



HAL
open science

Exposition aux maladies métaboliques et cardiovasculaires : rôle de l'activité physique

Sophie Antoine-Jonville

► **To cite this version:**

Sophie Antoine-Jonville. Exposition aux maladies métaboliques et cardiovasculaires : rôle de l'activité physique. Autre [q-bio.OT]. Université des Antilles et de la Guyane, 2013. tel-01487688

HAL Id: tel-01487688

<https://hal.science/tel-01487688>

Submitted on 15 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université des Antilles et de la Guyane

**Exposition aux maladies métaboliques et cardiovasculaires :
rôle de l'activité physique**

Travaux présentés le **15 mars 2013** en vue de l'obtention de
l'Habilitation à Diriger des Recherches
Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (74^{ème} section)

Présentés par

Sophie Antoine-Jonville,

Maître de Conférences des Universités,
membre du laboratoire ACTES (EA 3596)

Version du document dédiée aux membres du jury – 21 janvier 2013

Composition du jury :

Pr. Serge Briançon, PU-PH, Université de Lorraine	rapporteur
Pr. François Carré, PU-PH, Université de Rennes	rapporteur
Pr. Olivier Hue, PU, Université des Antilles et de la Guyane	directeur de recherche
Pr. Eustase Janky, PU-PH, Université des Antilles et de la Guyane	examineur
Pr. Annie Lannuzel, PU-PH, Université des Antilles et de la Guyane	rapporteur
Pr. Jacques Mercier, PU-PH, Université de Montpellier	examineur

Remerciements

Ma gratitude va à l'ensemble des membres du jury. Merci pour le temps et l'énergie que vous me consacrez, merci d'accepter de partager votre expertise. Je crois savoir que chacun d'entre vous a développé des connaissances, structuré un domaine ou accompli un projet que je respecte énormément. Je mesure la chance que j'ai que vous ayez accepté de participer à ce jury et j'en suis très sincèrement honorée.

Monsieur le Professeur Olivier Hue, je te remercie de m'avoir fait confiance, et pour tout le reste. C'est une collaboration qui semble fonctionner depuis 10 ans, de CPER en dossiers et factures, avec des stats et des papiers dans les beaux jours, malgré une productivité de ma part défaillante sur le critère des publis. C'est bon d'avoir des traces à suivre, c'est bon de savoir qu'il y a toujours un capitaine dans le bateau soumis aux différents vents et marées. Ton amitié m'est précieuse.

Mes chers collègues (ou ex-collègue pour Michel LH) de l'UFRSTAPS, il y a bien des jours où je vous maudis, notamment quand vos cases tombent en même temps dans l'emploi du temps (qui demeure donc provisoire) mais c'est un réel plaisir de faire partie de cette "maison" avec vous. Je vous adresse à tous mes remerciements, à ceux qui ont monté les murs, aux "nouveaux" qui nous apportent la pêche, et aux autres, avec une mention spéciale à Stéphane mon ancien étudiant et désormais collègue grâce à qui je me sens moins incomprise, et surtout aux indéfectibles Claude, Gene et Seb.

Au labo ACTES, aux collègues et étudiants (et ex-), aux partenaires du labo : je nous souhaite plus de solidarité, plus d'échanges interdisciplinaires et je remercie surtout ceux qui vont dans ce sens, et ceux qui y sont allés dans ce sens, qu'ils soient encore dans notre labo ou non, et c'est Michelle que j'ai le plus envie de remercier, en pensant aussi à Laurent, Fagnété, Jacques, Jérôme, Sylvain, Seb (un partage de bureau, ça vaut bien 2 vagues de remerciements !), Elsa, Roland, Priscia, Marie-Laure, Benoît, Phil, Guillaume.

J'ai franchi des étapes scientifiques importantes ailleurs qu'à l'UAG. Poitiers, ça commence à dater, mais c'est au LAPMH que cette vie-là a vraiment commencé, avec Marie-Agnès (mais cette amitié était déjà bien ancrée), André, Nathalie, Aurélien, Cyril, Laurent, Nadia, Fabrice, Mario, Karen et je n'oublierai jamais ces années-là. Il y a eu Londres aussi,

avec Mark, Nick et Mike. Le dernier tournant, c'était à Toronto, and I have to thank all the nutrition lab, in particular Harvey, but also Tina, Sandra, Sascha, Dalia because i learnt so much with you.

Et parce que l'énergie se trouve dans notre vie tout court, et que certains sont toujours toujours là, aussi parce que les meilleurs moments sont ceux qui sont partagés, merci mes amis hors-fac Véro, Isa, Nadia, Emma, Guillaume, Milène, Marie-Amélie, Aurélien, Luce, Lisou, et merci ma famille, maman, papa, Babeth, Juju, Marie, Vivi, Fitz, Armel, Diane et Juliane. Je ne parviens pas à vous donner l'attention et le temps que vous méritez, mais je pense à vous, bien plus que ce que je ne vous montre.

Sommaire

Introduction 1

Partie 1. Présentation de la candidate

1. Fonctions, formation initiale et continue	3
2. Orientations scientifiques	8
3. Responsabilités collectives	12
4. Communications	15
4.1. Revues internationales indexées	15
4.2. Chapitres d'ouvrage	16
4.3. Rapport	16
4.4. Communications à des congrès à une place significative	17

Partie 2. Les comportements d'activité physique, déterminants de la santé cardiométabolique, dimension théorique

1. Activités physiques : généralités	
1.1. Sources de dépense énergétique	20
1.2. Niveau d'activité physique	22
1.3. Quantification de l'activité physique	23
1.4. Opposition stricte entre activité physique et sédentarité	23
1.5. Le stress de la sédentarité	27
2. Facteurs de risque : généralités	
2.1. Le modèle de la cause suffisante : une conceptualisation opérationnelle	30
2.2. Risque cardiométabolique	32
2.3. Les comportements d'activité physique parmi les facteurs et marqueurs de risque cardiovasculaires	33
3. Relation causale entre l'activité physique et la santé cardiométabolique	
3.1. Force de l'association	37
3.1.1. Indices	37
3.1.2. Définition du groupe exposé et du groupe contrôle	39
3.2. Spécificité de l'association	40
3.2.1. Intrication des facteurs de risque	41
3.2.2. Contrôle des biais	43

3.3. Constance de l'association	44
3.4. Cohérence temporelle	45
3.5. Relation dose-effet	47
3.5.1. Nature des variables examinées	48
3.5.2. Largeur de la fenêtre d'observation	48
3.5.3. Correction d'un facteur de risque, réversibilité	51
3.6. Plausibilité de la cause, cohérence biologique	52
3.7. Evaluation expérimentale	52
3.8 Synthèse	55
4. Les recommandations en activité physique et leur suivi	
4.1. Notion d'équivalents métaboliques (MÉTs)	61
4.2. Recommandations internationales en activité physique pour les adultes	63
4.2.1. Recommandations de l'organisation mondiale de la santé	64
4.2.2. Recommandations du collège américain de médecine du sport	64
4.2.3. Recommandations en nombre de pas quotidiens	65
4.3. Recommandations internationales en activité physique pour les enfants et les adolescents	68
4.4. Recommandations françaises	69
4.5. L'application des recommandations dans le monde chez les adultes	71
4.5.1. Données issues de questionnaires et entretiens	71
4.5.2. Données issues de la mesure de l'activité physique	73
4.6. L'application des recommandations dans le monde chez les enfants et les adolescents	76
4.7. L'application des recommandations en France	76
4.8. Considérations personnelles sur le suivi de l'application des recommandations	77

Partie 3. La nécessité de promouvoir l'activité physique. Implication en Guadeloupe et en Martinique

1. Conjugaison particulière des facteurs de risque chez les Guadeloupéens originaires d'Inde. Place des comportements d'activité physique	
1.1. La population guadeloupéenne	82
1.2. Le diabète de type 2 dans les populations indiennes	84
1.3. Le phénotype asiatique indien	85
1.4. Composition corporelle des adolescents Guadeloupéens originaires d'Inde	86
1.4.1. Hypothèses explicatives de la surexposition des populations indiennes au diabète de type 2 en Guadeloupe	86
1.4.2. Etudes anthropométriques des adolescents guadeloupéens	87

1.5. Hypothèse des comportements d'activité physique dans la surexposition des populations indiennes au diabète de type 2 en Guadeloupe	91
2. Tous à l'eau - Nou tout an dlo la : expérimentation pilote de structuration de l'offre d'activité nautique chez les personnes atteintes de maladies chroniques	
2.1. Contexte et objectifs	92
2.2. Méthodologie : préparation et choix	93
2.2.1. Activités	93
2.2.2. Critère de jugement : qualité de vie	94
2.2.3. Critère de jugement : comportements d'activité physique	96
2.3. Méthodologie : recrutement et intervention	97
2.3.1. Critères d'inclusion et de non-inclusion	97
2.3.2. Recrutement et éthique	97
2.4. Résultats et discussion	99
2.4.1. Participants et la participation	99
2.4.2. Qualité de vie	101
2.4.3. Comportements d'activité physique	104
2.5. Limites, conclusions et perspectives	107
2.5.1. Limites et conclusions	107
2.5.2. Perspectives	108
3. ACT : un projet de réentraînement à l'effort de patients à risque cardiovasculaire modéré ou élevé	
3.1. Contexte	110
3.2. Objectifs et hypothèses	111
3.3. Schéma de la recherche	112
3.4. Critères d'inclusion et de non-inclusion	113
3.5. Recrutement, éthique et aspects réglementaires	116
3.6. Critère de jugement principal : vitesse de l'onde de pouls	117
3.7. Procédure à l'étude : réentraînement à l'effort	119
3.8. Organisation générale	119
3.9. Résultats attendus	121

Bibliographie

Annexes

Annexe 1 : attestation de réussite au diplôme de doctorat

Annexe 2 : attestation de réussite au diplôme d'Université

Annexe 3 : attestation de participation à des activités d'expertise

Sélection de publications relatives à des thématiques non présentées dans ce document

- Putative protective effect of inspiratory threshold loading against exercise-induced supraspinal diaphragm fatigue. Jonville S, Jutand L, Similowski T, Denjean A, Delpech N. *J Appl Physiol* 2005;98:991-8

- Heterogeneity of dietary profiles in highly sedentary young Guadeloupean women. Antoine-Jonville S, Sinnapah S, Laviolle B, Paillard F, Hue O. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010;20:401-8

- Oxygen uptake efficiency slope, aerobic fitness, and V(E)-VCO₂ slope in heart failure. Antoine-Jonville S, Pichon A, Vazir A, Polkey MI, Dayer MJ. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:428-34

Quelques publications relatives au rôle de l'activité physique dans l'exposition aux maladies métaboliques et cardiovasculaires :

- Is the leisure-time physical activity of Asian Indian Guadeloupean adolescents different from that of their island counterparts? Sinnapah S, Antoine-Jonville S, Hue O. *Ethn Health*. 2009;14:303-14

- Asian Indian adolescents from Guadeloupe are fatter than their island counterparts. Sinnapah S, Antoine-Jonville S, Hue O. *Br J Nutr* 2009;102:1820-7

- Relationship between body mass index and body composition in adolescents of Asian Indian origin and their peers. Antoine-Jonville S, Sinnapah S, Hue O. *Eur J Public Health* 2012;22:887-9

- Abnormal blood pressure in adolescents from Guadeloupe. Association with obesity, physical activity and TV viewing. Antoine-Jonville S, Sinnapah S, Hue O. *Submitted*

Index des figures et tables

Figure 1. Répartition de la dépense énergétique chez un homme actif de 40 ans et 75 kg. Les valeurs sont des approximations basées sur la synthèse de la littérature, de calculs et de données personnelles.

Figure 2. Relation fictive entre une variable de quantification de l'activité physique en abscisse et en ordonnée, une variable Y dont on souhaiterait identifier la relation dose-effet.

Figure 3. Synthèse des terminologies classiquement utilisées pour catégoriser les activités en fonction de leur intensité relative pour des individus de condition physique normale.

Figure 4. Intensité relative en fonction de la consommation maximale du pratiquant en ordonnée, et du nombre de fois où le métabolisme de base est sollicité pour la réalisation de l'activité en abscisse.

Figure 5. Distribution du niveau d'activité physique telle qu'elle est probablement dans la population française actuellement selon nos estimations et distribution-cible que l'on pourrait chercher à atteindre à moyen terme. Données virtuelles.

Figure 6. Relation entre l'épaisseur du pli iliaque (mm) et le score Z d'indice de masse corporelle chez les filles et les garçons de l'échantillon d'adolescents Guadeloupéens.

Figure 7. Energie dépensée dans les activités physiques de loisirs chez les adolescents guadeloupéens originaires d'Inde et contrôles présentée chez les filles et les garçons.

Figure 8. Energie dépensée dans les activités physiques de loisirs chez des travailleurs guadeloupéens originaires d'Inde et contrôles présentée chez les femmes et les hommes.

Figure 9. Design et flux des participants dans Tous à l'eau.

Figure 10. Evolution du score de qualité de vie dans les différentes dimensions, entre l'évaluation initiale, l'évaluation immédiatement à la fin des 10 semaines d'accès facilité à la pratique, et l'évaluation différée à la fin de la période de suivi de 10 semaines après la dernière séance de pratique.

Figure 11. Evolution de l'activité physique (en MET.minutes.semaine⁻¹) entre l'évaluation initiale, l'évaluation immédiatement à la fin des 10 semaines d'accès facilité à la pratique, et l'évaluation différée à la fin de la période de suivi de 10 semaines après la dernière séance de pratique.

Figure 12. Recrutement et affectation des patients dans le projet ACT.

Figure 13. Organisation générale autour du parcours patient dans le projet ACT.

Table 1. Etapes dans la formation et les postes de la candidate.

Table 2. Principales responsabilités collectives exercées par la candidate.

Table 3. Définitions utilisées dans ce mémoire.

Table 4. Présentation conventionnelle des résultats dans une enquête de cohorte.

Table 5. Apport énergétique absolu et relatif à la masse corporelle, et distribution relative des macronutriments dans l'apport énergétique d'adultes (données de l'Etude Nationale Nutrition Santé) dans 2 populations virtuelles recomposées.

Table 6. Synopsis des arguments majeurs (force de l'association, gradient, homogénéité de la littérature, preuve expérimentale) permettant d'apprécier la relation causale entre les comportements d'activité physique et d'adultes.

Table 7. Synthèse des recommandations nationales et internationales d'activité physique chez les adultes sains.

Table 8. Critères d'éligibilité dans le projet ACT.

Abréviations utilisées

ACTES	Adaptation au Climat Tropical, Exercice et Santé (Sociétés avant 2010)
AVC	Accident Vasculaire Cérébral / Accidents Vasculaires Cérébraux
DT2	Diabète de Type 2
GOI	Guadeloupéens d'origine indienne
HAS	Haute Autorité de Santé
HbA1c	Hémoglobine glyquée
IPAQ	International Physical Activity Questionnaire, soit questionnaire international d'activité physique
OMS / WHO	Organisation mondiale de la santé / World Health Organization
PAL	Niveau d'activité physique (PAL pour en anglais, Physical Activity Level)
PNNS	Plan National Nutrition Santé
STAPS	Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives
$\dot{V}O_2$	Consommation maximale d'oxygène
VOP	Vélocité de l'Onde de Pouls
WHOQOL	World Health Organization Quality Of Life

Introduction

Cet écrit veut convaincre de notre capacité à concevoir, diriger, animer et coordonner des activités de recherche, et accompagner des doctorants sur la voie de recherches pertinentes et de valeur sur l'activité physique. Dans une première partie est proposé un curriculum vitae commenté. Y est présenté notre cheminement, de la fatigue des muscles ventilatoires, thème développé en thèse puis approfondi dans un post-doctorat jusqu'à la régulation de l'appétit par l'activité physique d'une part, et la prise en charge par l'activité physique de populations à risque cardiovasculaire élevé d'autre part, thématiques de travail qui nous animent actuellement pour la partie fondamentale. Il s'agit de montrer les articulations et les cohérences, de faire émerger des régularités – dans les défauts et les qualités - que les lecteurs ne manqueront pas d'identifier, mais aussi de justifier les allers-retours entre des préoccupations plutôt fondamentales ou méthodologiques, et les interventions sur le terrain.

Dans une deuxième partie sont développés l'approche théorique et des arguments permettant d'appréhender les comportements d'activité physique chez l'humain comme une cause possible de maladie cardiovasculaire ou métabolique, ce qui nécessite quelques réflexions sur la notion de facteur de risque, et sur les places respectives de l'épidémiologie et du paradigme expérimental dans l'élaboration de la connaissance dans ce champ.

Enfin, dans une dernière partie sont présentés des travaux de terrain prévus ou terminés, sélectionnés parmi d'autres études et témoignant de notre implication en Guadeloupe et Martinique à promouvoir l'activité physique et à rendre disponibles des projets et des données soutenant la promotion de l'activité physique comme une indispensable dimension des actions en santé publique relatives aux maladies métaboliques et cardiovasculaires, à leur prévention et à leur prise en charge.

Partie 1 - Présentation de la candidate

1. Fonctions, formation initiale et continue

La grande présence dans notre jeunesse de la natation a contribué fortement à notre orientation en sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS). Nous avons intégré cette filière avec une orientation en physiologie de l'exercice en DEA, et ce jusqu'en thèse (annexe 1), et ensuite bénéficié d'une bourse d'une société scientifique internationale (European Respiratory Society) pour un stage post-doctoral d'un an.

Les principales techniques auxquelles nous avons été formée et pour lesquelles nous avons développé une autonomie au cours de cette période sont :

- l'enregistrement et l'interprétation des paramètres métaboliques au cours d'épreuves d'effort chez l'athlète, le sujet sain, le bronchopneumopathe chronique obstructif, l'insuffisant cardiaque ; l'utilisation critique des chaînes d'analyses des gaz,
- la stimulation magnétique périphérique (en particulier phrénique, fémorale) et transcrânienne (paradigme de la simple et double stimulation) ; la stimulation nerveuse électrique,
- l'enregistrement et analyse du signal électromyographique (de surface et oesophagien) et mécanique en réponse aux stimulations énoncées ci-dessus ; l'analyse de l'activité électromyographique spontanée,
- la quantification et la modification (charges, ventilation non invasive) du travail ventilatoire,
- la mesure, l'analyse et l'interprétation de la variabilité de la fréquence cardiaque au repos et à l'exercice.

La commission de spécialistes de l'Unité de Formation et de Recherches en STAPS de l'Université des Antilles et de la Guyane m'a recrutée comme attachée temporaire d'enseignement et de recherches à mi-temps pour la rentrée de septembre 2003. Au cours de cette année universitaire, nous avons surtout préparé l'ouverture effective de la licence "activités physiques adaptées", formation dont une maquette avait été validée mais qui n'était pas encore offerte. Par ailleurs, en termes de recherches, notre implication a consisté à intégrer certaines techniques au sein du laboratoire ACTES (adaptation au climat tropical, exercice et sociétés), Equipe d'Accueil dirigée par Dr. puis Pr. Olivier Hue depuis 1999. En

particulier, notre implication dans les travaux sur l'imagerie de Peddy Caliarì dirigé par Pr. Yves-André Féry, et dans les travaux sur la chronobiologie et l'exercice menés par Sébastien Racinais sous la direction du Dr. Olivier Hue (Racinais *et al.*, 2005), devait faciliter l'utilisation de l'électromyographie et le traitement de signal. Nous avons ainsi pu contribuer à la formation de ces étudiants de thèse sur ces techniques.

La même commission nous a ensuite recrutée en tant que Maître de conférences des Universités pour la rentrée de septembre 2004 sur le poste 0444 . A ce titre, nous avons exercé notre charge d'enseignement statutairement définie (192h minimum) et assumé des responsabilités administratives qu'il n'est pas nécessaire de détailler ici. La principale de ces responsabilités est la supervision de la licence "activités physiques adaptées" puis "activités physiques adaptées - santé" jusqu'à juillet 2010. Nos enseignements concernent généralement la physiologie de l'exercice et des grandes fonctions, le réentraînement à l'effort, les publics spécifiques, la relation activité physique et santé au niveau licence, et plus récemment master. Nous effectuons aussi des vacations depuis 2004 à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Fort-de-France, et des interventions ponctuelles dans diverses institutions partenaires de notre laboratoire et unité de formation et de recherches (Conservatoire National des Arts et Métiers, Institut Universitaire de Formation des Maîtres par exemple).

