète harles Didier. Thèse en Pharmacie ,Université
Henri Pointcare,, Nancy 1, 2005.

Table 1: Guidelines for Recreational Diving with Diabetes - Summary Form¹

<p>Selection and Surveillance</p> <ul style="list-style-type: none"> • Age ≥ 18 years (≥ 16 years if in special training program) • Delay diving after start/change in medication <ul style="list-style-type: none"> - 3 months with oral hypoglycemic agents (OHA) - 1 year after initiation of insulin therapy • No episodes of hypoglycemia or hyperglycemia requiring intervention from a third party for at least one year • No history of hypoglycemia unawareness • $HbA_{1c} \leq 9\%$ no more than one month prior to initial assessment and at each annual review <ul style="list-style-type: none"> - values $>9\%$ indicate the need for further evaluation and possible modification of therapy • No significant secondary complications from diabetes • Physician/Diabetologist should carry out annual review and determine that diver has good understanding of disease and effect of exercise <ul style="list-style-type: none"> - in consultation with an expert in diving medicine, as required • Evaluation for silent ischemia for candidates >40 years of age <ul style="list-style-type: none"> - after initial evaluation, periodic surveillance for silent ischemia can be in accordance with accepted local/national guidelines for the evaluation of diabetics • Candidate documents intent to follow protocol for divers with diabetes and to cease diving and seek medical review for any adverse events during diving possibly related to diabetes
<p>Scope of Diving</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diving should be planned to avoid <ul style="list-style-type: none"> - depths >100 fsw (30 msw) - durations >60 minutes - compulsory decompression stops - overhead environments (e.g., cave, wreck penetration) - situations that may exacerbate hypoglycemia (e.g., prolonged cold and arduous dives) • Dive buddy/leader informed of diver's condition and steps to follow in case of problem • Dive buddy should not have diabetes
<p>Glucose Management on the Day of Diving</p> <ul style="list-style-type: none"> • General self-assessment of fitness to dive • Blood glucose (BG) ≥ 150 mg·dL⁻¹ (8.3 mmol·L⁻¹), stable or rising, before entering the water <ul style="list-style-type: none"> - complete a minimum of three pre-dive BG tests to evaluate trends <ul style="list-style-type: none"> ▪ 60 minutes, 30 minutes and immediately prior to diving - alterations in dosage of OHA or insulin on evening prior or day of diving may help • Delay dive if BG <ul style="list-style-type: none"> - <150 mg·dL⁻¹ (8.3 mmol·L⁻¹) - >300 mg·dL⁻¹ (16.7 mmol·L⁻¹) • Rescue medications <ul style="list-style-type: none"> - carry readily accessible oral glucose during all dives - have parenteral glucagon available at the surface • If hypoglycemia noticed underwater, the diver should surface (with buddy), establish positive buoyancy, ingest glucose and leave the water • Check blood sugar frequently for 12-15 hours after diving • Ensure adequate hydration on days of diving • Log all dives (include BG test results and all information pertinent to diabetes management)

¹ For full text see: Pollock NW, Ugucioni DM, Dear GdeL, eds. Diabetes and recreational diving: guidelines for the future. Proceedings of the UHMS/DAN 2005 June 19 Workshop. Durham, NC: Divers Alert Network; 2005.

CONDITIONS AUTORISANT LA PRATIQUE DE LA PLONGEE SUBAQUATIQUE DE LOISIR AVEC SCAPHANDRE PAR LES JEUNES DIABETIQUES TYPE 1 INSULINO-DEPENDANTS MINEURS DE PLUS DE 14 ANS

La plongée chez les diabétiques insulino-dépendants ne peut être organisée que dans des conditions spécifiques. Elle échappe par conséquent au sport de masse. La tranche d'âge 14-18 ans comprend des spécificités qui justifient une réglementation particulière.

A. PROCEDURE POUR LA DELIVRANCE DU CERTIFICAT DE NON CONTR INDICATION A LA PRATIQUE DE LA PLONGEE SUBAQUATIQUE DE LOISIR POUR LES JEUNES DIABETIQUES

__ Certificat préalable signé par le pédiatre - diabétologue traitant¹ sur un formulaire type figurant en annexe et présentant au verso les 8 conditions de non contre indication diabétologique à la plongée ;

__ Certificat final de non contre-indication signé par un médecin fédéral après qu'il ait pris connaissance du certificat préalable ;

__ Remise au diabétique, par le médecin fédéral, de la lettre informative dûment commentée.

¹ Par traitant, on entend le diabétologue suivant le patient depuis au moins un an. Préalable signifie que le Médecin Fédéral ne délivrera un certificat de non contre indication QU'APRES AVOIR PRIS CONNAISSANCE du certificat préalable.

B. LES 8 CONDITIONS DE NON CONTRE INDICATION DIABETOLOGIQUE A LA PLONGEE SUBAQUATIQUE DE LOISIR CHEZ LE JEUNE DIABETIQUE

1. Diabétique type 1 âgé(e) de plus de 14 ans et moins de 18 ans.
2. Suivi diabétologique régulier (au moins 3 fois / an) depuis au moins un an par le même diabétologue. Une éducation diabétologique, notamment concernant la gestion de l'insulinothérapie et la prévention de l'hypoglycémie en cas d'activité sportive a été dispensée.
3. HbA1c < 8,5%
4. Auto-surveillance glycémique régulière (au moins 3 fois / jour).
5. Aucune hypoglycémie sévère ni acidocétose dans les 3 mois précédant la délivrance du certificat.
6. Seuil de perception correct des hypoglycémies (> 0,50g/l). Le jeune patient doit savoir reconnaître une hypoglycémie et y réagir seul.
7. Absence de retentissement macroangiopathique ou microangiopathique
8. Accepte de se soumettre et suivre le protocole de mise à l'eau : prévention de l'hypoglycémie

C. PREROGATIVES TECHNIQUES RESTREINTES

1. Aucune autonomie pour les jeunes plongeurs insulino-dépendants et ce, quel que soit leur niveau de plongeur
2. Plongées encadrées par un E2 au minimum en milieu naturel, un E1 au minimum en milieu artificiel. En milieu naturel: présence obligatoire sur le bateau d'un parent responsable ou d'un représentant adulte.

3. Une seule plongée par jour
4. Plongées dans la courbe de sécurité.
5. Plongées dans l'espace médian (20 mètres maximum). Durée de la plongée limitée à 30 minutes.
6. Outre l'encadrant et les autres plongeurs, la palanquée ne peut comprendre plus d'un plongeur diabétique insulino-dépendant, et cela quel que soit son niveau
7. Interdiction de plonger :
 - __en cas de température de l'eau inférieure à 14°C
 - __s'il existe des conditions gênant la mise en pratique du protocole de mise à l'eau (bateaux peu stables, pneumatiques par exemple...)...
 - __si, en cas d'émersion rapide, le retour vers le bateau est difficile (courant, vagues, turpitude de l'eau, brume, nuit, etc...),

D. COMMENTAIRES

__Ce document vise à permettre la pratique sécurisée de la plongée subaquatique par un jeune diabétique type 1 insulindépendant mineur de plus de 14 ans.

__Le Médecin Fédéral signataire du certificat final aura pour mission de rappeler les prérogatives de pratique et le fait que la plongée peut être pratiquée selon les informations et recommandations qui lui auront été données. C'est lui qui remettra au jeune plongeur diabétique la « lettre d'information ».

__Une qualification particulière pour l'encadrement de ces plongeurs n'est pas nécessaire ; il est du devoir des diabétiques d'informer des contraintes de ce type de plongée l'encadrant, voire les plongeurs de la palanquée,. Il est par contre conseillé aux encadrants et aux directeurs de plongée de consulter les informations relatives à la pratique de plongée chez le diabétique en se connectant sur le site de la F.F.E.S.S.M. (C.T.N et C.M.P.N.). Une autorisation parentale est nécessaire et sera demandée par le directeur de plongée.

__A défaut de respect des conditions spécifiques techniques et médicales, l'encadrant ou le directeur de plongée peuvent refuser de faire plonger le diabétique insulino-dépendant.

E. PIÈCES ANNEXES

__Modèle fédéral de certificat établi par le diabétologue traitant

__Modèle fédéral de lettre au diabétique

__Modèle fédéral d'autorisation parentale

Annexe 2

Informations au plongeur diabétique traité à l'insuline et protocole de mise à l'eau (juin 2014)

**CERTIFICAT DE NON CONTRE-INDICATION DIABETOLOGIQUE A LA PLONGEE SOUS-MARINE
D'UN DIABETIQUE**

*Certificat à remplir par le médecin Endocrinologue – Diabétologue suivant habituellement le patient.
Il est le préalable nécessaire à la réalisation du certificat médical final de non contre-indication délivré
par un médecin de la FFESSM*

Je soussigné (e) Docteur exerçant en qualité d'Endocrinologue – Diabétologue atteste avoir pris connaissance des 7 conditions de non contre-indication à la plongée sous-marine chez le diabétique, recommandées par la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-marins, indiquées au dos de ce certificat et certifie que M/Mme/Mlle né (e) le dont j'assure le suivi depuis au moins un an répond à ces 7 conditions et ne présente pas à ce jour de contre-indication diabétologique à la plongée sous-marine avec les prérogatives restreintes prévues par la FFESSM pour les plongeurs diabétiques insulinotraités.

Certificat valable un an, fait à la demande de l'intéressé et remis en main propre pour faire valoir ce que de droit.

Fait à, le/...../.....

Signature du médecin

Cachet du Médecin

**SEPT CONDITIONS DE NON CONTRE-INDICATION DIABETOLOGIQUES
A LA PLONGEE SOUS-MARINE DE LOISIR**

Ces conditions figurent au dos du certificat médical remis par le candidat au médecin diabétologue

1. Diabétique insulinotraité âgé d'au moins 18 ans.
2. Suivi diabétologique régulier (≥ 3 fois / an) depuis au moins un an par le même diabétologue. Une éducation diabétologique, notamment concernant la gestion de l'insulinothérapie et prévention de l'hypoglycémie en cas d'activité sportive a été dispensée.
3. HbA1c $\leq 8,5\%$
4. Auto-surveillance glycémique régulière ≥ 4 fois / jour.
5. Aucune hypoglycémie sévère ni acidocétose dans l'année.
6. Seuil de perception correct des hypoglycémies ($> 0,50g/l$). Le patient doit savoir reconnaître une hypoglycémie et y réagir seul.
7. Absence de retentissement macroangiopathique ou microangiopathique. En particulier pas de neuropathie périphérique patente.