Le développement d'une activité de recherche autour de diabète de type 2 (DT2) et de l'exercice physique nous a été confié par le directeur de notre Equipe d'Accueil. Cette mission requérait des collaborations fortes avec le milieu hospitalier, point sur lequel nous échoppons toujours actuellement. Pour la mener à bien, elle était accompagnée de la responsabilité de la co-direction du travail de recherche de Diplôme d'Etudes Approfondies de Stéphane Sinnapah, qui s'est engagé en thèse par la suite. Ce dernier a souhaité s'interroger sur la possible contribution de comportements d'activité physique dans la surreprésentation du DT2 chez les Guadeloupéens originaires d'Inde. Les difficultés que nous avons rencontrées à mener des travaux expérimentaux de physiologie humaine en laboratoire nous ont amenés à dévouer notre énergie sur une approche épidémiologique. Cette approche nous semblait quoi qu'il en soit nécessaire, posait moins de problème administratif et semblait de premier abord générer moins de problèmes techniques. Ces travaux nous ont amenés dans le champ de la santé

publique, dans lequel nous avons développé certaines compétences. Parallèlement, nous avons acquis de l'expérience en travaillant au contact des acteurs de la santé dans la région pour promouvoir l'activité physique, soit pour développer les activités physiques adaptées et leur professionnalisation, soit pour la recherche et la santé publique, ou encore par rapport à des combinaisons de ces principales motivations. Il nous a semblé opportun de les concrétiser et de compléter cette expérience de terrain par une formation. En effet, il apparaît rapidement que l'échelle des populations est importante dans les questions de santé. Il est aussi évident que des connaissances et des méthodes sont nécessaires pour appréhender la prévention des maladies non transmissibles dans ces populations et pour interagir avec les autorités compétentes. Aussi, le Diplôme d'Université en santé publique et promotion de la santé proposé par l'Ecole de Santé Publique de la Faculté de Médecine de Nancy nous a paru comme le plus adapté, d'autant plus avec la possibilité d'être en formation continue à distance (annexe 2).

Au cours de cette période, de 2004 à 2010, nos efforts se sont plus dirigés vers une dimension conceptuelle, en particulier la démarche en santé publique, bien que la légitimité d'un non-médecin est dans les faits assez contestée. La dimension technique a été moins développée, avec malgré tout l'acquisition de quelques techniques relatives à la quantification et l'interprétation de l'apport et de la dépense énergétique, et l'appropriation de certaines méthodes statistiques.

Notre parcours est marqué d'une relative mobilité qui a surtout répondu à une logique de formation. Cette dimension internationale nous intéresse particulièrement, en ce qu'elle est enrichissante humainement, mais aussi de par les dimensions du challenge et de la remise en cause qu'elle impose. Pour acquérir des compétences à caractère plus administratif dans la gestion de projets internationaux, nous tentons aussi de compléter cette expérience par la participation à des événements ou programmes, comme par exemple

- le séminaire "Quels instruments financiers communautaires pour la recherche et l'innovation dans les RUP et les PTOM ?" organisé par la Région Martinique, en partenariat avec la Commission Européenne du 3 au 5 novembre 2009 à Fort-de-France,
- ou encore la participation au programme ERASMUS avec la réalisation d'une mission d'enseignement et de recherche au département de santé

publique du King's College de Londres (Department of Primary Care and Public Health Sciences, King's College London School of Medicine at Guy's, King's College and St Thomas' Hospitals, Guy's Campus, Capital House, Weston Street, London SE1 3QD, UK) du 22 mars au 1er avril 2010.

C'est en 2011 que cette mobilité a été la plus déterminante. Nous avons eu la chance de bénéficier d'un congé pour recherches et conversion thématique d'un semestre (attribué par l'Université des Antilles et de la Guyane), que nous avons exploité pour nous rendre dans un laboratoire du département de nutrition de l'Université de Toronto dont le directeur le Pr. Harvey Anderson nous a accueillie. Le tournant engagé n'apparaît pas dans la suite de ce document où nous avons sélectionné nos activités. Nous espérons que les réflexions engagées à Toronto seront à la source de l'éventuelle réussite du projet engagé portant sur l'influence de la thermorégulation sur les interactions entre comportements alimentaire et d'activité physique.

Notre parcours de formation et de fonctions est présenté de manière synthétique et chronologique ci-après :

Études secondaires au Lycée Paul Duez, Cambrai puis au Lycée Camille Guérin, Poitiers. Prix de l'Éducation nationale en 1993

Licence STAPS à l'Université de Poitiers obtenue en juin 1997.

Maîtrise en Sciences du Sport obtenue en juin 1998 après une année d'étude à l'Université de Montréal (Québec, Canada) dans le cadre du programme d'échange CREPUQ

DEA Sport, Santé, Société Poitiers-Bordeaux obtenu en juin 1999. Mémoire intitulé Rôle de l'acidose dans la fatigue diaphragmatique. Financement par une bourse universitaire de DEA attribuée sur critères universitaires

Thèse de doctorat de troisième cycle Sciences de la vie et de la santé, mention STAPS soutenue le 12 décembre 2002 intitulée *Fatigue des muscles inspiratoires induite par l'exercice chez l'homme : évaluation par la stimulation magnétique*, dirigée par le Pr. André Denjean (Laboratoire d'Analyse de la Performance Motrice Humaine - LAPMH) et Laboratoire d'Explorations Fonctionnelles Respiratoires, CHU de Poitiers) et Dr. Nathalie Delpech (LAPMH), réalisée au LAPMH (faculté des sciences du sport de Poitiers, EA 2253) et financée par une allocation ministérielle (numéro de contrat 99026)

Stage post-doctoral (août 2002-août 2003) dans le laboratoire des muscles respiratoires du Royal Brompton Hospital (Londres, Royaume-Uni) dirigé par le Dr. Michael Polkey. Stage financé par une bourse de la European Respiratory Society

Attachée temporaire d'enseignement et de recherches (septembre 2003-août 2004) à l'Unité de Formation et de Recherche en STAPS de l'Université des Antilles et de la Guyane. Membre du laboratoire ACTES, EA3596

Maître de conférences des Universités (septembre 2004-) à l'Unité de Formation et de Recherche en STAPS de l'Université des Antilles et de la Guyane, stagiaire, puis titularisée depuis le 1er septembre 2005. Membre du laboratoire ACTES, EA3596

Diplôme d'Université santé publique et promotion de la santé (suivi en formation continue, validé en 2008), école de santé publique, Faculté de Médecine, Université Henri Poincaré de Nancy

Congé pour recherche et conversion thématique (février 2011-juillet 2011), passé au sein du département des sciences nutritionnelles de l'Université de Toronto (Ontario, Canada)

Table 1. *Étapes dans la formation et les postes de la candidate.*

2. Orientations scientifiques

Nos **travaux de DEA et de thèse** au sein du laboratoire de physiologie de l'exercice (laboratoire d'analyse de la performance motrice humaine) de l'unité de formation et de recherche STAPS de Poitiers et du service d'exploration fonctionnelles respiratoires du centre hospitalier universitaire de la région ont porté sur la fatigue des muscles inspiratoires induite par l'exercice chez l'homme et son évaluation par la stimulation magnétique. La fatigue des muscles ventilatoires se développe dans certaines conditions d'exercice. Ses conséquences sur la performance sont controversées mais semblent devoir ne pas être négligées. Dans ce travail de thèse, il a été vérifié que la mesure de pression à la bouche en réponse à la stimulation magnétique des nerfs phréniques évalue la fatigue des muscles inspiratoires dans des conditions d'exercice et de fatigue spécifique des muscles inspiratoires (Delpech *et al.*, 2003). Nous avons ensuite suggéré qu'un facteur métabolique, l'acidose, est impliqué dans le développement de la composante périphérique de la fatigue des muscles inspiratoires à l'exercice (Jonville *et al.*, 2002). Pour cette expérimentation, l'indice testé auparavant a été utilisé. L'acidose a été induite par une hypercapnie : les sujets ont contrôlé leur débit ventilatoire à un niveau inférieur à la demande métabolique. Dans une troisième étude, nous avons évalué les conséquences d'une charge inspiratoire sur la composante centrale de la fatigue diaphragmatique à l'exercice. La baisse de l'amplitude des potentiels moteurs évoqués en réponse à la stimulation corticale observée à l'exercice ne se produit pas quand le travail inspiratoire est augmenté (Jonville *et al.*, 2005). Nous proposons que l'activité du diaphragme est relativement moindre dans la session avec charge inspiratoire du fait du recrutement de muscles extra-diaphragmatiques. Nous avons appliqué certains modèles d'analyse de la fatigue aux muscles ventilatoires et suggéré que ce processus intégratif pourrait permettre une optimisation de l'utilisation des ressources physiologiques.

Lors de notre **stage post-doctoral**, nous avons eu l'occasion de nous perfectionner techniquement dans l'exploration de la fonction musculaire respiratoire dans des collaborations avec les chercheurs et cliniciens du laboratoire. Cette expérience outre-Manche a également été un temps fort de formation intellectuelle et scientifique puisque nous avons été au contact de personnalités marquantes dans le champ de la fatigue des muscles ventilatoires,

ou plus généralement dans la physiologie et j'ai bénéficié d'échanges autour de certaines hypothèses théoriques, comme celle de la "*sagesse musculaire*". Il s'agit d'un processus de diminution de la décharge des motoneurones accompagnée de réorganisation du recrutement musculaire qui permettrait de préserver l'intégrité de la fonction contractile. Ceci a renforcé notre intérêt pour l'adaptation physiologique à l'exercice et l'entraînement, ces derniers offrant des opportunités inégalables d'observation des capacités d'adaptations de l'être humain à son environnement. Par ailleurs, cette référence à de grands cadres théoriques, implicitement présents mais pas toujours utilisés ni questionnés, nous a semblé extrêmement importante, et nous souhaitons la voir développée par les étudiants que nous encadrerons dans le futur. Le projet mené pendant cette période a consisté à tester l'hypothèse de la contribution du travail musculaire au développement de la fatigue centrale au cours de l'exercice. Nous avons dirigé la partie expérimentale permettant la comparaison de l'activation centrale après exercice et après hyperventilation chez des sujets sains dans laquelle il a été montré que la dépression des potentiels moteurs évoqués suite à l'exercice ne se produit pas lors de l'hyperventilation isocapnique isolée reproduisant le travail musculaire lié à l'exercice. Ces données ont été complétées par une autre expérimentation menée par un collègue, dans laquelle a été testé l'effet d'un système de ventilation non-invasive sur différentes composantes de la fatigue ventilatoire (Dayer *et al.*, 2007).

Avec notre recrutement comme **Maître de conférences** à l'Université des Antilles et de la Guyane, nous avons été amenée à impulser au sein du laboratoire ACTES la thématique du risque métabolique et cardiovasculaire, ce qui a été possible grâce à l'opportunité de co-encadrer la thèse d'un étudiant portant sur l'hypothèse d'une implication de l'activité physique dans la surexposition des Guadeloupéens d'origine indienne au DT2. Nous avons considéré que ce groupe humain présentait un profil spécifique d'interaction entre les individus, leurs caractéristiques biologiques en particulier, et leur environnement, et que l'activité physique, en tant que comportement socialement et biologiquement déterminé et modifiable méritait des études particulières. L'approche épidémiologique a été retenue pour établir un état des lieux. Nous avons éprouvé l'hypothèse générale selon laquelle une tendance à de plus bas niveaux d'activité physique contribue à surexposer les Guadeloupéens descendants d'Indiens au DT2 et à ses complications. La comparaison du niveau d'activité physique de travailleurs

adultes Guadeloupéens en fonction de leur origine ethnique a permis de mettre en évidence une dépense énergétique quotidienne inférieure dans la communauté d'origine indienne (Sinnapah *et al.*, 2009a). Ce constat a été réitéré dans la population adolescente au sein de laquelle les Guadeloupéens d'origine indienne rapportent des niveaux d'activité physique de loisir moindres tant du point de vue de la dépense énergétique que des intensités de pratique (Sinnapah *et al.*, 2009b). Nous avons ensuite identifié, dans le cadre d'une étude comparative anthropométrique, que les adolescents d'origine indienne ont une tendance à l'excès de masse grasse par rapport à leurs pairs insulaires ce qui est un lien théorique plausible entre activité physique et incidence du DT2 (Sinnapah *et al.*, 2009c). Des études ultérieures sur la prise en charge par l'activité physique et le suivi des adaptations métaboliques et cardiorespiratoires seront informatives quant aux mécanismes impliqués dans ces différences d'exposition au DT2, d'autant plus si nous sommes capables de tenir compte des variables socio-économiques et culturelles. Une autre piste de développement de ces travaux consiste à documenter les mécanismes explicatifs, dans lesquels l'approche biologique est nécessaire. Soulignons que ces travaux, s'ils voient le jour, ne se feront que dans le cadre de collaborations puisque nous ne maîtrisons pas ces techniques et que nous nous limitons à l'approche de l'homme et de ses grandes fonctions, et le plus possible par des techniques non invasives. Ceci se traduit également par les références utilisées dans cet écrit. De manière similaire, partiellement par impuissance, souci de réalité et choix politique, il ne sera qu'anecdotiquement fait référence à la modalité pharmacologique de la prévention et du traitement des maladies cardiovasculaires et métaboliques.

Par ailleurs, notre **participation à la vie des laboratoires** qui m'ont accueillie s'est toujours faite par la mise à disposition de certaines compétences à la réalisation de projets de collègues ou de projets communs, plus particulièrement sur les axes prioritaires du Laboratoire ACTES. Ainsi, nous avons contribué à la caractérisation des réponses métaboliques et hémodynamiques de sujets sains et porteurs du trait drépanocytaire (Marlin *et al.*, 2007 et 2008) au cours d'exercices incrémentaux, par exemple dans une expérimentation investiguant les relations entre réponses hémodynamique et hémorhéologique (Connes *et al.*, 2009), ou dans des études sur les contraintes et adaptations liées au climat tropical chez les sportifs (Hue *et al.*, 2007 et 2010). Nous avons également continué à nous intéresser à des questions méthodologiques sur des outils intéressants d'exploration des

adaptations à l'exercice et à l'entraînement comme l'électromyographie, la variabilité de la fréquence cardiaque et la pente d'efficacité du prélèvement de l'oxygène, avec des travaux dont certains ont pu être publiés (Pichon *et al.*, 2002 et 2006 ; Mollard *et al.*, 2008). Ceci pourrait être perçu comme une dispersion. Il s'agit en fait de la manifestation d'un nécessaire souci de maîtriser les outils utilisés pour appréhender les questions choisies.

Notre projet prioritaire dans les 5 prochaines années est d'étudier les effets de l'entraînement physique sur l'amélioration du risque cardiovasculaire et de la fonction aortique de populations à haut risque cardiovasculaire. A cet effet, une étude multicentrique (le projet ACT conduit en Guadeloupe et Martinique) financée et programmée devrait permettre d'identifier les patients qui vont le plus bénéficier du réentraînement. L'objectif principal est d'étudier la prédictibilité des effets de l'entraînement physique sur la normalisation du risque cardiovasculaire objectivé par la vitesse de l'onde de pouls grâce à la variation de ce paramètre suite à l'exercice aigu. L'identification des déterminants majeurs de la diversité des réponses interindividuelles est également visée. Ces avancées nous permettront d'accéder à un nouveau niveau de travail scientifique, et elles seront permises par notre implication active dans le CPER 2007-2013 en cours qui est également une opportunité d'acquérir du matériel nouveau pour le laboratoire et pour la Région. En parallèle, et pour appréhender plus en amont la question de la prévention cardiovasculaire et métabolique, nous développons des travaux permettant de mieux appréhender le métabolisme des enfants et adolescents, en particulier les interactions entre les adaptations à l'exercice physique et la régulation de l'apport alimentaire. L'expérience acquise au sein du département de sciences nutritionnelles de l'Université de Toronto devrait m'y préparer au mieux. En effet, notre intérêt pour la place de l'activité physique dans la régulation de l'apport alimentaire s'était manifesté jusque là dans l'approche épidémiologique (Antoine-Jonville *et al.*, 2010), que complète désormais une approche expérimentale. Au cours de notre séjour à l'Université de Toronto, j'ai eu l'occasion de m'impliquer pleinement dans un projet sur le rôle du substrat utilisé pendant l'activité physique sur la régulation de l'appétit lors du repas suivant chez des enfants. Par ailleurs, le fait d'être au sein du département de nutrition m'a ouvert certaines opportunités sur des études en cours, et proches des thématiques de notre activité de recherche régulière. En particulier, ça a été le cas avec une étude sur les suppléments nutritionnels chez les sportifs. L'utilisation de suppléments

nutritionnels est une dimension intéressante des comportements alimentaires. Cette pratique semble se répandre, avec des risques et des effets relativement mal maîtrisés, autant par les individus que par les autorités sanitaires. J'ai eu la chance de contribuer à une étude sur l'utilisation de ces suppléments nutritionnels chez les sportifs (El Khoury & Antoine-Jonville, 2012).

Dans l'ensemble, ce sont les activités physiques comme outil de développement et de santé et comme moyen de comprendre l'adaptation de l'homme à son environnement qui sont au cœur de la cohérence de notre parcours scientifique et personnel. La quête de compétences et les activités dans le domaine de la santé publique, comme le travail de physiologie de l'exercice, parfois même sur des aspects méthodologiques précis, ne sont finalement que les deux facettes de la même démarche.

3. Responsabilités collectives

Si le curriculum vitae a un caractère administratif, il n'en demeure pas moins le reflet des activités d'une personne avec des valeurs. Il est certainement congru ici, dans la perspective de l'encadrement de doctorants, de communiquer sur certaines conceptions du rôle du chercheur, sa déontologie et son éthique sans pour autant rentrer dans des considérations théoriques relatives à des champs scientifiques et philosophiques qui sortent de nos compétences.

L'enseignant-chercheur doit statutairement une participation à l'administration de l'enseignement et de la recherche, que nous avons assumée *via* différentes présidences de jurys et responsabilités de projets. Il peut être impliqué dans diverses commissions et conseils pour participer à la vie de l'établissement. Nous avons poursuivi l'idéal de faire converger les intérêts scientifiques et pédagogiques et de développer des réseaux qui permettent des relations de confiance avec les partenaires impliqués dans le développement des activités physiques adaptées et de la recherche dans ce champ. Notre implication dans des structures locales pour appuyer ou impulser la volonté de développer des APAS visait à permettre une professionnalisation de ce secteur. Dans les faits, et après plusieurs années d'implication, le nombre de professionnels en place, issus de notre formation et en mesure d'appliquer au service des populations antillo-guyanaises les connaissances développées, mais également sur lesquels le

laboratoire peut s'appuyer pour mettre en place de nouveaux projets, reste limité. Nous continuons de nous poser la question de notre éventuel devoir social et citoyen de nous engager pour la prévention par l'activité physique. De par notre conception du chercheur dans la société, et peut-être à plus forte raison dans notre environnement insulaire éloigné de l'hexagone, elle nous apparaissait nécessaire. Nous reconsidérons ce point de vue régulièrement au vu de plusieurs aspects (question de la légitimité d'un chercheur STAPS dans l'environnement de la santé, inertie du système), sans pour autant y avoir renoncé. Par ailleurs, il faut noter l'insuffisante rentabilité institutionnelle à court terme au niveau personnel, et le risque de se satisfaire d'une notoriété locale inutile à l'enseignant-chercheur mais importante pour le département qu'il représente. Pourtant, certaines collaborations s'avèrent satisfaisantes et productives. C'est le cas par exemple du projet Tous à l'eau pour lequel une chargée d'étude recrutée était une ancienne étudiante qui a rempli parfaitement ses fonctions. Le projet interrégional ACT, qui est encore à ses prémices, a également pu voir le jour grâce au niveau de confiance acquis.

Enfin, dans une perspective plus scientifique, le chercheur peut contribuer à la viabilité du système de publications en place en acceptant l'expertise d'articles qui lui sont proposés, expérience cette fois directement gratifiante en ce qu'elle donne accès aux données et points de vue avant leur publication. Nous remplissons ces fonctions en espérant également aiguiser notre esprit critique à bon escient (annexe 3).

Montage du projet « ACT » (Réentraînement à l'effort des patients à risque cardiovasculaire) financé à hauteur de 242180€ par l'appel à projet interrégional de la direction interrégionale de la recherche clinique du Sud-Ouest et Outre-mer

Suivi du projet « activités physiques, risque cardiovasculaire et métabolique » au sein du **contrat de projets état-région** financé à hauteur de 617 731€ (en cours)

Responsable de l'étude sur les déterminants de santé chez les adolescents, en collaboration avec le service d'études statistiques de la direction de la santé et du développement social de la Martinique, financé à hauteur de 3700€

A l'initiative, rédactrice et responsable du comité de pilotage du projet « tous à l'eau » financé à hauteur de 93500€ par le ministère de la santé. Projet de promotion de la santé par les activités physiques avec une dimension scientifique

Membre élue au sein du conseil d'administration de l'unité de formation et de recherches STAPS des Antilles et de la Guyane (depuis 2009)

Membre élue de la commission de spécialistes de 74^{ème} section (2008), puis membre nommée régulièrement dans les comités ad-hoc de sélection

Membre nommée de la commission pédagogique STAPS chargée de statuer sur les demandes de validation des expériences professionnelles ou acquis personnels (depuis 2009)

Responsable de la filière « activités physiques adaptées » puis « activités physiques adaptées et santé » (2004-2010) des Antilles et de la Guyane depuis son ouverture gérée dans sa partie pédagogique.

Membre du comité de pilotage du groupe « nutrition et activité physique » du plan régional de santé publique (2006-2009)

Membre du conseil scientifique de l'ORSAG (observatoire régional de la santé en Guadeloupe) depuis 2006

Présidente de jury de baccalauréat et de licence depuis 2006

Suivi de l'organisation de la fête de la science au sein du laboratoire ACTES 2004, 2005, 2006, 2007

Trésorière de l'association Guadeloupéenne pour la recherche sur l'adaptation, la performance et l'exercice et la santé (depuis 2006)

Présidente de l'ADBEP (2000-2001), l'association des doctorants en biologie-environnement-santé de Poitiers

Représentante suppléante élue des doctorants au conseil de l'école doctorale et à son bureau (2000-2002)

Représentante des doctorants élue au conseil du laboratoire (laboratoire d'analyse de la performance motrice humaine, Poitiers, 2000-2002)

Table 2. Principales responsabilités collectives exercées par la candidate.

4. Communications

4.1. Revues internationales indexées

- Hopkinson N.S., M.J. Dayer, S. Antoine-Jonville, E.B. Swallow, R. Porcher, A. Vazir, P. Poole-Wilson, M.I. Polkey. Central and peripheral quadriceps fatigue in congestive heart failure. *Int J Cardiol.* 2012 Jul 12. [Epub ahead of print]
- Hue, O., Antoine-Jonville, S., Galy, O., Blanc, S. Anthropometric and physiological characteristics in young Afro-Caribbean swimmers. A Preliminary Study. *Int J Sports Physiol Perform.* 2012 Sep 19. [Epub ahead of print]
- Antoine-Jonville S., S. Sinnapah, O. Hue. 2012. Relationship between body mass index and body composition in adolescents of Asian Indian origin and their peers. *Eur J Public Health* 22(6):887-9
- El Khoury D., S. Antoine-Jonville. 2012. Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms in Beirut City. *J Nutr Metab* 2012:703490
- Antoine-Jonville S., A. Pichon, A. Vazir, M.I. Polkey, and M.J. Dayer. 2012. Oxygen Uptake Efficiency Slope, aerobic fitness and $\dot{V}E - \dot{V}CO_2$ slope in heart failure. *Med Sci Sports Exerc* 44(3):428-34
- Antoine-Jonville S., S. Sinnapah, B. Laviolle, F. Paillard, O. Hue. 2010. Heterogeneity of dietary profiles in highly sedentary young Guadeloupean women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 20(5):401-8
- Hue O., S. Antoine-Jonville, O. Galy, S. Blanc. 2010. Maximal oxygen uptake, ventilatory thresholds and mechanical power during cycling in tropical climate in Guadeloupean elite cyclists. *J Sci Med Sport* 13(6):607-12
- Antoine-Jonville S., S. Sinnapah, O. Hue. 2009. Energy expenditure and dietary intake in overweight versus non-overweight Guadeloupean adults. *West Indian Med J* 58(4):305-10
- Connes P., J. Triplette, M. Mukisi-Mukaza, O.K. Baskurt, K. Toth, H.J. Meiselman, O. Hue, and S. Antoine-Jonville. 2009. Relationships between hemodynamic, hemorheological and metabolic responses during exercise. *Biorheology* 46(2):133-43
- Sinnapah S., S. Antoine-Jonville, J.P. Donnet, and O. Hue. 2009a. Asian Indians of Guadeloupe are less physically active than their island counterparts. *Scand J Med Sci Sports* 102(12):1820-7
- Sinnapah S., S. Antoine-Jonville, and O. Hue. 2009b. Is the leisure-time physical activity of Asian Indian Guadeloupean adolescents different from that of their island counterparts? *Ethn Health* 14:303-14
- Sinnapah S., S. Antoine-Jonville, O. Hue. 2009c. Asian Indian adolescents from Guadeloupe are fatter than their island counterparts. *Br J Nutr* 102(12):1820-7
- Antoine-Jonville S., and O. Hue. 2008. Cholesterol, statins, and mortality. *Lancet* 371(9619):1163. (letter)
- Mollard P., X. Woorons, S. Antoine-Jonville, L. Jutand, J.P. Richalet, F. Favret, and A. Pichon. 2008. 'Oxygen uptake efficiency slope' in trained and untrained subjects exposed to hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol* 161(2):167-73
- Marlin L., P. Connes, S. Antoine-Jonville, J. Triplette, M. Montout-Hedreville, A. Sanouiller, M. Etienne-Julan, and O. Hue. 2008. Cardiorespiratory responses during three repeated incremental exercise tests in sickle cell trait carriers. *Eur J Appl Physiol* 102(2):181-7
- Marlin L., F. Sara, S. Antoine-Jonville, P. Connes, M. Etienne-Julan, and O. Hue. 2007. Ventilatory and Lactic Thresholds in Subjects with Sickle Cell Trait. *Int J Sports Med* 28(11):916-20
- Dayer M.J., S. Jonville, M. Chatwin, E.B. Swallow, R. Porcher, T. Sharshar, E.T. Ross, N.S. Hopkinson, J. Moxham, and M.I. Polkey M.I. 2007. Exercise-induced depression of the diaphragm motor evoked potential is not affected by non-invasive ventilation. *Respir Physiol Neurobiol* 155(3):243-54

- Hue O., S. Antoine-Jonville, and F. Sara. 2007. The effect of 8 days of training in tropical environment on performance in neutral climate in swimmers. *Int J Sports Med*;28(1):48-52
- Dayer M.J., N.S. Hopkinson, E.T. Ross, S. Jonville, T. Sharshar, M. Kearney, J. Moxham, and M.I. Polkey. 2006. Does symptom-limited cycle exercise cause low frequency diaphragm fatigue in patients with heart failure? *Eur J Heart Fail* 8(1):68-73
- Pichon A., M. Roulaud, S. Antoine-Jonville, C. De Bisschop, and A. Denjean. 2006. Spectral analysis of heart rate variability: interchangeability between autoregressive analysis and fast fourier transform. *J Electrocardiol* 39(1):31-7.
- Racinais S., S. Blonc, S. Jonville, and O. Hue. 2005. Time of day influences the environmental effects on muscle force and contractility. *Med Sci Sports Exerc* 37(2):256-61
- Sharshar T., N. Hopkinson, E. Ross, S. Jonville, M. Dayer, A. H. Nickol, F. Lofaso, J. Moxham, and M. Polkey. 2005. Motor control of the costal and crural diaphragm – insights from transcranial magnetic stimulation in man. *Respir Physiol Neurobiol* 146:5-19
- Jonville S., L. Jutand, A. Denjean, and N. Delpech. 2005. Putative protective effect of inspiratory threshold loading against exercise-induced supraspinal diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 98(3):91-8
- Sharshar T., N. Hopkinson, S. Jonville, H. Prigent, R. Carlier, M. Dayer, E. B. Swallow, F. Lofaso, J. Moxham, and M. Polkey. 2004. Demonstration of a second rapidly conducting cortico-diaphragmatic pathway in humans. *J Physiol* 560(Pt3):897-908.
- Sharshar T., E. Ross, N. S. Hopkinson, R. Porcher, A. H. Nickol, S. Jonville, M. J. Dayer, N. Hart, J. Moham, F. Lofaso, and M. I. Polkey. 2004. Depression of diaphragm motor cortex excitability during mechanical ventilation. *J Appl Physiol* 97:3-10
- Delpech N., S. Jonville, and A. Denjean. 2003. Mouth pressure twitches induced by cervical magnetic stimulation to assess inspiratory muscle fatigue. *Respir Physiol Neurobiol* 134:231-7
- Hopkinson N. S., T. Sharshar, E.T. Ross, A.H. Nickol, M.J. Dayer, R. Porcher, S. Jonville, J. Moxham, and M. I. Polkey. 2004. Corticospinal control of respiratory muscles in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Physiol Neurobiol* 141:1-12
- Jonville S., N. Delpech, and A. Denjean. 2002. Contribution of respiratory acidosis to diaphragmatic fatigue at exercise. *Eur Respir J* 19:1079-86
- Jonville S., N. Delpech, and A. Denjean. 2003. Specificity of respiratory training may account for the improvement of endurance capacity. *Med Sci Sports Exerc* 35
- Pichon A., S. Jonville, and A. Denjean. 2002. Evaluation of the interchangeability of VO₂MAX and oxygen uptake efficiency slope. *Can J Appl Physiol* 27:589-601

4.2. Chapitres d'ouvrage

- Antoine-Jonville S., and M. Dayer. Cardiopulmonary exercise testing in congestive heart failure. In *Handbook in Exercise Physiology: from a cellular approach to an integrative approach*. Editeurs : P Connes, O Hue, S Perrey – Edition : IOS Press, 2010
- Pichon A., and S. Antoine-Jonville. The oxygen uptake efficiency slope. In *Handbook in Exercise Physiology: from a cellular approach to an integrative approach*. Editeurs : P Connes, O Hue, S Perrey – Edition : IOS Press, 2010

4.3. Rapport

- Lauzanne M.A., et S. Antoine-Jonville. 2010. Socialisation et comportements de santé des adolescents de Guadeloupe et Martinique en situation de handicap. Agences Régionales de Santé Guadeloupe et Martinique

4.4. Communications à des congrès à une place significative

Avec comité de lecture et publication des résumés dans une revue internationale indexée

- 19ème congrès européen sur l'obésité, 2012. Large prevalence of insufficient physical activity challenges epidemiological study of the association between energy intake and energy expenditure. S. Antoine-Jonville, and O. Hue. *Obes Facts* 5(Suppl 1) 334
- 3ème congrès « prediabetes and metabolic syndrome », 2009. Metabolic risk factors in Guadeloupian adolescents. S. Antoine-Jonville, S. Sinnapah, and O. Hue. *J Diabetes* 1(Suppl 1) A183
- 3ème congrès « prediabetes and metabolic syndrome », 2009. Physical activity could be involved in the overexposure of Asian Indian Guadeloupians to type 2 diabetes. S. Sinnapah, S. Antoine-Jonville, O. Hue. *J Diabetes* 1(Suppl 1) A255
- 3ème congrès « prediabetes and metabolic syndrome », 2009. Heterogeneity of dietary profiles in highly sedentary young Guadeloupian women. S. Antoine-Jonville, S. Sinnapah, F. Paillard, B. Laviolle, and O. Hue. *J Diabetes* 1(Suppl 1) A279
- European respiratory society, 2003. Putative protective effect of inspiratory threshold loading against exercise-induced supraspinal diaphragm fatigue. S. Jonville, N. Delpech, T. Similowski, and A. Denjean. *Eur Respir J* 22 (Suppl 45) 471s, 2003. **Prise en charge des frais d'inscription et de déplacement** par l'organisation du congrès qui a procédé à une sélection parmi les travaux de jeunes chercheurs pour attribuer ces aides
- European respiratory society, 2003. Does hyperpnoea explain central fatigue of the diaphragm following a cycle exercise? S. Jonville, N. Hopkinson, J. Moxham, T. Similowski, and M. Polkey. *Eur Respir J* 22 (Suppl 45) 354s, 2003
- American Thoracic Society, 2001. Use of mouth pressure twitches induced by cervical magnetic stimulation to assess diaphragmatic fatigue (poster). N. Delpech, S. Jonville, and A. Denjean. *Am J Respir Crit Care Med* 163 (5), A158, 2001
- American Thoracic Society, 2001. Role of respiratory acidosis in diaphragmatic fatigue during exercise (poster). A. Denjean, N. Delpech, and S. Jonville. *Am J Respir Crit Care Med* 163 (5), A156, 2001
- Société de Physiologie, 2001. Rôle de l'acidose dans la fatigue diaphragmatique à l'exercice (présentation orale). S. Jonville, A. Denjean, and N. Delpech. *Eur J Physiol* 442(5): R94, 2001

Autres communications avec publication des actes

- Société Francophone du Diabète., 2012. Étude de faisabilité de la suppression de la collation matinale dans une école à Pointe-à-Pitre (Guadeloupe). M.L. Lalanne-Mistrih, S. Antoine-Jonville, B. Tressières, G. Brédent, N. Brousse, et J. Clépier. *Diabetes & Metabolism* 38(S2)
- Congrès Antilla Diabètes, 2006. Etude comparative du comportement diététique et physique entre Guadeloupéens originaires ou non d'Inde. S. Sinnapah, S. Antoine-Jonville, et O. Hue
- Caribbean Academy of Sciences, 2006. Fighting against sedentarity in the Caribbean area: on the interest of a pluridisciplinary approach. S. Antoine-Jonville, S. Sinnapah, S. Ruffié, S. Jacquelin, J.P. Donnet, and O. Hue
- Caribbean Academy of Sciences, 2006. Comparing physical behaviors and dietary habits of Guadeloupians originating and not originating from India. S. Sinnapah, S. Antoine-Jonville, J.P. Donnet, S. Ruffié, and O. Hue
- Association des chercheurs en activités physiques et sportives, 2003. Evaluation de la condition physique des patients insuffisants cardiaques par l'"Oxygen Uptake Efficiency Slope". S. Jonville, A. Pichon, M. Dayer, A. Vazir, et A. Denjean
- Société de pneumologie de langue française, 2002. Pression bouche - pression oesophagienne en réponse à la stimulation magnétique des nerfs phréniques chez des sujets sains et des patients BPCO. S. Jonville, N. Delpech, et A. Denjean. *Revue des maladies respiratoires*.

Financement de l'inscription au congrès et des frais de déplacement par une compagnie pharmaceutique

Association des chercheurs en activités physiques et sportives, 2001. Evaluation de la condition physique des patients BPCO par l' 'oxygen uptake efficiency slope'. S. Jonville, A. Pichon, et A. Denjean.

Colloque de Biologie de l'Exercice Musculaire, 2001. A. Pichon, S. Jonville, et A. Denjean. OUES et VO₂MAX : une interchangeabilité contestable

Partie 2 – Les comportements d'activité physique, déterminants de la santé cardiométabolique, dimension théorique

Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, la forte contribution à la mortalité des maladies non transmissibles comme les cancers et les pathologies cardiaques et respiratoires a contraint les autorités de santé des pays à hauts et moyens revenus à s'adapter à d'autres priorités que la prise en charge des maladies infectieuses. Elle les a aussi acculées, bien que la transition ne paraisse effective que partiellement et que très récemment, à des mutations dans les pratiques de prévention. Elle s'est également accompagnée d'évolutions dans les paradigmes et dans les cadres de pensée. Ces évolutions ont été permises par, tout autant qu'elle sont manifestes dans les travaux de certains épidémiologistes britanniques comme ceux des Sirs Austin Bradford Hill et Richard Doll. Dans la lignée de leurs travaux sur le tabagisme et l'étiologie des cancers pulmonaires, les propositions du premier sur la notion de causalité dans la recherche médicale (Hill, 1965) sont assez largement adoptées¹. Elles constitueront le cadre de notre analyse, et bien qu'elle sorte des sciences de la vie *stricto sensu*, cette conceptualisation fait partie de notre travail de recherche propre. Elle fait l'objet d'une tentative de publications (2 essais soumis) après qu'une lettre concise intégrant ces idées a été acceptée il y a quelques années (Antoine-Jonville & Hue, 2008).

1. Activités physiques : généralités

1.1. Sources de dépense énergétique

On peut présenter la dépense énergétique selon la répartition suivante (Horton, 1983) schématisée dans la figure 1.

Le **métabolisme de base** correspond à l'énergie requise pour couvrir les fonctions vitales telles que la thermorégulation, la ventilation, la circulation, ou le remplacement de matériel biologique. Il est modulé, encore que très légèrement, par la thermogénèse adaptative. On entend par thermogénèse adaptative la capacité de réguler l'activité de l'organisme vers plus de conservation de l'énergie, ou plus de dissipation (Sjöström, 1983). La modulation de l'activité et de l'efficacité musculaire squelettique (Wijers *et al.*, 2008) est un moyen certainement impliqué dans la thermogénèse adaptative. L'activité des tissus adipeux bruns pourrait compléter ce mécanisme, encore que la question soit toujours débattue (Himms-Hagen *et al.*, 2001, Seale, 2010 ; Van den Berg *et al.*, 2011).

1 Ce cadre intellectuel est extrêmement fréquent : l'article de Hill précité faisait l'objet de 2075 citations selon scopus le 12 février 2011, dont peu sont des remises en cause importantes.

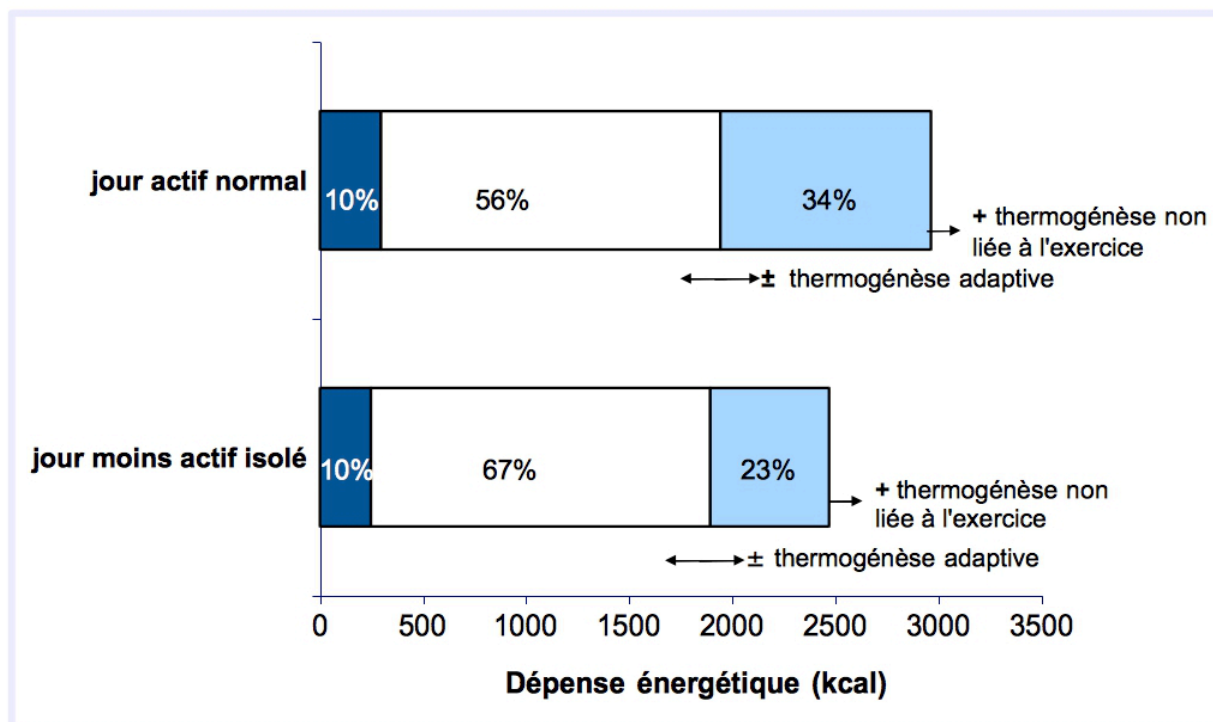


Figure 1. Répartition de la dépense énergétique chez un homme actif de 40 ans et 75 kg. Les valeurs sont des approximations basées sur la synthèse de la littérature, de calculs et de données personnelles. ■ Effet thermogénique de l'alimentation, □ Métabolisme de base, ■ Effet thermogénique de l'activité physique. Dans cet exemple, le niveau d'activité physique (PAL) est de 1,8 en haut pour la journée active normale (dépense énergétique totale/métabolisme de base : 2963kcal/1646kcal), et 1,5 en bas (2469kcal/1646kcal).

L'**effet thermogénique de l'alimentation** désigne l'augmentation de métabolisme liée à la digestion.