INFORMATIONS AU PLONGEUR DIABETIQUE

Cette lettre est remise par le médecin fédéral qui va signer le certificat de non contre indication définitif à la pratique de la plongée sub aquatique

Madame, Mademoiselle, Monsieur, vous êtes diabétique insulinotraité, et allez pratiquer la plongée sub aquatique de loisir. Le certificat médical de non contre-indication vous a été remis pour une durée d'un an, avec les recommandations de la FFESSM explicitées ci dessous.

1/ Vos prérogatives de plongée :

- accès à l'autonomie N2 : PA-20 / PE-40
- un seul diabétique par palanquée
- plongée dans la courbe de sécurité
- 2 plongées / jour maximum (règles fédérales)
- T° eau > 14°C (sauf port d'une combinaison étanche)
- la prise de sucre sous l'eau (en dehors de l'hypoglycémie) est possible dès lors que « le Lacher et Reprise d'Embout » (LRE) est acquis.

2/ Votre binôme et le directeur de plongée doivent être informés de :

- Votre diabète.
- De la conduite à tenir en cas d'hypoglycémie.

3/ Vous devez impérativement avoir avec vous, en plus du matériel habituel de plongée :

- Votre lecteur de glycémie en état de marche avec bandelettes et stylo auto piqueur. (prévoir un récipient pour recueillir les bandelettes et lancettes usagées)
- Un moyen de vérifier l'acétonurie ou l'acétonémie.
- Traitement insulinique habituel à disposition dont stylo d'insuline rapide.
- Moyen de resucrage à bord – au minimum 60 grammes de Glucides.
(15g = 1 petit berlingot de jus de fruit ou de lait concentré sucré ou 1 barre de céréales...)
- Moyen de resucrage à emporter pendant la plongée dans votre gilet stabilisateur.
(Glucodose®, lait concentré sucré, ...). Si un resucrage s'avérait nécessaire en cas d'hypoglycémie, il serait à effectuer en surface.
- la prise de sucre sous l'eau (en dehors de l'hypoglycémie) est possible dès lors que « le Lacher et Reprise d'Embout » (LRE) est acquis.

4/ Adaptation des doses d'insuline :

Baisser les doses d'insuline de 30% :

la veille de la plongée : base

le jour de la plongée: base + bolus.

A adapter au cas par cas après discussion avec votre diabétologue

5/ Prévention de l'hypoglycémie : protocole de mise à l'eau

3 glycémies capillaires à T-60, T-30 et T-15 minutes

Les contrôles glycémiques devront être effectués avant d'embarquer (environ 1h avant la plongée), avant de s'équiper (au moins 30mn avant l'immersion) et dans les 15 mn précédant la mise à l'eau

- T-60 mn :**
- glycémie < 1,6g : prendre 30g de glucides**
 - glycémie entre 1,6 et 2g : prendre 15g de glucides**
 - glycémie > 2g : attendre le contrôle à 30 mn**
 - glycémie > 3g : vérifier l'acétonémie ou l'acétonurie
si elle est positive :STOP annulez votre plongée**
- T-30 mn :**
- glycémie < 1,6g : prendre 30g de glucides**
 - glycémie entre 1,6 et 2g : prendre 15g de glucides**
 - glycémie > 2g : attendre le contrôle à 15 mn**
- T-15 mn :**
- glycémie < 1,60g : STOP annulez votre plongée**
 - glycémie entre 1,6g et 2g : prendre 15g de glucides et mise à l'eau**
 - glycémie > 2g : mise à l'eau**

exemples glucides : 15grammes= 3 morceaux de sucre n°4 ou 2 petits abricots secs ou 1 banane sèche ou 150ml de coca ou 2 biscottes

30grammes= 1 figue sèche ou 1 barre chocolatée Mars

OBJECTIF GLYCEMIQUE DE MISE A L'EAU > 2g/l
--

6/ En cas de sensation d'hypoglycémie en cours de plongée :

A/ Faire le signe « ça ne va pas »

B / Ce signe implique fin de plongée immédiate et retour en surface :

- à la vitesse habituelle de 12 à 15 m/min (pas de palier de sécurité à 3m).
- avec surveillance rapprochée voire assistance du moniteur.

C/ Resucragerecommandé en surface et retour au Bateau.

- Quelle impression retiens tu de ton séjour à Mayotte?

- Est ce que ce projet a changé quelque chose pour toi?

- Est ce que ce projet a changé le regard des autres sur toi? Tes parents?
Ta famille? Tes ami ?

- Souhaites tu continuer de plonger?

- Quels conseils donnerais tu pour que les jeunes puissent plonger?

- Que souhaites tu faire plus tard dans la vie?