L'**effet thermogénique de l'activité physique** est la source d'énergie la plus variable au niveau individuel. L'**activité physique** renvoie à un ensemble large qui comprend tous les mouvements et contractions musculaires volontaires et involontaires réalisés à des fins professionnelles, de transport, domestiques, ou de loisirs. On peut explicitement mentionner que ces contractions musculaires squelettiques peuvent être isométriques, et donc que l'augmentation d'activité métabolique (et parallèlement, l'augmentation de dépense énergétique) qui différencie l'activité physique du métabolisme de base (NHLBI) ne nécessite pas forcément de mouvement. Plus précisément à propos des activités de loisirs, il peut s'agir d'activités sportives, ou encore de programmes qui utilisent des exercices

structurés pour, selon l'âge et la condition du participant, augmenter ou entretenir (conditionnement physique) ou rétablir (réentraînement) les qualités physiques de condition physique et/ou de force et/ou d'endurance et/ou de souplesse. Comme indiqué plus haut, les 4 grands domaines qui constituent des sources potentielles de production de travail externe, et donc d'augmentation de la dépense énergétique sont 1) les activités professionnelles, 2) les activités domestiques qui couvrent les tâches ménagères et le jardinage pour les plus physiquement sollicitantes, 3) les transports, 4) les activités de loisirs, qui incluent des activités sédentaires comme la lecture ou la télévision, et des activités qui requièrent une augmentation plus importante de l'activité métabolique comme les jeux, les sports ou l'exercice planifié. De plus en plus, un cinquième domaine est pris en compte. Il s'agit de l'activité spontanée, dont la contribution dans le contrôle de la masse corporelle a été identifiée relativement récemment, essentiellement sous l'impulsion de James Levine et son équipe (Levine *et al.*, 1999, 2004, 2005). Cette catégorie également nommée thermogénèse liée aux activités physiques autres que l'exercice couvre la dépense énergétique liée au maintien de la posture, à la gesticulation, aux mouvements de la tête. Cette dépense énergétique liée à des activités non définissables dans le cadre de la participation sociale ou de l'exercice volontaire n'est pas négligeable. On s'attend à ce qu'elle diminue dans les situations où la préservation de l'énergie est susceptible de présenter un avantage phylogénétique ou ontogénétique. Elle est extrêmement variable et cette variabilité semble partiellement liée au contrôle de la masse corporelle (Levine *et al.*, 2004, 2005). Ainsi, il a été montré que la résistance à la prise de masse grasse en réponse à l'augmentation de l'apport alimentaire sur une période de 8 semaines est associée à l'augmentation de la dépense énergétique dans cette catégorie d'activité (Levine *et al.*, 1999).

1.2. Niveau d'activité physique

Le niveau d'activité physique (PAL en anglais pour Physical Activity Level) est défini comme le rapport entre la dépense énergétique totale et le métabolisme de base extrapolé sur 24 heures : (ACSM, 2005).

La dépense énergétique supplémentaire aux besoins vitaux (métabolisme de base, thermogénèse liée à l'alimentation) est plus ou moins importante en fonction de l'intensité, de la durée et de la fréquence des activités dans les 4 grands domaines que sont les activités domestiques, les activités professionnelles, le

transport, les activités de loisirs, ainsi que dans la catégorie de l'activité physique non volontaire. Donc, le niveau d'activité physique est une variable continue, ce qui n'est pas sans conséquence. Avant de les envisager, on peut examiner la question de la quantification de l'activité physique et citer rapidement les valeurs cibles de 1,7 ou 1,8 qui reviennent chez quelques auteurs (Saris *et al.*, 2003 ; Melzer *et al.*, 2005) qui utilisent cette unité pour traduire les recommandations d'activité physique, bien que ce ne soit pas l'unité préférée.

1.3. Quantification de l'activité physique

Plusieurs modes de quantification et qualification de l'activité physique sont possibles. Ils ne seront pas présentés ici, mais il convient de retenir qu'ils diffèrent en accessibilité, simplicité d'utilisation pour le participant et l'expérimentateur, fidélité aux comportements réels et qu'aucun n'est universellement parfait pour des objectifs de recherche et de surveillance en santé publique ; l'activité physique étant un comportement humain, elle présente généralement des variations interjournalières difficilement modélisables. Dans la plupart des cas, on gère ces fluctuations

- soit en étudiant 3 jours, la semaine ou les 2 semaines qui précèdent ou suivent le recueil d'autres variables en posant le postulat que cette période est représentative du mode de vie antérieur du participant, et en prenant donc le risque qu'il ne le soit pas. Une alternative dans les études longitudinales consiste à mettre en relation les comportements d'activités physiques étudiés pendant une période d'une semaine par exemple, avec les caractéristiques de santé mesurées plus tard dans la vie, ce qui ne règle pas le problème de la représentativité de la période de recueil ;
- soit en effectuant un rappel (dans le cas de questionnaires) sur l'année précédente, en acceptant alors de s'exposer aux distorsions possibles liées au rappel, en particulier les problèmes de mémoire. Ces méthodes directes (mesure de podométrie, d'accélérométrie, de fréquence cardiaque) et indirectes (questionnaires) conduisent généralement à une variable continue relative à un ou plusieurs des domaines énoncés qui tient compte dans le meilleur des cas de la durée de la (ou des) pratique(s) et de son (leur) intensité.

1.4. Opposition stricte entre activité physique et sédentarité

Présenter le comportement sédentaire comme le strict opposé du comportement actif peut paraître un truisme. Cette conception qui pourrait certes satisfaire le bon sens a largement prévalu jusque dans les années 2000. Elle est d'ailleurs compatible avec le fait que le niveau d'activité physique se révèle être un continuum. A l'un de ses extrêmes, on trouve les individus qualifiés de sédentaires ou non-actifs, ceux dont la dépense énergétique totale ne diffère que peu du métabolisme de base consécutivement à une faible dépense dans chacun des domaines. A l'autre extrême du continuum d'activité physique, on trouve des individus qui s'entraînent régulièrement ou présentent un autre profil qui leur permet d'avoir une dépense énergétique quantitativement importante. En ce sens, activité physique et sédentarité s'opposent bien. Cependant, des résultats et idées récentes suggèrent que ***la pratique d'activités physiques et la sédentarité sont des entités partiellement indépendantes qui ne sont pas fonctionnellement opposées l'une à l'autre*** (Hamilton *et al.*, 2007). Selon nous, la conception qui consiste à opposer sédentarité et activité physique est partiellement fautive quand elle s'applique aux individus et aux populations, et surtout, elle contribue à "brouiller l'image" de l'association entre activité physique et santé cardiométabolique. Voici les éléments qui justifient cette position.

Les activités et comportements sédentaires comprennent exclusivement des activités au cours desquelles la personne est quasiment immobile, couchée ou assise, et les mouvements et contractions musculaires sont rares et/ou peu amples ni intenses, de sorte qu'elles sollicitent l'organisme moins de 1,6 fois le métabolisme basal (Pate *et al.*, 2008). Ces activités incluent le sommeil qui a un statut particulier puisque vital et incompatible avec la prise alimentaire. Les autres activités sédentaires incluent par exemple la lecture et l'écriture sur papier ou ordinateur, le fait de parler à des personnes en face de nous ou au téléphone, l'action de regarder la télévision ou de jouer à des jeux vidéo, à part la dernière génération dans lesquelles des capteurs de mouvements ont été introduits et qui sollicitent la motricité du sujet et donc certaines adaptations aigües métaboliques et cardiovasculaires (Guderian *et al.*, 2010 ; Worley *et al.*, 2011). Notons cependant que peu des jeux en vente actuellement génèrent une activité physique que l'on peut qualifier de modérée (Miyachi *et al.*, 2010 ; Lyons *et al.*, 2012). Les activités sédentaires contribuent donc à diminuer le niveau d'activité physique des

individus, ce qui a été formalisé dans la théorie du déplacement de l'activité physique (Robinson *et al.*, 1999, 2001). L'idée est que le temps pendant lequel une personne est active est la différence entre le temps total d'éveil et le temps dédié à des activités sédentaires. La principale critique que l'on peut émettre sur ce modèle est qu'il n'est pas falsifiable. De plus, pour utiliser ce cadre, il faut implicitement accepter l'hypothèse selon laquelle il n'y aurait pas d'interaction entre les temps dédiés à l'activité physique, à l'inactivité physique et au sommeil. Ceci n'est absolument pas certain ce qui affaiblit donc le modèle selon nous. Cette focalisation sur la durée présente donc des inconvénients certains, en particulier celui de cacher une certaine complexité de l'activité physique. Cependant il faut reconnaître qu'elle est opérationnelle, surtout de ce fait. Cette approche théorique a donc contribué à l'enrichissement de la littérature. Pour qu'elle s'avère plus riche encore, il faudrait davantage s'intéresser à l'utilisation du temps de loisirs des participants et identifier dans quelle mesure il constitue un réel facteur limitant d'un niveau d'activité physique suffisant.

Ainsi, une participation importante dans des activités où le sujet est quasiment immobile, couché ou assis, est associée à des risques différents, par rapport au fait de ne pas être engagé régulièrement dans des activités physiques intenses. Il a été démontré dans une étude transversale sur des adultes que le temps passé à regarder la télévision était associé positivement au rapport tour de taille sur tour de hanche, à l'indice de masse corporelle, la pression artérielle et à certains paramètres du profil lipidique comme le taux de triglycérides mais pas le taux de HDL-cholestérol, ce dernier étant associé à la pratique physique intense. Dans l'étude AusDiab impliquant 8800 adultes dans un suivi médian de 6,6 années, il a également été démontré que le temps dédié à la télévision était positivement associé avec la mortalité toutes causes confondues et à la mortalité cardiovasculaire (Dunstan *et al.*, 2010), et ce, même après ajustement par rapport à l'activité physique. Dans la même étude, une association similaire est rapportée avec le syndrome métabolique (Gardiner *et al.*, 2011).

Une approche originale, qui accrédite également l'indépendance relative des activités sédentaires et des activités physiques, a été utilisée pour interpréter les résultats de l'étude Inter 99. Des groupes de sujets ont été formés sur le critère d'un score d'activité totale (au-dessus ou en-dessous de la médiane) et selon le fait que les sujets pratiquent ou non une activité physique intense (Aadahl *et al.*, 2011). Toutes les combinaisons étaient représentées (activité totale supérieure à la

médiane et pas d'activité intense, activité totale inférieure à la médiane et présence d'activité intense...), ce qui en soi questionne la notion de sédentarité : les sédentaires ne peuvent pas représenter la moitié de ceux qui pratiquent le moins parce que dans ce groupe, certains ont une activité intense ; dans le même temps, la seule absence d'activité intense ne peut être utilisée pour caractériser les plus sédentaires puisque dans ceux-là, certains ont une activité totale supérieure aux autres. Parmi les variables retenues pour rendre compte des activités physiques et sédentaires (total d'activité physique, activités intenses, télévision par exemple), les associations étaient différentes en fonction des critères de jugement retenus, qu'ils caractérisent la condition métabolique, cardiovasculaire ou l'anthropométrie. Les effets néfastes du temps passé devant la télévision demeuraient après les ajustements statistiques sur les habitudes alimentaires et le total d'activité physique². Les auteurs en ont conclu que le fait de regarder la télévision, qui n'est certes pas un marqueur universel du temps total dépensé dans des activités sédentaires mais qui en est une composante importante, doit être considéré comme une composante comportementale différente de la pratique d'activités physiques, mais aussi comme une composante différente de l'absence de pratique d'activités physiques. Une récente revue systématique qui examine les risques en matière de santé liés aux activités sédentaires chez les adultes ([Rhodes et al., 2012](#)) a conclu qu'il y avait des intérêts indépendants à la pratique d'activités physiques modérées ou intenses d'une part, et à la faible participation à des activités sédentaires, et que même les activités sédentaires ne sont pas toutes interchangeables. Le temps assis émerge ainsi comme une cible potentielle d'intervention en santé publique ([Hamilton et al., 2007](#) ; [Owen et al., 2010](#)).

Aussi, il est peut-être abusif de qualifier de sédentaire un individu qui ne participe pas régulièrement à une activité physique d'intensité modérée ([Owen et al., 2010](#)) dans la mesure où son risque cardiométabolique peut ne pas être accru par une participation importante à des activités assises ou couchées. De la même manière, il est sûrement abusif de considérer comme actif un individu qui pratique 30 minutes de marche peu intense du lundi au vendredi et qui par ailleurs exerce une activité professionnelle ne requérant aucune activité physique et effectuant tous ses déplacements en voiture. Concrètement, considérer l'activité physique et la sédentarité comme 2 entités distinctes, ce qui n'est pas intuitivement évident, se traduit par des mesures séparées, et l'inclusion de questions relatives au temps assis et au temps de loisir consacré aux écrans de télévision et d'ordinateur. Cette

² Ces ajustements étant nécessaires compte tenu du fait que le contrôle de l'appétit pourrait être perturbé par la télévision ([Blass et al., 2006](#) ; [Bellissimo et al., 2007](#)).

idée a été assez rapidement intégrée aux stratégies de santé publique qui ciblent et l'augmentation du temps de pratique, et la diminution du temps dédié aux activités sédentaires (Hercberg, 2006).

Dans l'ensemble, réserver l'usage de "sédentaire" à la qualification des activités ou des modes de vie, plus que des personnes, comme en anglais, nous paraît être une précaution importante. L'opposition stricte entre activité physique et sédentarité s'avère donc ponctuellement fautive, et surtout non opérationnelle en l'état. C'est bien l'ensemble des patrons ou comportements d'activités physiques et sédentaires qu'il faudrait être en mesure d'appréhender.

Il en va partiellement de même avec la superposition entre l'activité physique et l'aptitude aérobie, aussi dénommée capacité cardiorespiratoire et objectivée par la consommation maximale d'oxygène, $\dot{V}O_{2MAX}$. Il a ainsi été montré que l'activité physique et la capacité cardiorespiratoire sont associées de manière indépendante l'une de l'autre au risque métabolique³ chez les pré-adolescents et adolescents (Ekelund *et al.*, 2007 ; Artero *et al.*, 2011). D'autres approches sont moins radicales quant au degré d'indépendance, et mettent en avant le fait que l'aptitude aérobie est largement influencée par le type, l'intensité et la durée des activités pratiquées. Sa mesure étant également plus précise, cela peut conduire à des associations plus fortes que l'activité physique avec des indicateurs de santé (Kesaniemi *et al.*, 2001).

1.5. Le stress de la sédentarité

Depuis une cinquantaine d'années, un nombre croissant d'individus partout dans le monde ne dépense pas suffisamment d'énergie métabolique dans sa vie quotidienne. Ces personnes sont caractérisées par un mode de vie sédentaire, c'est-à-dire sans sollicitation musculaire fréquente, au moins d'intensité modérée et d'une durée prolongée. La mécanisation du travail, le développement des modes de communication et des modes de transport ont été des sources importantes de modification de l'environnement et des modes de vie. Du fait de ces changements technologiques et des organisations sociales, une fraction importante des humains n'évolue pas dans un environnement suffisamment promoteur d'activité physique spontanée. Or, ce mode de vie sédentaire n'est pas conforme aux contraintes qui se sont exercées sur l'espèce humaine au cours de son évolution. Pendant des millions

³Un score de risque métabolique a été calculé sur la base du tour de taille, de la pression artérielle, des taux de glucose à jeûn, insuline, triacylglycérol et HDL-cholestérol.

d'années, la survie de l'Homme a dépendu de ses qualités de force, endurance pour la chasse (Liebenberg, 2008), la cueillette et les migrations. Les gènes ont nécessairement été sélectionnés en faveur du perfectionnement de voies métaboliques qui permettent l'activité physique. Les humains font donc preuve d'une grande qualité de trainabilité (Noakes, 2006), au point d'être capables après entraînement de répondre à des demandes énergétiques 10 fois supérieures au métabolisme de base pendant plusieurs jours (Knechtle *et al.*, 2005). On attribue au biologiste De Lamarck la paternité de la théorie de l'héritabilité des caractères acquis, théorie qui trouve un écho nouveau depuis le développement récent de l'épigénétique. Les 2 lois qu'il a énoncées (de Lamarck, publié en 1809 et réédité en 1994) sont synthétisées dans le langage courant par l'expression "la fonction crée l'organe" ou "use it or lose it" en anglais. Suivant ce principe, on peut s'attendre à ce que certaines fonctions ne soient régulées optimalement qu'au-delà d'un certain niveau d'activité physique, et à ce que les réponses physiologiques à la sédentarité chronique soient moins efficaces que celles à l'exercice aigu ou à l'entraînement.

Ces projections théoriques se vérifient expérimentalement à l'échelle ontogénétique, en particulier dans le cas extrême des études sur l'alitement (Corcoran, 1991) qui peut être apparenté à la privation sensorielle. En conséquence, certains auteurs, dans une position encore marginale, présentent l'inactivité physique comme une pathologie (Lees & Booth, 2005 ; Pruijboom, 2011). Certains avancent que l'inactivité physique est choisie par les sujets qui présentent un syndrome dénommé en anglais "non-permissive brain disorder" caractérisé par l'hypothermie et un faible métabolisme basal (Prujboom, 2011).

De manière plus spécifique, la question du contrôle de la masse corporelle illustre la nécessité biologique d'un minimum d'activité physique. Ce contrôle repose sur la régulation de la balance entre les apports énergétiques et les dépenses énergétiques. Il a été montré sur modèle animal que cette balance est défaillante quand les niveaux métaboliques sont faibles (Mayer *et al.*, 1954, synthétisé par Melzer *et al.*, 2005). Chez l'Homme, des données plus récentes apportent des arguments en faveur de mécanismes du même ordre qui justifient l'intérêt d'une pratique physique régulière dans le maintien de la masse corporelle (Blundell *et al.*, 1999 ; Blundell *et al.*, 2012), au-delà du strict impact sur la balance énergétique par un accroissement des dépenses. En absence de sollicitation métabolique suffisante, selon le principe "use it or lose it", une régulation fine de cette balance est moins déterminante à court terme. Il pourrait même être intéressant pour l'espèce de

laisser opérer une dérive permettant un déséquilibre entre les apports et les dépenses et conduisant à l'accumulation de masse grasse. En effet, cette accumulation est présentée par certains auteurs comme une adaptation biologique nécessaire qui permet à court terme d'optimiser certaines variables de l'homéostasie (Tremblay & Doucet, 2000 ; Chaput *et al.*, 2012).

A l'échelle de l'individu, l'absence d'exposition à l'activité physique suffisamment intense régulière est donc un stress qui est géré normalement au prix d'une augmentation de la masse corporelle. A l'échelle de l'espèce humaine, c'est presque un non-sens puisque le décalage entre l'évolution biologique et l'évolution technique et culturelle conduit à une sous-utilisation des bénéfices acquis (trainabilité, flexibilité métabolique). Résulte de ce décalage qui ne concerne pas que les comportements d'activité physique, non pas un désavantage reproductif, mais la potentialisation du développement des maladies chroniques comme l'hypertension artérielle essentielle, l'athérosclérose et de nombreux cancers (Eaton *et al.*, 1988), au point que l'espérance de vie⁴ semble commencer à diminuer aux Etats-Unis (Minino *et al.*, 2010).

4 qui n'avait cessé d'augmenter depuis la période de l'industrialisation dans les pays occidentaux, comme augmente l'espérance de vie en bonne santé à l'échelle mondiale depuis 20 ans (Salomon *et al.*, 2012)

2. Facteur de risque : généralités

2.1. Le modèle de la cause suffisante : une conceptualisation opérationnelle

A cette étape, il paraît utile d'examiner les comportements d'activité physique (qui incluent à notre sens également la participation ou la non-participation à des activités sédentaires) chez l'humain comme une cause possible de l'issue "maladie cardiovasculaire ou DT2", étant entendu qu'une **cause** est ce qui est nécessaire et suffisant pour déterminer l'existence d'un phénomène. Il s'agit de la formulation énoncée par Galilée au XVII^{ème} siècle et qui demeure largement acceptée (Rothman *et al.*, 2008). Les conditions pour pouvoir mettre en évidence une cause dans les sciences expérimentales sont assez restrictives. Selon les modes de pensée actuellement en vigueur, pour un phénomène uni-causal, il faut pouvoir prouver que le facteur considéré, et lui seul, entraîne la conséquence attendue et ce de manière systématique. Dans l'absolu et pour que le facteur soit identifié comme la cause unique, il faut également s'assurer que la conséquence étudiée ne survient jamais en son absence. Compte tenu de la variabilité essentielle du vivant, on peut difficilement s'approcher de ce type de raisonnement dans les sciences de la vie et de la santé.

A défaut de démontrer directement des relations causales, et pour considérer la complexité des phénomènes à expliquer, on dispose de stratégies indirectes. Elles permettent de tenir compte du fait que nombre de maladies non communicables telles que celles qui nous intéressent ici résultent d'une combinaison de facteurs dont aucun ne peut être considéré nécessaire et suffisant. Le cadre largement retenu, même si ce positionnement est le plus souvent implicite, est celui dit du "modèle de la cause suffisante", dans lequel la définition de la cause se veut opérationnelle. La condition de nécessité y est ôtée pour ne laisser que la caractéristique d'être suffisante (Mackie, 1974 ; Rothman, 1976). Ces stratégies sont basées sur la notion de **facteur de risque**, notion dont l'usage a été développé dans les années 1980 sous l'impulsion des directeurs de l'enquête prospective pionnière de Framingham, non sans résistance de la majorité de la communauté médicale (Giroux, 2006). Les statistiques tiennent une place importante dans leur mise en oeuvre. Son corolaire positif est le facteur de protection, il nous concerne directement pour l'étude de l'activité physique. Sur la base des propositions de certains auteurs (Last, 2001 ; Fagot-Largeault, 2006),

considérons que le facteur de risque dans le champ de la santé se définit comme une variable qui accroît la probabilité de survenue de l'issue sanitaire négative considérée, le plus souvent l'incidence d'une pathologie au niveau individuel. Ainsi, une variable déterminée comme l'âge, plus de 45 ans pour l'exemple, une condition physiologique comme l'hypertension, ou encore une caractéristique du mode de vie comme le tabagisme sont associées à une probabilité accrue d'incidence d'une issue comme l'accident vasculaire cérébral. Il ne s'agit pas de prétendre que chacun de ces facteurs doive nécessairement se présenter pour que l'évènement se produise, ni que leur présence simultanée doive résulter chez tout individu en l'issue considérée. C'est bien le *risque* qui est appréhendé, à savoir la probabilité qu'un évènement considéré survienne dans une période donnée. Lorsqu'une variable, à elle seule, n'accroît le risque de survenue d'une conséquence qu'en fonction de la présence d'une ou plusieurs autres variables, c'est un *co-facteur de risque*.

Afin de préciser la terminologie, certains auteurs et institutions utilisent la notion de *marqueur de risque*. Notons que la frontière est fragile entre le facteur et le marqueur de risque. Cette distinction lexicale semble relever d'une volonté de rendre compte de la différence entre d'une part des variables qui témoignent de la présence d'un processus pathologique en cours, et d'autre part de celles dont l'implication causale est plus crédible. Le marqueur est généralement utilisé pour tout facteur dont on démontre une certaine indépendance par rapport aux autres et qui

- témoigne de processus physiopathologiques en cours, ou
- a un pouvoir pronostique suffisamment élevé pour prédire une évolution donnée avec une erreur jugée acceptable, ou
- permet d'évaluer le risque (cardiovasculaire ou métabolique),

sans que sa variation n'induisse nécessairement une variation de l'incidence de l'évènement prédit (Last, 2001), et quel que soit le niveau d'élucidation des mécanismes physiologiques ou physiopathologiques sous-jacents le liant à la pathologie.

L'idéal serait d'identifier de nouvelles variables qui combinent ces 3 qualités en matière diagnostique, pronostique et préventive. Ceci justifie l'intérêt pour les nouveaux biomarqueurs potentiels, qui sont des cibles thérapeutiques possibles. Leur utilité acceptée et/ou démontrée s'applique à court terme à la décision

médicale, et à plus long terme à la pharmacologie, discipline face à laquelle l'approche par la modification des modes de vie s'avère dans les faits concurrente, dans un combat déséquilibré en défaveur de l'activité physique. La complémentarité doit cependant être envisagée, ce qui est illustré dans l'un des objectifs d'un projet (le projet ACT) que nous menons, à savoir discriminer les patients à risque qui répondront à l'intervention par l'activité physique par une diminution de leur risque, de ceux qui répondent peu, et pour qui en conséquence l'approche médicamenteuse intense se justifierait.

2.2. Risque cardiométabolique

La meilleure combinaison de spécificité et de sensibilité est recherchée. En effet, ces qualités rendent compte de la validité intrinsèque d'une variable potentiellement facteur ou marqueur de risque. La spécificité renvoie à la capacité de l'indicateur à écarter la maladie à juste titre chez les sujets sains. Ainsi, quand la spécificité est bonne, la proportion de faux-positifs est faible. La sensibilité lui est complémentaire puisqu'elle est d'autant meilleure que la proportion de faux-négatifs est faible, c'est-à-dire qu'elle caractérise la capacité de l'indicateur à identifier à juste titre la présence de la maladie. On pourrait donc s'attendre à ce que la diversité des issues considérées dans le cadre des pathologies et événements cardiovasculaires soit un facteur de confusion. Cet ensemble comprend les cardiopathies coronariennes, les infarctus du myocarde, les maladies et événements cérébrovasculaires dont les accidents vasculaires cérébraux (AVC), les thromboses veineuses profondes et les embolies pulmonaires, les artériopathies périphériques mais aussi les malformations cardiaques congénitales et les cardiopathies rhumatismales, ces 2 dernières étant *a priori* moins liées au mode de vie que les autres. Pour chacune de ces familles, la diversité est également importante. Ainsi, l'AVC est défini comme un "*déficit neurologique soudain d'origine vasculaire présumée*" (Bousser, 1993). Une classification étiologique est utilisée : ischémie dans la majorité des cas, et hémorragie (cérébrale, méningée, ou cérébro-méningée) pour les autres. La diversité des AVC et de ses conséquences s'exprime entre autres dans le profil évolutif lié au siège et à l'ampleur de la lésion, l'ampleur des déficits en cas de survie. Les mécanismes en cause sont multiples mais on sait que l'athérosclérose est impliquée dans la majorité des cas, en particulier les AVC ischémiques.

Si l'on accepte que la complexité de l'identification des facteurs de risque

n'est pas accrue démesurément par le fait qu'on tente d'appréhender leurs liens avec plusieurs pathologies ou processus pathologiques, et non pas un, on peut même pousser la logique jusqu'à considérer le **risque cardiométabolique**, à savoir le risque global de développer une maladie cardiovasculaire ou le DT2. En effet, le DT2 est une maladie métabolique chronique caractérisée par une incapacité à abaisser la glycémie à un niveau physiologique liée à une insuffisance absolue ou relative de la sécrétion en insuline. Ses principales complications sont d'ordre micro et macrovasculaires. Le niveau de contrôle du DT2 est objectivé par le taux d'hémoglobine glyquée ou glycosylée (notée HbA1c) qui caractérise l'équilibre glycémique des 8 à 12 semaines (soit la durée de vie des hématies) précédant son dosage puisque l'intensité de la glycation non enzymatique des protéines augmente avec la glycémie. Les connaissances actuelles sur la nature de la relation entre HbA1c et risque micro et macrovasculaire (DCCT, 1993) justifient actuellement l'objectif prioritaire de prise en charge du DT2, à savoir la normalisation glycémique définie par un taux d'HbA1c inférieur à 6,5% (AFSSAPS, 2006). Pour autant, le niveau le plus bas n'est pas forcément recherché compte tenu 1) d'une éventuelle surmortalité en deçà de 6% (Ismael-Beigi *et al.*, 2010) qui est contrebalancée ou pas selon les auteurs par le gain en termes de risque de complications microvasculaires et 2) de l'absence de gain en termes de risque de complications macrovasculaires (ACCORD, 2008). Le risque vasculaire accru auquel sont exposées les personnes diabétiques représente en effet l'une des raisons importantes pour lesquelles le diabète doit être prévenu.

2.3. Les comportements d'activité physique parmi les facteurs et marqueurs de risque cardiovasculaires

Certaines autorités ont proposé d'établir une gradation dans les facteurs de risque cardiovasculaires, la notion de risque cardiométabolique étant peu utilisée en dehors du champ scientifique. Le rapport de 2004 de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES, 2004) s'appuie sur les propositions communes de l'American Heart Association et de l'American College of Cardiology émises en 1999 (Grundy, 1999 ; De Backer *et al.*, 2003). Cette vue est certainement celle qui prévaut en France actuellement. Dans ce contexte, à part les "nouveaux facteurs de risque cardiovasculaires" ou "facteurs de risque discutés" s'apparentant aux marqueurs de risque évoqués plus haut, 2 niveaux sont distingués :

- les facteurs de risque majeurs ayant un "effet multiplicateur du risque

cardio-vasculaire indépendamment des autres facteurs de risque" : tabagisme, hypertension artérielle, élévation du cholestérol total, élévation du LDL-cholestérol, diminution du HDL-cholestérol, DT2, âge

- à un niveau inférieur de causalité, les facteurs de risque prédisposants sont présentés comme ayant un "*effet potentialisateur lorsqu'ils sont associés aux facteurs de risque majeurs*" : obésité androïde, sédentarité, antécédents familiaux de maladie coronarienne précoce (avant 55 ans chez les hommes, avant 65 ans chez les femmes), origine géographique, précarité, ménopause.

La vue de la haute autorité de santé (HAS) est très proche. Dans le document qu'elle met à disposition des médecins sur l'identification des facteurs de risque cardiovasculaires en prévention secondaire (HAS, 2007a), une distinction est opérée entre les "*facteurs de risque à rechercher*", sans autre qualificatif, et les "*facteurs de risque prédisposants à rechercher*" présentés comme ayant une association moins forte :

- au premier niveau apparaissent : tabagisme actuel, hypertension artérielle permanente, hypercholestérolémie, DT2
- au niveau inférieur sont retenus l'obésité abdominale ou l'obésité ou le surpoids, la sédentarité, la consommation excessive d'alcool, les aspects psychologiques et sociaux.

Il apparaît paradoxal que les comportements d'activité physique, en l'occurrence la sédentarité définie comme l'absence d'activité physique régulière de 30 minutes 3 fois par semaine, n'apparaissent pas au premier rang, alors qu'ils sont impliqués de manière certaine dans le développement de plusieurs facteurs évoqués (DT2, diminution du HDL-cholestérol), et ceci était démontré avant la rédaction du rapport.

L'intrication des facteurs de risque est un défi qui complique la tâche du chercheur, mais aussi du clinicien. Nombreux sont ceux qui ont préféré, vraisemblablement pour des raisons pragmatiques, mettre au même niveau l'ensemble de ces facteurs. On peut penser que cette attitude résulte d'une certaine analyse – qui sera critiquée dans la partie suivante - de la littérature scientifique qui démontre une association robuste mais d'importance modérée, et qu'elle contribue à marginaliser la prise en charge par l'activité physique. Il semblerait plus clair de prendre une position radicale comme

- ne pas faire apparaître l'activité physique ou la sédentarité, en les

considérant comme partie prenante dans les causes, au même titre que l'alimentation par exemple, et en admettant que la réduction d'un comportement humain aux multiples dimensions (ceci sera discuté plus loin dans ce document) à un critère définissant la sédentarité est trop insatisfaisant

- ou au contraire la faire apparaître au premier plan des facteurs de risque pour rendre compte de son importance effective.

Ces 2 positions ne sont pas nécessairement antinomiques. La première peut s'avérer adaptée quand il s'agit de dépister les patients chez qui un processus pathologique est enclenché, et la deuxième quand il s'agit de mettre en œuvre des actions préventives ou de comprendre la genèse d'une pathologie chez un patient donné. En effet, dans le premier cas, on cherche un lien, le plus systématique possible, et la probabilité d'y parvenir s'accroît avec la "proximité" dans le processus physiopathologique entre la variable et l'issue. Par exemple, l'athérosclérose est une inflammation chronique des moyennes et grosses artères en relation avec la constitution d'un dépôt gras qui s'accompagne d'une diminution de la compliance et de la lumière artérielle. Elle peut demeurer asymptomatique, mais elle est très susceptible de conduire à l'infarctus du myocarde selon des processus physiopathologiques bien décrits (Emmerich & Bruneval, 2000). D'après des études *in vitro*, plusieurs couples chimiokines-récepteurs déterminent l'initiation du développement des plaques d'athérome ainsi que leur progression. C'est le cas de MCP1-CCR2 démontrés comme proathérogènes. Il n'est donc pas surprenant que MCP-1 se révèle un bon marqueur indépendant du pronostic de risque coronarien dans certaines conditions, ni qu'il soit proposé d'utiliser son dosage pour identifier les sujets à risque de récurrence et éventuellement d'en faire une cible thérapeutique (Lemos *et al.*, 2007 ; Frangogiannis, 2007). Cela n'en fait pas pour autant une meilleure cause de maladie coronarienne que les comportements d'activité physique.

Activité physique : tous les mouvements et contractions musculaires volontaires et involontaires réalisés à des fins professionnelles, de transport, domestiques, ou de loisirs. Dans le dernier cas, il peut s'agir d'activités sportives, ou encore de programme qui utilise des exercices structurés pour augmenter ou entretenir selon l'âge du participant les qualités physiques de condition physique et/ou de force et/ou d'endurance et/ou de souplesse.

Cause : ce qui est suffisant pour déterminer l'existence d'un phénomène (définition opérationnelle) ; ce qui est nécessaire et suffisant pour déterminer l'existence d'un phénomène (définition théorique).

Facteur de risque : variable qui accroît la probabilité de survenue de l'issue sanitaire négative considérée, le plus souvent l'incidence d'une pathologie au niveau individuel.

Marqueur de risque : facteur pour lequel on démontre un certaine indépendance par rapport aux autres et qui répond au moins à l'un des 3 critères suivants : 1) témoigne de processus physiopathologiques en cours, 2) a un pouvoir pronostique, 3) permet d'évaluer le risque.

Risque : probabilité qu'un événement considéré survienne dans une période donnée.

Table 3. Définitions utilisées dans ce mémoire.

3. Relation causale entre l'activité physique et la santé cardiométabolique

Dans ses écrits de 1739, l'empiriste David Hume est amené avec son projet de compréhension de la nature humaine à systématiser la démarche sous-jacente à notre croyance en la connexion causale en sciences (Susser, 2001 ; Hume, 1739). Dans sa lignée, Austin Bradford Hill a énoncé 9 points pour apprécier l'association causale d'une variable donnée à l'issue considérée (Hill, 1965). Il ne s'agit pas de critères, bien qu'ils soient régulièrement présentés – et critiqués - comme tels, mais bien d'éléments qui définissent un cadre dans lequel nous nous inscrivons. Notre question est examinée à travers ce prisme⁵, avec les conséquences méthodologiques qu'il fait émerger, et à la lumière d'autres travaux sur la relation causale.

3.1. Force de l'association

3.1.1. Indices

Une association étroite crédible est plus facilement acceptée comme une preuve sérieuse d'une relation de cause à effet qu'une association vague. Pourtant, la force d'une relation n'exclut pas que l'issue entretienne des liens également important avec d'autres variables. La force de l'association est quelquefois quantifiée par le coefficient de corrélation, dans une analyse qui requiert une relation linéaire. Quand les variables étudiées n'ont pas ce profil, ce type d'analyse peut être invalide ou encore produire des résultats sous-estimés. En épidémiologie, elle est exprimée par le risque relatif, aussi appelé rapport des risques, s'il s'agit d'une étude de cohorte. Le calcul du risque relatif nécessite les taux d'incidence et consiste à rapporter le risque R1 de présenter l'issue dans le groupe présentant le facteur de risque pressenti (en numérateur) à ce risque R2 dans le groupe ne présentant pas le facteur de risque, ou non exposé (en dénominateur). Le rapport des côtes (odds ratio en anglais) observé chez les sujets exposés ("cas") par rapport au non exposés ("témoins") rend compte de la force de l'association dans les études dites "cas-témoin" qui consistent à comparer *a posteriori* les variables causales pressenties. En utilisant le tableau précédent, on calcule le rapport des côtes comme le ratio ad/bc.

5 Il sera fait abstraction dans la démonstration de l'un des 9 points énoncés par Hill. Il s'agit du raisonnement par analogie qui ne nous paraît pas éclairer particulièrement notre réflexion.

	malade		
	oui	non	
exposés	a	b	$R1 = a/(a+b)$
non exposés	c	d	$R2 = c/(c+d)$
			risque relatif = $R1/R2$
			rapport des côtes = ad/bc

Table 4. Présentation conventionnelle des résultats dans une enquête de cohorte.

On peut effectuer ces mesures d'association en complément de tests qui permettent d'éprouver l'hypothèse d'indépendance. Leur analyse repose sur la considération de leur valeur, mais aussi de l'intervalle de confiance qui rend compte du fait que les échantillons étudiés ne sont qu'une partie de la population-cible, de sorte que le risque relatif comme le rapport des côtes et les tests associés sont soumis aux fluctuations d'échantillonnage.

Dans l'expression et l'interprétation de l'item "force de l'association", il peut être estimé que si la conséquence était entièrement due à un autre facteur, celui-ci serait très probablement plus évident (Hill, 1965). Ceci ne peut être considéré comme exact sachant que la prédictibilité d'une issue dépend des efforts qui ont été déployés pour trouver le modèle le plus adapté et les outils d'évaluation des déterminants potentiels, de sorte qu'une association causale demeure possible en l'absence de lien fort. La faiblesse d'une association n'exclut pas l'existence d'un lien de causalité. On ne peut nier que le caractère sporadique et imprévisible d'une association joue contre la possibilité de sa nature causale. Dans le cas de l'association entre comportements d'activité physique et événement ou maladie métabolique ou cardiovasculaire, la force est modérée avec des rapports des côtes et risques relatifs faibles ou modérés selon les études, les méthodologies, les pathologies concernées ce qui est donc plutôt en faveur d'une association causale. C'est la considération d'autres aspects qui permettent de mieux apprécier cette éventuelle relation causale.

Pour que la qualité de l'étude soit satisfaisante, la **modalité de sélection du groupe contrôle ou non exposé** est une question majeure, qui s'étend même dans le cas de l'activité physique à la définition du groupe exposé. Il est important en effet que les groupes soient comparables concernant les variables identifiées comme pertinentes (par exemple âge, sexe, poids, statut de fumeur si l'on considère une issue cardiovasculaire) à l'exception de celle qui est étudiée. Des techniques statistiques permettent un certain niveau de contrôle dans le cas

d'écarts entre les 2 groupes comparés en ce qui concerne les variables qui sont des biais potentiels identifiés.

3.1.2. Définition du groupe exposé et du groupe contrôle

Au-delà de l'obstacle de l'évaluation de l'activité physique qui a été largement étudié (LaPorte *et al.*, 1985 ; Bassett, 2000 ; Sirard *et al.*, 2001 ; Westerkerp, 2009), se pose la question de savoir quel est le **groupe de référence**, à qui on attribue la valeur de 1 pour le rapport des côtes ou le risque relatif. Elle peut paraître anodine puisque le résultat n'est pas fondamentalement affecté par ce choix. Pourtant, elle paraît essentielle à la définition de ce qu'est un individu normalement actif. Attribuer le coefficient de 1 au tertile, quartile ou au quintile le moins actif entretient un certain nombre de confusions possibles explicitées ci-dessous, et contribue certainement à l'acceptation de la sédentarité comme situation normale.

Le choix d'étudier les éventuels bénéfices d'une accumulation de pratique physique, par rapport à la population la moins active contribue à institutionnaliser le fait que l'absence d'activité physique est une situation de référence. Examinons un premier exemple avec l'étude sur les AVC dans Manhattan Nord (Northern Manhattan Stroke Study, Sacco *et al.*, 1998) largement citée⁶ et sur la base de laquelle, entre autres, ont été élaborées des recommandations (Pate *et al.*, 1995). Les caractéristiques de 369 victimes d'un premier AVC ischémique (les cas) ont été comparées à celles de personnes recrutées parmi les foyers disposant d'un numéro de téléphone dans la même zone géographique (les témoins, 2 fois plus nombreux). En particulier, un questionnaire relatif à la fréquence et à l'intensité des activités physiques de loisir dans les 2 semaines précédentes a été appliqué. La régression logistique multivariée a été utilisée pour calculer le rapport des côtes entre d'une part l'intensité, et la durée de l'activité physique et d'autre part l'AVC ischémique, avec plusieurs ajustements et stratifications. L'absence de participation a été désignée comme la situation de référence (rapport des côtes = 1). Le rapport des côtes était de 0,37 (intervalle de confiance à 95% : [0,25-0,55]) chez ceux ayant participé à une activité physique quelle qu'elle soit après ajustement sur plusieurs variables comme le fait de fumer, l'obésité, l'éducation, la période d'inclusion etc. Sur la base de cette étude (qui a été confirmée par d'autres) que "toutes choses étant égales par ailleurs"⁷, l'engagement dans une activité physique de loisir

6 62 citations le 12 juillet 2011

7 ce à quoi prétend l'analyse multivariée

confère une protection vis-à-vis de l'AVC ischémique. Le fait que la relation ait été identifiée chez les hommes et les femmes, dans différentes strates d'âges, et chez des individus d'origine ethnique différente permet une généralisation de ce constat. Admettre cette présentation, c'est considérer qu'on a un niveau de risque donné en étant sédentaire, et que ce risque diminue avec l'augmentation de la pratique. Quantitativement, cela revient à ce que, si l'on considère qu'être actif (ici, un minimum) pendant son loisir est la situation de référence, le risque soit augmenté de $1/0,37$, soit 2,7 fois si les individus choisissent délibérément de ne pratiquer aucune activité.

L'exemple suivant concerne une étude au protocole comparable, avec 167 cas inclus cette fois au diagnostic du DT2 et 1100 témoins dont la tolérance au glucose est normale. Le rapport des côtes ajusté était de 0,60 [0,37-0,98] au-delà du tertile d'activité physique le plus élevé, soit une valeur significativement différente de 1 attribuée en-deçà du tertile discrétisant les moins actifs (Fulton-Kehoe *et al.*, 2001). Bien qu'ils aient établi la relation dans ce sens, les auteurs concluent que leurs résultats sont compatibles avec un risque accru de DT2 consécutif à l'inactivité physique (qui correspond ici à $1/0,60$ soit 1,7 fois). Ceci démontre certainement que l'interchangeabilité entre "sédentarité, facteur de risque" et "activité physique, facteur de protection" est acceptée, et que cette confusion doit être levée, même si elle est techniquement acceptable du point de vue du niveau général de dépense énergétique. Le même raisonnement pourrait être appliqué sur des dizaines d'études, et il ne s'agit pas d'affirmer que la situation de référence doit nécessairement revenir à un groupe qui s'entraînerait intensément régulièrement. En revanche, il paraît nécessaire que ce choix soit éclairé, conscient, et éventuellement justifié de la part des chercheurs.

Appréhender à quel point cette notion selon laquelle on étudie l'activité physique, ou un autre facteur "toutes choses étant égales par ailleurs" est artificielle et quel est le degré de contrôle exercé par les statistiques revient à poser la question de la spécificité de l'association.

3.2. Spécificité de l'association

Il faudrait s'assurer que la mesure de la force de l'association soit spécifique à la variable étudiée. La spécificité est le principe selon lequel une cause, un marqueur ou une variable doit être associée à une maladie particulière, et réciproquement, cette maladie ne peut être produite que par cette seule cause. Cela

a été formalisé par l'ajout du critère d'**indépendance** pour conclure à la causalité pour certains auteurs (Jenicek *et al.*, 1987). Cette précision vise à rappeler que l'association entre le facteur et l'issue ne doit pas être liée à ce que ce facteur reflète l'impact d'une autre variable. Elle doit donc exister même chez des sujets en tous points comparables en dehors de l'exposition au facteur, ou lorsque ces autres variables sont statistiquement contrôlées dans les analyses multivariées. Cette condition est assez difficile à remplir compte tenu de l'intrication fréquente des facteurs de risque, particulièrement dans le cas des pathologies cardiovasculaires.

3.2.1. Intrication des facteurs de risque

Par exemple, parmi les interactions les plus susceptibles de biaiser notre raisonnement et notre compréhension de la littérature sur le rôle de l'activité physique dans la santé cardiométabolique, le possible impact réciproque des comportements alimentaires et d'activité physique retient notre attention. Eaton a soulevé ce point dans l'analyse des résultats d'une sous-étude transversale consistant en l'analyse conjointe des résultats d'un questionnaire de fréquence alimentaire et du statut plus ou moins actif (déterminé par le résultat d'une question sur les activités physiques de loisirs) chez 2053 hommes et femmes. Cette étude était intégrée dans un projet interventionnel de prévention cardiovasculaire mené en population générale qui inclut 6 enquêtes bisannuelles dans la ville d'intervention et dans une ville contrôle (Pawtucket Heart Health Program). Les résultats ont validé l'hypothèse selon laquelle les individus les plus actifs physiquement sont orientés vers une alimentation globalement plus saine, comprenant plus de fibres, de fruits et légumes, de vitamines et minéraux, moins de graisses totales et saturées que les individus les moins actifs (Eaton *et al.*, 1995). Ceci a été observé dans les 2 communautés étudiées, avant et après ajustements divers (sur l'apport énergétique total, âge, le niveau d'éducation entre autres). Si les résultats étaient relativement conformes à des publications antérieures - et ont aussi été confirmés ultérieurement (Matthews *et al.*, 1997 ; Mensink *et al.*, 1997 ; Oppert *et al.*, 2006) -, l'interprétation proposée a été originale. En effet, les auteurs ont insisté sur le fait que cette association forte peut signifier qu'une partie de l'effet protecteur de l'activité physique sur des pathologies comme l'hypertension, le cancer du colon ou la maladie coronarienne, est attribuable à l'alimentation, dans les études où celle-ci n'a pas été contrôlée. Sur la base des mêmes résultats, notons que l'hypothèse inverse aurait également pu être formulée, à savoir qu'une partie du risque que l'on attribue aux comportements alimentaires est

potentiellement liée aux comportements d'activité physique.

Dans le cas qui vient d'être évoqué, les interactions concernent des catégories de facteurs (*i.e.* comportements alimentaires et comportements d'activité physique) qui peuvent être considérés du même ordre. Autrement formulé, ils sont du même niveau dans la chaîne ou le réseau de relations causales que la communauté scientifique s'attache à mettre à jour dans les populations en plaçant d'un côté, des facteurs sociaux, culturels, démographiques, génétiques, épigénétiques, et de l'autre côté, les maladies métaboliques et cardiovasculaires. L'amélioration des connaissances sur la physiologie de la régulation de l'apport alimentaire, telles qu'elle est développée par plusieurs laboratoires, est de nature à clarifier ces interactions (Bozinovski *et al.*, 2009). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous nous sommes rapprochée du département de nutrition de l'Université de Toronto. On peut donc imaginer une amélioration de la précision sur la part du risque métabolique et cardiovasculaire qui est effectivement imputable à l'activité physique dans les années à venir, sans qu'une prédiction sur le sens (augmentation, diminution) ne soit possible.

Dans la plupart des cas cependant, les facteurs dits explicatifs qui sont étudiés pour prédire la survenue de la maladie sont de niveaux différents, avec des paramètres cliniques biologiques et anthropométriques, des variables caractérisant les comportements alimentaires et d'activité physique. Nous pensons⁸ que dans les analyses multivariées, l'éloignement dans la chaîne causale est un handicap (partie 2, point 2.3). Par ailleurs, ces analyses mettent en compétition les facteurs sur la base de la force de l'association ce qui lie de fait force et indépendance, indépendamment de la stratification réelle des causes à laquelle on n'accède pas. En conséquence, les comportements d'activité physique peuvent être trop rapidement et artificiellement écartés, à plus forte raison quand ils ont été estimés et non mesurés. Prenons l'exemple d'une cohorte d'adultes d'origines différentes et connues, dont on caractérise les comportements d'activité physique et dont on connaît plusieurs variables cliniques, puis qu'on suit pour étudier la survenue de l'infarctus du myocarde. Dans la comparaison interethnique, l'annulation virtuelle de l'effet de l'âge (si le hasard a fait qu'un groupe soit plus âgé que l'autre) est normale et relève des compétences des régressions multiples. En revanche, un ajustement correct sur la variable activité physique, vu son statut spécifique, nous

⁸ Nous reconnaissons manquer d'arguments pour étayer cet avis, faute de connaissance suffisamment importante des ressorts des analyses multivariées. Nous envisageons de combler cette lacune au plus vite, et de reconsidérer cette question à la lumière de cette compréhension.

semble souvent difficile. Aussi puissantes et intéressantes soient les analyses multivariées, il n'est pas certain qu'elles permettent de rendre compte de toute l'influence de l'activité physique sur la survenue d'une pathologie donnée, et en tout état de cause, elles ne peuvent pas compenser les éventuelles difficultés rencontrées pour l'évaluation de l'activité physique.

3.2.2. Contrôle des biais

L'aspect virtuel et utopique de la comparaison de groupes comparables en tous points, sauf sur celui que l'on veut étudier, est flagrant dans l'étude du risque de présenter une mort subite chez des coureurs de différents types. La mort subite est un arrêt cardiaque primaire fatal, sans qu'aucune affection préalable n'ait été détectée, survenant dans un court délai après l'apparition des premiers symptômes. Bien que le terme de mort subite soit employé également chez des patients suivis pour une cardiopathie identifiée (Jouven, 2007), qu'elle soit hypertrophique, post-infarctus du myocarde, cardiomyopathie dilatée ou autre, il peut s'appliquer spécifiquement à des participants à des compétitions à caractère sportif nécessitant un entraînement systématique. La mort subite du sportif est par définition inattendue. Elle doit être non traumatique et se produire au cours de la pratique d'un sport ou dans l'heure qui suit l'arrêt de la pratique.

Il n'est éthiquement ni humainement pas envisageable d'allouer arbitrairement des participants sains dans différents groupes de pratique allant de la marche hebdomadaire à l'entraînement pour des marathons. On est contraint à s'appuyer sur des études observationnelles à défaut des essais contrôlés randomisés susceptibles de conduire en théorie au meilleur niveau de preuve de relation causale, et quelquefois à les comparer entre elles. Ainsi, 2 études indépendantes l'une de l'autre sont classiquement citées ensemble pour démontrer l'effet du type de pratique sur le risque de mort soudaine. L'une rapporte un risque de 1/15000 chez les joggeurs (Thompson *et al.*, 1982), et l'autre un risque de 1/50000 chez les marathonniens. Il y a des raisons de croire que les adaptations induites par l'entraînement au marathon sont largement impliquées dans cet écart. Cependant, on ne peut négliger que les personnes qui s'engagent et qui persévèrent dans l'entraînement au marathon peuvent présenter certaines dispositions que n'ont pas les autres. Il n'y a aucun moyen de savoir si les joggers ou les non-actifs auraient eu les ressources pour aller jusqu'à la réalisation de marathons. On ne peut pas non plus exclure que les mécanismes impliqués dans cet effet de pré-sélection soient aussi impliqués dans la protection vis à vis des pathologies

cardiovasculaires. Il n'est donc pas toujours possible de mettre en œuvre le contrôle des biais qu'on sait nécessaire, et donc, plus encore qu'à l'accoutumée, la précaution et l'intelligence sont requis pour l'interprétation de ce type d'étude et leurs comparaisons éventuelles.

3.3. Constance de l'association

L'hypothèse d'un lien de causalité est plus crédible si l'association présence du facteur – présence de l'issue est rapportée dans des études réalisées à des moments divers, par des équipes différentes, sur des populations d'études dissemblables vivant dans des conditions disparates. Ceci témoigne de la robustesse de la relation éventuellement causale, et atténue l'aspect nécessairement réducteur de la recherche scientifique. L'intérêt des études multicentriques est très marqué par rapport à ce point particulier, mais peuvent être irréalisables si un groupe humain donné ou un milieu de vie spécifique est l'objet de l'étude. Leur qualité méthodologique permettra ou non leur inclusion dans d'éventuelles méta-analyses dont la puissance est un argument majeur dans l'accès au statut de facteur de risque d'une variable. Ces méta-analyses ne sont possibles que si de nombreuses études ont abordé la même question, ce qui n'est pourtant pas compatible avec de nombreuses politiques éditoriales qui insistent sur le caractère original des travaux à soumettre.

La récurrence de la relation inverse est flagrante. Un synopsis loin de l'exhaustivité est proposé à la fin de ce chapitre (table 6). A titre d'exemple, nous développons ci-dessous l'analyse de la constance de l'association entre le niveau d'activité physique et le métabolisme du glucose.

Il existe une certaine accumulation de données issues d'études prospectives qui montrent qu'une activité physique accrue est associée à un risque de DT2 diminué chez les sujets sains, avec un bénéfice qui semble plus prononcé chez ceux qui ont le risque le plus élevé. Dans l'étude de santé des anciens de l'Université de Pennsylvanie (Harvard alumni study), 5990 jeunes hommes sains à leur entrée dans l'étude ont été suivis. Au cours de leur suivi de 1962 à 1976, 202 cas de DT2 ont été déclarés. Le taux d'incidence du DT2 était inversement lié à la dépense énergétique en activité physique de loisir en 1962, et avant et après ajustement pour l'obésité, l'hypertension, et l'histoire du diabète dans la famille. La réduction du risque était de 24% (risque relatif 0,76, intervalle de confiance à 95% [0,63-0,92]) pour un incrément hebdomadaire de 2000 kcal en activités physiques de

loisirs (Helmrich *et al.*, 1991). Comme ces résultats ont été obtenus chez des hommes des Etats-Unis ayant étudié à l'Université entre 1928 et 1947, il n'était pas superfétatoire de tenter de les reproduire à d'autres époques et sur d'autres populations. Ceci a été fait, et dans l'ensemble, le risque relatif de développer le DT2 diminue significativement avec l'augmentation de l'énergie dépensée en activités physiques de loisirs et activités professionnelles aussi chez des femmes (Hu *et al.*, 1999). Dans une étude prospective de cohorte réalisée dans 11 états des USA à partir de 1986, après ajustements, le risque est 46% inférieur chez les infirmières se situant dans le quintile le plus actif comparativement aux sédentaires. Parmi des amérindiens, descendants des premiers occupants du continent américain, une réduction du risque d'incidence de DT2 du même ordre (risque relatif 0,67 [0,46-0,99]) a été rapportée dans les tertiles⁹ les plus actifs, comparativement au tertile de participants les plus sédentaires (Fretts *et al.*, 2009). Dans une étude transversale réalisée à l'île Maurice sur une population très exposée au diabète et d'origines diverses, des résultats convergents ont été identifiés. La proportion de participants dépistés comme intolérants au glucose était plus élevée parmi ceux dont le score d'activité physique était bas ou modéré par rapport à ceux dont le score était élevé (OR de 1,71 and 1,56 chez les hommes ; OR de 1,69 et 1,32 chez les femmes, le 1 étant ici le groupe le plus actif, Dowse *et al.*, 1991).

3.4. La cohérence temporelle

La cause pressentie doit chronologiquement précéder la survenue du phénomène que l'on veut expliquer. Il s'agit bien ici d'un critère sine qua non (Goodman *et al.*, 2005) même s'il n'a pas été présenté initialement comme tel. C'est en fait plus l'absence de relation temporelle qui renseigne de manière fiable sur la relation causale. En effet, selon la pensée contrefactuelle, il n'est pas logique que le facteur pressenti soit effectivement causal s'il n'est présenté qu'après la manifestation du phénomène dont on cherche à comprendre l'étiologie. A l'inverse, le "*post hoc, ergo propter hoc*", soit "à la suite de cela, donc à cause de cela" est un sophisme que le scientifique écarte par sa démarche, qui doit lui permettre de ne pas confondre cause et antécédent.

On conçoit à cet égard la supériorité des études longitudinales, et à plus

9 Pour respecter le sens strict du terme tertile qui est une valeur seuil, il faudrait en fait désigner cette population comme ceux dont la valeur dépasse le plus grand tertile. Nous avons ici repris l'usage courant.

forte raison des essais contrôlés randomisés, sur les études transversales. Dans une étude longitudinale, la/les variable(s) sensée(s) représenter la cause potentielle sont mesurées ou évaluées à un temps t , puis chacun des participants est suivi pendant une période préalablement définie pendant laquelle on notera l'occurrence ou la non-occurrence de l'évènement. L'analyse statistique consistera ensuite à déterminer si aux temps t_{+x} , t_{+2x} ... , la prévalence de la pathologie est statistiquement supérieure (on est dans un contexte d'hypothèse unilatérale) dans le groupe exposé à celui qui n'est pas exposé au présumé facteur de risque.

En conséquence, l'association pour les facteurs dont l'effet prend du temps à se manifester est moins facile à capter par le chercheur : il ne s'agit plus seulement de poser comme hypothèse la vérification d'une observation. C'est donc dans le contexte où elle est la moins flagrante que cette notion de temporalité revêt le plus d'importance. Il n'est donc pas étonnant que le rôle protecteur de l'activité physique ait été identifié avant le rôle délétère de la sédentarité, car il s'agit bien de 2 phénomènes partiellement indépendants comme nous le développerons.

Jeremiah Morris puis Ralph Paffenbarger sont certainement les premiers sous notre ère scientifique à avoir, de manière signifiante, attiré l'attention sur le rôle de l'activité physique dans la protection vis à vis du risque cardiovasculaire. Ils ont contribué à une meilleure appréhension de la relation causale dans ces pathologies en mettant en place de grandes études de suivi de cohorte. Ainsi, au cours d'une période où une grande partie de la variabilité interindividuelle dans l'activité physique totale était liée à l'activité professionnelle, 6351 dockers âgés entre 35 et 74 ans à leur entrée dans l'étude ont été suivis pendant une durée médiane de 22 ans. Ils ont été classifiés dans l'une des 3 catégories de dépense énergétique (faible, modérée, élevée) en fonction du nombre d'années passées dans les différentes tâches professionnelles. Après ajustement sur l'âge, le taux de décès coronarien était de 26,9 pour 10000 années de travail chez les plus actifs, alors qu'il était de 46,3 et 49,0 dans les 2 autres classes. Cet effet de seuil apparaît aussi pour la mort subite avec 5,6 décès pour 10000 années de travail observés chez les plus actifs, contre 19,9 chez les modérément actifs (Paffenbarger & Hale, 1975).

La cohérence temporelle n'est pas toujours facile à établir, et la notion de causalité inverse doit être considérée, surtout dans les études transversales. Dans le contexte des pathologies cardiométaboliques, cela renvoie à la possibilité qu'une activité physique insuffisante soit une conséquence, plutôt qu'une cause. Les 2 possibilités ne sont pas exclusives l'une de l'autre et les relations peuvent même

être circulaires. Ce serait le cas par exemple dans le cas d'une dysfonction métabolique ou cardiovasculaire (d'étiologie initiale indépendante des comportements d'activité physique, ou consécutive à un manque d'activité physique) qui limiterait l'efficacité du métabolisme aérobie, dans une mesure telle que plusieurs activités de la vie quotidienne requerraient une contribution substantielle du métabolisme anaérobie. Dans un tel cas, l'inconfort lié à cette adaptation aigüe (sensation d'essoufflement, douleur musculaire, incapacité à continuer la tâche ou l'exercice) conduirait l'individu à éviter ces situations de sollicitation physique, ce qui aggraverait d'autant plus la puissance et la capacité du métabolisme aérobie et augmenterait encore l'intolérance à l'exercice dans un cercle vicieux.

3.5. La relation dose-effet

La présence d'un gradient accrédite également l'hypothèse de causalité. On s'attend, au moins sur une partie de la courbe puisqu'un effet de seuil est possible, à ce que le risque de développer la maladie, l'intensité des symptômes, ou la précocité de l'issue augmente avec l'exposition au facteur de risque. En épidémiologie, cette relation se définit au regard de la proportion de personnes qui développent un effet spécifique dans différents groupes, ici de niveau d'activité physique. Cette variation est supposée intégrer les différences de sensibilité individuelle dans la réponse que l'on ne peut appréhender de manière satisfaisante avec le paradigme expérimental. Il n'est en effet pas possible de tester avec fiabilité l'effet chronique de l'entraînement à différents volumes chez la même personne. Dans d'autres cas, plutôt en pharmacologie ou toxicologie, on peut tester l'analogie attendue entre d'une part, le fait qu'à faible dose, personne ne présente l'effet et à haute dose, la majorité des individus le manifeste, et d'autre part, le fait qu'un individu donné ne soit pas affecté par l'exposition à de faibles doses, qu'il soit modérément affecté par l'exposition à des doses modérées, et qu'il soit très affecté par des doses élevées. Il ne nous paraît pas inutile de préciser que la probabilité d'observer ce gradient dépend des efforts déployés pour y parvenir, à savoir d'abord de la qualité des méthodes utilisées pour quantifier l'activité physique (Lamonte *et al.*, 2001). Nous avons déjà évoqué le fait que les variables liées à l'activité physique sont floutées par une définition insuffisante des concepts et un recours à des catégories larges (partie 2, paragraphe 1.4).

3.5.1. Nature des variables examinées

La question de la relation dose-effet entre l'activité physique et la santé a été soulevée dans un symposium organisé en 2000 sous l'impulsion de Santé Canada et des centres de prévention et de contrôle des maladies des États-Unis (United States Centers for Disease Control and Prevention). Le panel, volontairement constitué d'experts en santé extérieurs au champ de l'exercice, considère que l'aptitude pulmonaire est un vecteur de l'association. En conséquence, l'intensité de l'exercice, de par son rôle connu sur l'aptitude cardiovasculaire et en particulier la consommation maximale d'oxygène, est présentée comme un point central de l'évaluation de la relation dose-effet (Kesaniemi *et al.*, 2001). La relation inverse dose-effet entre l'activité physique et les taux d'incidence comme ceux de mortalité liés aux maladies cardiovasculaires et coronariennes existe. Elle est identifiable que ce soit l'intensité ou le volume d'activité qui soit évalué. Cependant, le niveau de preuve permettant d'en attester est jugé peu satisfaisant¹⁰. La relation avec la prévention du DT2 est caractérisée comme forte¹¹ par le même panel. Chez les hommes présentant un DT2 confirmé, selon eux, les arguments convergent en faveur d'un gradient entre l'aptitude cardiopulmonaire et la mortalité toutes causes confondues, mais aussi le risque cardiovasculaire.

3.5.2. Largeur de la fenêtre d'observation

La largeur de la fenêtre d'observation à laquelle on a accès affecte également la probabilité d'identifier un gradient qui existerait. Autrement formulé, une variabilité interindividuelle suffisante est requise pour avoir l'opportunité de mettre en évidence l'existence d'un gradient (Figure 2).

10 L'American College of Sports Medicine utilise un système de catégories de preuves à 4 niveaux, de A à D, A étant le plus élevé. Ici, le niveau de preuve retenu est la catégorie C, c'est-à-dire basé sur les résultats d'études non contrôlées ou non randomisées, ou d'études observationnelles

11 mais de niveau C également

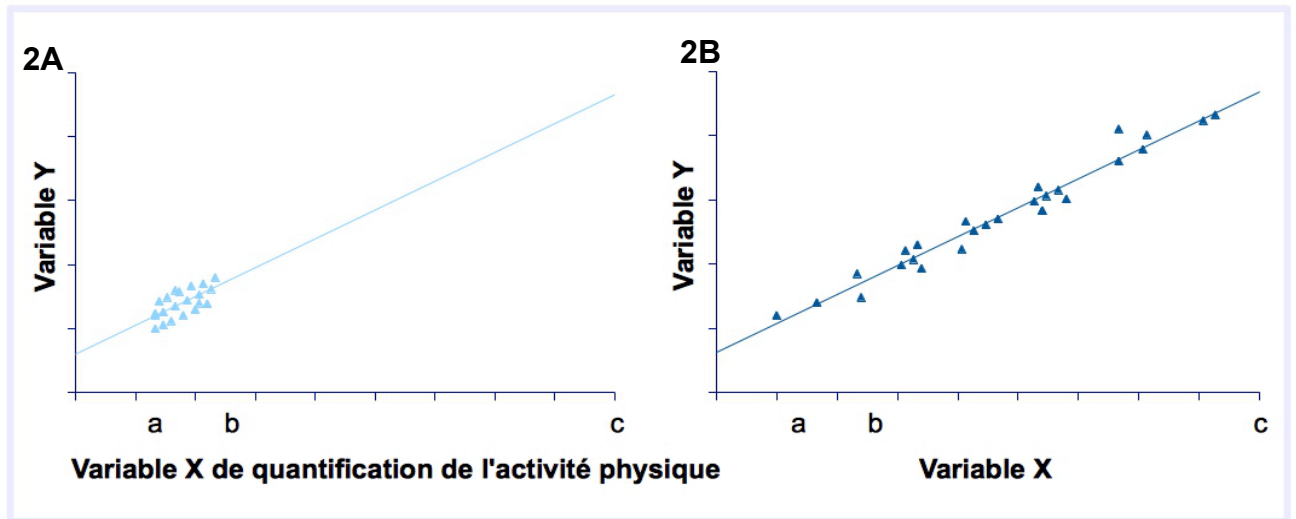


Figure 2. Relation fictive entre une variable de quantification de l'activité physique en abscisse et en ordonnée, une variable Y dont on souhaiterait identifier la relation dose-effet. La mise en évidence du gradient est limitée dans le cas de l'observation sur l'intervalle [a-b] (Figure 2A, ▲) par rapport à la possibilité d'étudier une étendue plus grande sur l'intervalle [a-c] (Figure 2B, ▲). Les mêmes variables X et Y sont représentées en 2A et 2B. On considère qu'elles sont liées par la même relation dont le modèle linéaire donne une représentation satisfaisante.

Dans le cas des comportements d'activité physique, quelle que soit la variable retenue, par exemple la dépense énergétique dans les activités de loisirs exprimée par x ci-dessous, une moyenne très basse avec une faible variabilité dans la population observée implique nécessairement une réduction de l'étendue. Or, si l'étude porte sur des variables continues normalement distribuées et que l'indicateur retenu pour évaluer l'effet dose-réponse est le coefficient de corrélation, compte tenu de la formule du coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson

$$r_{-} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

on doit pouvoir démontrer que sur un intervalle réel [a; c],

avec $x \in [a ; c]$ et y un réel

si $(c-a) \rightarrow 0$

et si les termes de la relation liant X et Y qui peut être modélisée selon

$Y = A + BX$ (2) sont égaux

et si l'écart de chacun des points à la moyenne est

alors, $r \rightarrow 0$.

Pour la même raison, avec $b \in [a ; c] \Leftrightarrow b < c$, avec $x' \in [a ; b]$, avec le même N et avec les mêmes constantes A et B qu'en (2) pour caractériser la relation $Y' = A + BX'$

si on calcule r' selon (1), alors, $r' < r$.

Sur la figure 2, r' caractérisant la force de l'association entre les variables X et Y en 2A et r la caractérisant en 2B, on a $r' < r$.

Grâce aux données de l'Etude Nationale Nutrition Santé menée par l'Unité de Surveillance et d'Epidémiologie Nutritionnelle (Université Paris 13) et promue par l'Institut de Veille Sanitaire, nous avons pu nous intéresser à l'effet conjoint du choix du groupe contrôle et du fait de travailler dans une population qui présente une plus ou moins grande variabilité dans le niveau d'activité. Dans une large population d'adultes, nous avons constitué 4 groupes et effectué successivement les comparaisons 2 à 2 entre les 596 participants les plus actifs et 596 tirés au sort parmi les autres d'une part, et entre les 596 participants les moins actifs et 596 autres tirés au sort parmi les autres. Les variables étudiées étaient relatives à l'apport énergétique total et à la contribution relative des macronutriments dans cet apport énergétique. Le postulat était qu'une absence d'effet du choix du groupe contrôle devait se manifester par des résultats comparables. Or, nous avons mis en évidence que des différences entre les 2 populations virtuelles, l'une de 2 x 596 adultes dont la moitié d'actifs dans laquelle on identifie des différences de profil de diète en fonction du niveau d'activité, l'autre de 2 x 596 adultes dont la moitié de très inactifs dans laquelle il n'apparaît pas d'effet du niveau d'activité sur le profil de diète (Table 5, résultats présentés sous forme de poster au Congrès Européen de l'Obésité à Lyon en 2012).

	596 les plus actifs	596 moins actifs parmi les autres	p	596 les moins actifs (<675 MET.min / semaine)	596 plus actifs parmi les autres	p
Apport énergétique (kcal/jour)	2082±682	1968±568	0.002	1963±591	1950±615	0.654
Apport énergétique relatif (kcal/day/kg)	30.2±9.9	29.3±9.0	0.133	28.3±8.9	29.1±9.5	0.370
Apport protéique (%kcal)	17.1±3.3	17.2±3.2	0.718	17.1±3.3	17.4±3.7	0.133
Apport glucidique (%kcal)	42.1±7.1	41.0±6.8	0.005	41.1±7.3	41.7±7.2	0.554
Apport lipidique (%kcal)	37.6±5.9	38.3±5.9	0.025	38.3±6.1	37.7±6.0	0.746

Table 5. Apport énergétique absolu et relatif à la masse corporelle, et distribution relative des macronutriments dans l'apport énergétique d'adultes (données de l'Etude Nationale Nutrition Santé) dans 2 populations virtuelles recomposées.

Nous avons subi cet effet dans nos travaux. L'hétérogénéité des modes de vie sédentaires s'est en effet révélée faible dans une étude réalisée sur des étudiantes du campus de Fouillole en Guadeloupe (Antoine-Jonville *et al.*, 2010). Face à cette observation, il a fallu réorienter l'étude puisqu'il n'était plus possible d'appréhender le gradient. De plus, la plus grande part de la variabilité interindividuelle dans la dépense énergétique était liée aux activités occupationnelles¹². Or, on sait, pour des raisons théoriques et depuis le suivi d'une cohorte de femmes suivies 7 ans, que la mesure de l'association entre l'activité physique et la mortalité prématurée est affectée par la prise en compte de cette famille d'activités (Weller & Corey, 1998). Sur des populations présentant ce type de profil, dans des études dans lesquelles les calculs de risque ou les corrélations sont utilisées pour appréhender la relation dose-effet, l'absence de prise en compte de ces activités viendrait donc s'ajouter à la sous-estimation de la force de l'association prétendument estimée, sous-estimation inhérente à la fenêtre d'observation réduite.

3.5.3. Correction d'un facteur de risque, réversibilité

Le critère de réversibilité est avancé dans certains articles ou ouvrages examinant la causalité (Jenicek & Cléroux, 1987) en sciences de la vie et de la santé. C'est une autre façon d'aborder la question générale de la relation dose-effet. Si la correction du facteur de risque modifiable dans une population préalablement exposée ne s'ensuit pas d'une diminution de l'incidence de l'issue considérée, la causalité de la relation est peu probable. Cette condition n'est pas applicable aux

¹² Dans cette étude, les activités occupationnelles étaient la marche de déplacement, les courses et le ménage.

variables déterminées comme l'âge, le sexe, ou la présence d'un gène donné, encore que l'influence de l'environnement soit rarement neutre dans ce dernier cas. La démonstration de cette condition requiert des études interventionnelles le plus souvent, dans lesquelles seule une partie du groupe initialement exposé se verra proposer un traitement (hypolipémiant par exemple) ou une modification du mode de vie (niveau d'activité physique, régime alimentaire). Il est intéressant à cet effet d'examiner les études sur les conséquences de l'alitement, et celles sur les augmentations de niveau d'activité physique. Plusieurs études tendent à confirmer l'existence de la réversibilité des effets de l'entraînement physique régulier (Corcoran, 1991).

3.6. Plausibilité de la cause, cohérence biologique

L'interprétation causale est renforcée par d'une part sa plausibilité, c'est-à-dire sa cohérence avec les principes bien établis de biologie, chimie et physique. D'autre part, elle est renforcée par sa cohérence avec notre connaissance du sujet et celle d'experts, qu'elle soit théorique, pratique ou clinique, en particulier les résultats d'autres approches comme les expérimentations animales ou *in-vitro* quand on travaille sur l'Homme. Un conflit rendrait l'hypothèse de causalité plus difficile à crédibiliser, bien qu'elle n'annule pas son éventualité. Dans le cas fréquent où l'association éprouvée est indirecte, le statut de facteur de risque sera plus facilement crédible si un mécanisme a été préalablement démontré (sur une autre espèce par exemple) ou est suspecté par certains membres de la communauté scientifique ou de professionnels de terrain. Dans le contexte étudié ici, plusieurs sources cliniques sont intéressantes. Il s'agit de l'accumulation de connaissances et des expériences plus ou moins formalisées des kinésithérapeutes, des entraîneurs dans les clubs de remise en forme, des entraîneurs du milieu sportif de haut-niveau, des médecins et physiologistes qui supervisent des épreuves d'effort et le réentraînement à l'effort.

3.7. Evaluation expérimentale

Les premières affirmations scientifiquement argumentées selon lesquelles l'entraînement en endurance régulier sollicite la plasticité cardiovasculaire et aboutit à des adaptations favorables à la santé datent de plus d'un siècle, et surtout, elles ont été développées en dehors du contexte pathologique. Par exemple, la diminution des résistances périphériques *via* un retour veineux amélioré est

connue depuis très longtemps (Rice, 1892). Il en va de même à propos de la flexibilité métabolique. En témoigne la démonstration « précoce » dans l'histoire de la physiologie de l'exercice de l'amélioration de la capacité à oxyder des lipides avec l'entraînement en endurance (Krogh *et al.*, 1920). Ces phénomènes ont été confirmés et expliqués avec les techniques ultérieurement développées. En revanche, la traduction de ces connaissances dans le domaine de la santé publique a pris un certain temps. Il a fallu attendre les années 1960 et les premières grandes preuves à caractère épidémiologique pour que l'on considère sérieusement les comportements d'activité physique comme susceptibles d'influencer la physiopathologie des pathologies métaboliques. De la même façon, des études expérimentales convaincantes décrivant les effets délétères de l'alitement sont publiées depuis plusieurs décennies (Saltin *et al.*, 1968). Ce n'est pourtant que récemment qu'un enthousiasme certain se manifeste dans la littérature scientifique envers la durée assise de la population comme cible éventuelle d'intervention en santé publique (Booth *et al.*, 2006).

Il est intéressant de constater qu'en ce qui concerne la majorité des facteurs de risque cardiovasculaires modifiables (comme l'hypertension ou le tabagisme), la chronologie a été différente. Les premiers éléments de preuve publiés sont antérieurs aux études expérimentales pénétrant dans la physiopathologie. L'opposition n'est pas stricte puisqu'actuellement sur ces questions, les 2 approches (*i.e.* épidémiologie et méthode expérimentale) se complètent. Cependant, l'enchaînement chronologique des types de preuves demeure différent et il est possible que cela ait contribué à la sous-utilisation des interventions sur les comportements d'activité physique en santé publique. En effet, la confirmation épidémiologique du rôle des comportements d'activité physique dans la santé est relativement tardive et peu sensationnelle, si le critère considéré est la force de l'association.

L'épidémiologie expérimentale prétend combiner les points forts de la méthode expérimentale et de l'épidémiologie et proposer une méthode scientifique stricte pour éprouver une hypothèse. A ce titre, on considère généralement que les essais cliniques randomisés constituent les designs expérimentaux les plus rigoureux (Porta *et al.*, 2008). Le caractère systématique de leur supériorité a été critiqué très tôt (Cornfield *et al.*, 1954), et encore aujourd'hui des philosophes, méthodologistes et épidémiologistes alertent sur la surestimation qui peut être faite de ce type de protocole (Worrall, 2011). Cependant, on sait maintenant que les

preuves qui en découlent ont une fiabilité satisfaisante, à condition, et uniquement dans ce cas, que les participants de l'essai soient représentatifs de la population-mère à laquelle on souhaite extrapoler les conclusions. C'est bien cette condition qui pose problème. En effet, malgré le soin apporté par les chercheurs au protocole et à sa mise en œuvre, il peut demeurer, pour des raisons éthiques ou pratiques, que les patients éligibles ou que les participants ne soient pas représentatifs au point d'altérer la généralisation des résultats. Chez l'adulte sain, les essais cliniques focalisés sur l'activité physique sont particulièrement difficiles à mener compte tenu des contraintes qui leur sont relatives, en termes de temps et d'effort notamment. Les participants doivent aléatoirement être alloués soit à un groupe contrôle, soit à un (ou l'un des) groupe(s) d'intervention sur le mode de vie.

Ces interventions, qu'elles comparent ou combinent les modalités diététiques et comportementales en activité physique, ont fait preuve d'efficacité à plusieurs reprises, en particulier sur des personnes intolérantes au glucose. L'une des études pour laquelle le recul est le plus important est l'étude chinoise Da Qing qui a démontré après 6 ans d'intervention uniquement par l'exercice physique une diminution de 49% [31% - 83%] du risque relatif de développer le DT2 durant les 20 années de suivi par rapport au groupe contrôle. Cet impact était du même ordre avec la combinaison de mesures diététiques et de programme d'activité physique, et avec les mesures diététiques seulement (42% [38% - 89%] et 34% [41% - 109%], respectivement, [Li et al., 2008](#)). Les essais randomisés sur des effectifs plus réduits, comme des programmes de reconditionnement physique en milieu médicalisé, sont également intéressants pour mieux appréhender les mécanismes physiologiques des adaptations fonctionnelles. Cependant, elles sont trop coûteuses pour être étendues à large échelle, surtout en prévention primaire. De nombreuses équipes ont privilégié la pertinence à la validité, en s'intéressant aux interventions à caractère communautaire, où priorité est donnée à la généralisation à long terme et à grande échelle (*via* la réduction des coûts et l'inscription dans l'environnement du participant), quitte à perdre en homogénéité des durées et intensités de pratique entre les participants. La majorité de ces études manquent de puissance statistique et n'ont pas pu se dérouler sur des durées suffisamment longues pour, à ce jour, mettre en évidence d'éventuels changements significatifs en matière d'incidence des pathologies cardiométaboliques ou de variations significatives de marqueurs biochimiques du contrôle métabolique ou du risque cardio-vasculaire. Pourtant, certains auteurs ont réussi ce challenge de la mise en place d'étude randomisée contrôlée en s'appuyant sur la démarche

communautaire. Ainsi, Lombard *et al.* ont démontré qu'un programme combinant contact personnel et suivi à distance permet le contrôle de la masse corporelle de jeunes mères avec un bon rapport coût-efficacité (Lombard *et al.*, 2010). Il nous semble important que ce type d'étude soit mené également sur nos territoires, et nous pensons que cela serait possible avec la systématisation de l'évaluation rigoureuse des actions de santé publique.

3.8. Synthèse

Nous avons présenté dans ce chapitre notre analyse de la question de la causalité entre les comportements d'activité physique et la santé cardiométabolique. Un lien plus ou moins fort, selon les techniques d'évaluation de l'activité physique plus que selon l'issue considérée, est rapporté dans les études épidémiologiques. Ce lien est quelquefois tenu mais il est extrêmement récurrent. Un tableau récapitulatif est proposé à la suite de ce paragraphe. Des démonstrations à caractère expérimental confirment cette causalité. Cependant, la complémentarité entre les études expérimentales, surtout développées chez le sujet sain voire chez le sportif, et les études épidémiologiques ne s'est pas construite de la même manière que pour les autres facteurs de risque cardiovasculaires modifiables. Cela pourrait, selon nous, contribuer à ce que sur l'aspect strictement cardiovasculaire, la sédentarité soit un facteur de risque négligé, par exemple par des institutions françaises qui ne la placent pas au premier rang des cibles d'intervention chez les patients à risque. Par ailleurs, la confusion autour des comportements d'activité physique contribue à la distorsion de la perception des différents acteurs (grand public, médecins, éducateurs sportifs) de leur impact réel en matière de santé publique. La notion de comportements d'activité physique couvre la quantité et l'intensité des activités physiques énergétiquement sollicitantes, mais aussi la durée et sa distribution passée dans des activités sédentaires. Leur intrication avec d'autres déterminants de la santé cardiométabolique est telle que l'indépendance de l'une des composantes des comportements d'activité physique ou de leur faisceau est difficile à mettre en évidence, au point d'avoir peut-être même sous-estimé la force de leur association avec le risque cardiométabolique. Il faut d'ailleurs noter que les mécanismes biologiques, psychologiques et sociaux, et l'ampleur de cette intrication n'ont pas été complètement élucidés de sorte que toute correction ou ajustement statistique demeure extrêmement artificiel.

Cette analyse repose sur le fait qu'un mode de vie actif est plus conforme aux contraintes qui se sont exercées sur l'Homme au cours de son évolution qu'un mode de vie sédentaire. En conséquence, les comportements d'activité physique doivent être présentés comme des cibles d'intervention en santé publique dans une perspective de prévention cardiométabolique chez les individus et dans les populations dont on a la certitude que ces comportements sont inadaptés à leurs besoins.

Insuffisance cardiaque, infarctus du myocarde, cardiopathie, AVC

<p>l'incidence du DT2 avec la pratique régulière d'activité physique (catégorie C).</p> <p>2002 <i>China National Nutrition and Health Survey</i> (étude transversale, Ma et al., 2008) : le niveau d'activité physique est un facteur de risque indépendant du syndrome métabolique. La prévalence diminuerait de la classe des moins actifs (9,7%) à celle des plus actifs (6,9%, 5,6% and 4,9% par tranche de niveau d'activité physique).</p> <p>Selon une revue systématique, l'entraînement aérobic ne résulte pas invariablement en une amélioration du profil lipidique. Pas d'effet dose-réponse (Leon & Sanchez, 2001).</p>	<p>glycémique avec des participants normaux, intolérants au glucose ou présentant un DT2 avéré.</p> <p>- Les associations demeurent quels que soient les ajustements apportés.</p>	<p>perméabilité cellulaire musculaire au glucose pendant plusieurs heures chez les sujets sains ou présentant un DT2 (Kennedy et al., 1999) ce qui modifie l'action de l'insuline.</p> <p>L'entraînement aérobic et l'entraînement en résistance pérennisent cet effet ce qui améliore le contrôle glycémique du patient DT2 (Colberg et al., 2010).</p>
<p>Force : + Gradient : +</p> <p><i>College Alumni Health Study*</i> (Paffenbarger et al., 1978) : réduction du risque d'insuffisance coronarienne parallèle à l'augmentation de dépense énergétique en activité physique pendant l'âge adulte. Le RR d'arrêt cardiaque est de 1,64 chez ceux qui dépensent moins de 2000 kcal par semaine (avec RR=1,0 chez ceux qui dépensent plus).</p>	<p>++</p> <p>La démonstration de l'effet de la marche d'intensité légère à modérée a été répétée chez des hommes (Sesso et al., 2000) et des femmes (Lee et al., 2001) avec des résultats très proches.</p>	<p>++</p> <p>L'ensemble des observations classiques des effets cardiovasculaires de l'entraînement sur le remodelage cardiovasculaire sont en faveur d'un effet protecteur important (Carré et al., 2004) : amélioration des fonctions diastolique et systolique, angiogénèse, régulation vasomotrice, compliance artérielle, balance autonome.</p>
<p><i>Nurses' Health Study*</i> : relation inverse significative et progressive du premier (RR=1,0) au dernier (RR=0,66 après ajustements) quintile de dépense énergétique dans des activités physiques de loisirs ou de déplacement avec le risque d'infarctus du myocarde fatal ou non et de décès coronarien chez des femmes (Manson et al., 1999). Pour le risque d'AVC dans cette étude, les RR vont de 1,0 à 0,66 (Hu et al., 2000).</p> <p><i>Health Professionals' Follow-up Study</i> (Tanasescu et al., 2002) : association inverse significative et progressive du premier (RR=1,0) au dernier (RR=0,70 après ajustements) quintile d'activité physique totale avec le risque d'infarctus du myocarde fatal ou non et de décès coronarien chez des hommes.</p> <p><i>Northern Manhattan Study</i> (Willey et al., 2009) : réduction du risque d'AVC ischémique uniquement chez les hommes (rapport des risques 0,37) et avec un effet de seuil en intensité de la pratique : seule la pratique d'intensité modérée à élevée a un effet protecteur.</p>	<p>Plusieurs méta-analyses conduites sur des études impliquant hommes et femmes (Oguma et al., 2004 ; Li et al., 2012) concluent à une association dose-réponse inverse entre l'incidence d'une pathologie cardiovasculaire quelle qu'elle soit et le volume d'activité physique réalisé, qui se manifeste même avec des activités de type occupationnelle. Une réduction du risque de 24% chez les hommes et 27% chez les femmes est identifiée entre les groupes les plus actifs et ceux les moins actifs.</p>	

Force de l'association Gradient	Homogénéité de la littérature	Preuve expérimentale
<p>Force : + Gradient : +</p> <p><i>Nurses' Health Study*</i> (Hu <i>et al.</i>, 2003) : risque accru de 23% (après ajustements) par tranche de 2h quotidienne passée à regarder la télévision chez des femmes.</p> <p><i>Etude PRIME*</i> (Wagner <i>et al.</i>, 2001) : après ajustements, association inverse indépendante entre le niveau habituel d'activité physique et le tour de taille, et l'IMC.</p> <p>Force : + Gradient : -</p> <p><i>College Alumni Health Study*</i> (Helmerich <i>et al.</i>, 1991) : réduction de 6% après ajustement sur l'âge du risque de développer le DT2 par tranche de 500kcal supplémentaires d'activités physiques de loisirs chez des hommes.</p> <p><i>Nurses' Health Study*</i> (Manson <i>et al.</i>, 1991) : les femmes qui s'engagent dans une activité physique intense au moins une fois par semaine ont un risque réduit de 16%.</p> <p><i>Nurses' Health Study*</i> (Hu <i>et al.</i>, 1999) : relation inverse significative et progressive du premier (RR=1,0) au dernier (RR=0,54) quintile de dépense énergétique dans des activités de loisirs.</p> <p><i>Nurses' Health Study*</i> (Hu <i>et al.</i>, 2003) : risque accru de 14% (après ajustements) par tranche de 2h quotidienne passée à regarder la télévision chez des femmes.</p> <p><i>Consensus statement</i> (Kesanemi <i>et al.</i>, 2001) : le niveau de preuve de catégorie B est attribué pour le contrôle glycémique du DT2 par l'activité physique régulière, mais à cette date, les experts n'identifient pas de preuve pour une relation dose-effet. L'amélioration serait de l'ordre de 0,5 à 1% d'HbA1c, soit un bénéfice modeste mais cliniquement significatif. Les études épidémiologiques sont largement en faveur d'une réduction de</p>	<p>++</p> <p>Le contrôle à moyen ou long terme de la masse corporelle avec des modifications modérées de l'activité physique quotidienne est rapporté</p> <p>- dans diverses revues systématiques portant sur des adultes caucasiens (Fogelholm & Kukkonen-Harjula, 2000)</p> <p>- préménopause, après perte de poids intentionnelle, et avec un gradient entre la variation de poids et la durée d'activité physique quotidienne (Mekary <i>et al.</i>, 2010) avec un meilleur contrôle quand l'intensité de l'activité physique est plus élevée (Mekary <i>et al.</i>, 2009).</p> <p>- que l'activité physique soit de la marche rapide ou de la bicyclette (Lusk <i>et al.</i>, 2010).</p> <p>Concernant les interventions préventives à la prise de poids, la mesure de l'ampleur de l'effet est rendue difficile par l'hétérogénéité des types d'interventions et des populations-cibles (Lombard <i>et al.</i>, 2009)</p> <p>++</p> <p>Des résultats compatibles sont rapportés</p> <p>- chez des hommes et des femmes toujours en faveur d'une diminution du risque de DT2 et d'un meilleur contrôle glycémique avec l'augmentation de l'activité physique, et de façon plus marquée avec l'activité intense</p> <p>- dans des populations nord-américaines continentales étudiées dans leur diversité (voir ci-contre dans la colonne force et gradient) chez des indiens Pimas (Krisaka <i>et al.</i>, 2003) et des femmes d'origine afro-américaine (Krishnan <i>et al.</i>, 2009) par exemple, mais aussi dans des populations vivant à Malte (Schranz <i>et al.</i>, 1991), sur des hommes d'origine japonaise vivant à Hawaï (Burchfiel <i>et al.</i>, 1995), et des hommes et femmes vivant en Europe du Nord (Haapanen <i>et al.</i>, 1997 ; Jacobsen <i>et al.</i>, 2002), dans des populations variées de l'île Maurice (Pereira <i>et al.</i>, 1995).</p> <p>- avec différents niveaux initiaux de contrôle</p>	<p>++</p> <p><i>Da Qing*</i> (Pan <i>et al.</i>, 1997). Des participants intolérants au glucose alloués à un groupe d'exercice (30 minutes d'exercices d'intensité modérée à intense, 1 ou 2 fois par jour) présentent un risque diminué de 46% développer un DT2.</p> <p>La majorité des études de ce type combinent intervention sur l'alimentation et l'activité physique (Diabetes Prevention Program aux USA, Finnish Diabetes Prevention Study).</p> <p>Méta-analyse des interventions incluant l'entraînement structuré chez des patients présentant un DT2 (Boulé <i>et al.</i>, 2001) : diminution moyenne de 0,7 points d'HbA1c avec la participation.</p> <p>Les contractions musculaires au cours de l'exercice aigu déclenchent la translocation des transporteurs de glucose GLUT4 vers la membrane plasmique améliorant la</p>
<p>Sensibilité à l'insuline, glycorégulation, tolérance au glucose, diabète de type 2, syndrome métabolique</p>		

Décès précoces d'origine cardiovasculaire, décès précoces toutes causes confondues	Hypertension
<p>Force : + Gradient : +</p> <p><i>Harvard alumni study (Paffenbarger et al., 1986).</i> Les hommes qui dépensent moins de 2000 kcal par semaine dans le déplacement actif et les activités physiques de loisirs meurent plus jeunes que les plus actifs.</p> <p><i>Consensus statement (Kesaniemi et al., 2001).</i> Le panel considère qu'il existe une relation dose-effet entre le volume d'activité physique et la mortalité précoce toutes causes confondues chez les adultes d'Europe et des USA (catégorie C), sans qu'il ne soit déterminé si l'un ou l'autre de l'intensité, de la durée ou de la fréquence est majeur. La relation serait linéaire.</p>	<p>Force : + Gradient : -</p> <p>La relation entre l'exercice physique intense régulier et la diminution du risque d'hypertension artérielle. Les effets indépendants du poids (<i>World hypertension league, 1991</i>).</p> <p>Plusieurs études suggèrent un effet de seuil en intensité, il est possible que seule la pratique d'intensité modérée à élevée ait un effet protecteur.</p>
<p>Homogénéité : ++ Preuve expérimentale : ++</p> <p>Une réduction de la mortalité générale précoce¹³ comprise entre 2 et 58% est rapportée selon l'activité physique et les facteurs d'ajustement pris en compte, dans des études menées en Amérique du Nord, en Europe (<i>Schnohr et al., 2007</i>) et en Asie (<i>Matthews et al., 2007</i>) chez les personnes physiquement actives par rapport aux inactives, chez les hommes et les femmes (<i>Manson et al., 2002</i>). Cette association est mise en évidence dans une revue systématique (<i>Warburton et al., 2010</i>).</p> <p><i>Consensus statement (Kesaniemi et al., 2001).</i> L'activité physique contribue à la prévention des pathologies cardiovasculaires (catégorie C) et du décès précoce toutes causes confondues chez les patients présentant un DT2.</p>	<p>Homogénéité : ++ Preuve expérimentale : ++</p> <p><i>Consensus statement (Kesaniemi et al., 2001)</i> : une méta-analyse conduite sur des essais contrôlés randomisés impliquant hommes et femmes montre que l'entraînement dans des activités à caractère aérobie réduit significativement la pression artérielle systolique de 2,6 et 7,7 mmHg, respectivement dans des groupes de normotendus et d'hypertendus.</p> <p>++</p> <p>La synthèse des éléments précédents soutient l'existence de mécanismes sous-jacents favorables à la protection vis à vis de divers processus physiopathologiques.</p>

Table 6. Synopsis des arguments majeurs (force de l'association, gradient, homogénéité de la littérature, preuve expérimentale) permettant d'apprécier la relation causale entre les comportements d'activité physique et d'adultes. * : étude prospective. Niveau de soutien vis à vis de la causalité : - : pas de soutien, ou soutien d'une relation inverse contre-indiquant l'activité physique ; + ; soutien léger ou modéré ; ++ soutien fort ou très fort.

13 Le décès précoce renvoie habituellement en épidémiologie portant sur les populations occidentales au décès avant 65 ans. La plupart des études citées ici ne s'appuient pas sur cette notion, et nous l'utilisons par extension. En effet, l'interprétation normale des résultats de risque relatif est absurde : on devrait parler de réduction du risque de mortalité, qui est de 1 compte tenu du caractère fini de la vie, ou spécifier la période qui est concernée, information pas toujours disponible.

4. Les recommandations en activité physique et leur suivi

4.1. Notion d'équivalents métaboliques (METs)

La notion d'équivalent métabolique est intéressante pour caractériser l'intensité des activités humaines. Elle consiste à rapporter la demande énergétique relative à une activité donnée (balayer, lire, conduire, marcher à 4 km/h, courir à 10 km/h...) au métabolisme de base. A partir de la moyenne du coût énergétique sur plusieurs individus, on exprime la dépense relative en METs (pour Metabolic Equivalent Task), l'unité de base utilisée par convention avec

$$1 \text{ MET} \equiv 1 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{h}^{-1} \quad (1)$$

or, fwell

avec un quotient respiratoire ($\dot{V}\text{CO}_2/\dot{V}\text{O}_2$) de 0,85

$$1 \text{ L.O}_2 \Leftrightarrow 4,825 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ MET} \equiv 1/(4,825 \times 60) \text{ kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

$$\text{soit } 1 \text{ MET} \equiv 3,5 \text{ mL O}_2.\text{min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

Nombre d'activités humaines sont colligées dans un compendium qui fait référence et qui a été mis à jour (Ainsworth *et al.*, 1993 ; Ainsworth *et al.*, 2000 ; Ainsworth *et al.*, 2011), document élaboré sur la base d'un prototype à la fin des années 1980'. Si une activité y est référencée à 2 METs, cela signifie que le métabolisme est multiplié par 2 par rapport au métabolisme de repos, et que sur la période de pratique, la dépense énergétique sera doublée par rapport à la période de repos. Ainsi, chez les adultes, on peut estimer la dépense énergétique (en kcal ou en L.O₂) à partir de l'équivalent métabolique de l'activité, de sa durée, et de la masse du sujet. Il n'est pas anodin pour notre équipe de noter que ces équivalences font référence à un coût métabolique moyen, mesuré vraisemblablement en climat tempéré, et que toute application de ces valeurs à des activités réalisées en climat chaud et sec, ou en climat tropical est sujette à caution. En effet, il existe un surcoût énergétique lié à la thermorégulation qu'il conviendra de quantifier (ce projet est prévu par des collègues de notre laboratoire) et de caractériser par l'étude de l'adaptation spontanée de la vitesse de marche et de l'activité spontanée. L'hypothèse que nous explorerons est que l'augmentation de la charge thermorégulatrice en climat chaud s'accompagne d'une limitation spontanée de l'activité quand l'individu a le choix.

Les équivalences en METs sont des approximations, et il est évident que la congruence en (1) n'a pas la prétention de remplacer une mesure du métabolisme de base, ni son estimation à partir d'équations dédiées (Roza & Chizgal, 1984 ; Black *et al.*, 1996). En effet, appliquée strictement, elle conduit à une surestimation (Byrne *et al.*, 2005) surtout marquée chez les femmes et les personnes âgées qui présentent en moyenne une masse maigre réduite par rapport aux hommes et aux jeunes adultes. La principale raison est qu'elle ne se réfère qu'à la masse et que les facteurs âge, taille et sexe ne sont pas utilisés pour moduler l'évaluation (sauf dans certaines études où on utilise $0,95 \text{ kcal.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ chez la femme au lieu de (1)). Ensuite, la logique est de se référer au métabolisme de repos, qui est la dépense moyenne d'une personne assise au repos (régulièrement rapportée à la surface corporelle prédite) et non au métabolisme de base légèrement inférieur ; ceci est d'ailleurs reconnu dans le compendium puisque le sommeil y est codé à 0,9 METs.

L'intérêt de ce concept se manifeste surtout en épidémiologie de l'activité physique, soit utilisé directement (dans le cas des rappels et des journaux d'activité physique), soit exploité indirectement pour le recouplement d'activités par rapport à la dépense relative qu'elles induisent (création de questionnaires, définition de seuils). Ainsi, des seuils ont été déterminés et sont assez communément acceptés, ils sont synthétisés dans la figure 3. Les activités et comportements sont qualifiés de sédentaires quand la sollicitation requise est strictement inférieure à 1,6 METs (Pate *et al.*, 2008). Au-delà de cette valeur, l'intensité est dite faible jusqu'à 3 METs inclus, seuil à partir duquel l'intensité est généralement caractérisée comme modérée. A partir de 6 METs inclus, les activités sont intenses ou soutenues, et cette catégorie d'intensité dite élevée est soit laissée comme une entité, soit subdivisée en activités supérieures ou non à 9 METs.



Figure 3. Terminologies classiquement utilisées pour catégoriser les activités en fonction de leur intensité relative pour des individus de condition physique normale.

La qualification des intensités correspond à la difficulté relative attendue pour des individus de condition physique normale. Cependant, il est facile d'admettre que la perception de la difficulté, et donc la qualification de l'intensité dépend certes du nombre de fois où le métabolisme de base est sollicité, mais aussi du pourcentage du maximum qui est sollicité.

Ainsi, une activité donnée cotée à 5,5 METs sera effectivement modérée pour un homme de 30 ans normalement actif et présentant une $\dot{V}O_{2MAX}$ de $38,5 \text{ mL}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, soit 11 METs¹⁴. L'activité requiert $5,5 / 11 = 50 \% \dot{V}O_{2MAX}$. Pour un homme de 30 ans très entraîné en endurance avec $70 \text{ mL}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ de $\dot{V}O_{2MAX}$, soit 20 METs, la sollicitation est en revanche de $5,5 / 20 = 27,5 \%$ de $\dot{V}O_{2MAX}$, ce qui en fait une activité légère. A l'inverse, un homme de 30 ans présentant une limitation cardiovasculaire ou respiratoire importante d'origine pathologique dont la $\dot{V}O_{2MAX}$ est de $26 \text{ mL}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, soit 7,4 METs, solliciterait 74 % de sa consommation maximale d'oxygène pour effectuer la même tâche de sorte que l'intensité devrait nécessairement être qualifiée de vigoureuse.

L'effort d'uniformisation en matière de qualification de l'intensité des activités physiques réalisé par de nombreuses institutions dans un souci de lisibilité s'est donc effectué au prix de la modération par la condition physique, qui va bien au-delà de la nuance. Cet effort revêt tout son sens dans un contexte de prévention primaire. Dans d'autres contextes, et auprès de professionnels avertis sur ces concepts, la modélisation proposée par d'autres, plus proche de la réalité est plus adaptée. Nous retenons celle de Norton (2010) :

¹⁴ comme $1 \text{ MET} \equiv 3,5 \text{ mL}O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} : 38,5 / 3,5 = 11 \text{ METs}$

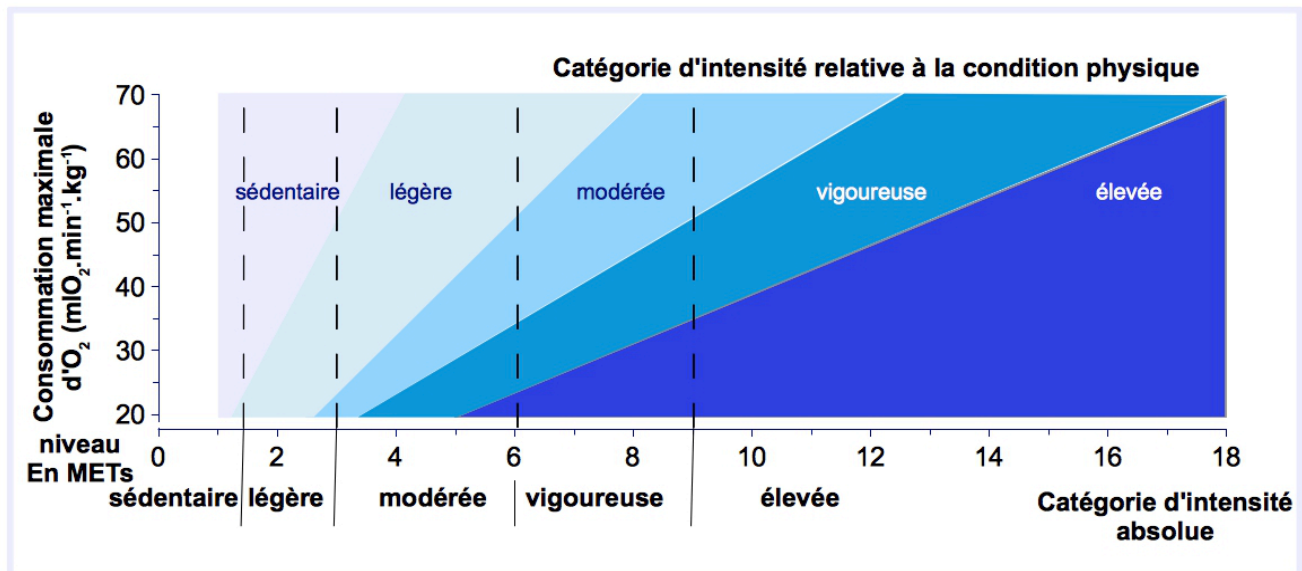


Figure 4. Intensité relative en fonction de la consommation maximale du pratiquant en ordonnée, et du nombre de fois où le métabolisme de base est sollicité pour la réalisation de l'activité en abscisse (traduction et reproduction à partir de : Norton et al., 2010).

Le concept d'équivalent métabolique est particulièrement utile pour définir des recommandations en activité physique dans une unité permettant les comparaisons entre des personnes de corpulence et de taille différentes.

4.2. Recommandations internationales en activité physique pour les adultes sains

Les recommandations de santé publique, comme les conseils délivrés par les médecins et même les prescriptions médicales, sont peu respectés par les individus. Ainsi le taux de suivi des médications prescrites varie de 0 à 100 % avec une valeur moyenne proche de 50 % rapportée dans plusieurs études sur des patients présentant des maladies chroniques (Sackett *et al.*, 1979 ; Dunbar-Jacob *et al.*, 2000) au point que la question a fait l'objet d'un rapport dédié par l'OMS (WHO, 2003b). Ces recommandations n'en demeurent pas moins importantes. Elles posent en effet des repères pour les populations, les professionnels et les autorités. Nous nous focalisons ici sur celles délivrées aux adultes sains, qui sont les mieux argumentées. Il faut retenir que de plus en plus de déclinaisons de ces recommandations sont disponibles pour prendre en compte les populations à besoins spécifiques, comme les patients porteurs de pathologie(s) chronique(s) ou

les adultes ayant perdu de la masse corporelle.

4.2.1. Recommandations de l'organisation mondiale de la santé

Pour être suffisamment actif selon l'OMS, le mode de vie des adultes sains de 18 à 64 ans doit inclure 30 minutes d'activité **modérée** quotidienne 5 fois par semaine (WHO, 2002a¹⁵), ou son équivalent en dépense énergétique pour autant que les intensités soient modérées ou soutenues. Il peut s'agir par exemple de 75 minutes cumulées hebdomadaires d'activité plus intense, par périodes au moins de 10 minutes (WHO, 2010). Des exercices de renforcement musculaire faisant intervenir les principaux groupes musculaires devraient être pratiqués au moins deux jours par semaine, mais l'activité physique englobe pour les adultes "les loisirs, les déplacements actifs comme la marche ou la bicyclette, les activités professionnelles, les tâches ménagères, les activités ludiques, les sports ou l'exercice planifié, dans le contexte quotidien, familial ou communautaire" (WHO, 2010). Il est clairement mentionné que la durée de ces activités doit être augmentée pour en tirer des bénéfices supplémentaires sur le plan de la santé. L'objectif devient alors 300 minutes d'activités d'intensité modérée, ou 150 minutes d'activités d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente. Deux niveaux sont donc proposés :

- l'un correspond à éviter un mode de vie sédentaire et s'exposer à des risques accrus, il suffit d'atteindre 675 METs.min par semaine¹⁶ ;
- et le deuxième, plus ambitieux, correspond à être suffisamment actif pour bénéficier des effets, en particulier cardiovasculaires et métaboliques d'un entraînement, ce qui reviendrait à accumuler plus de 1350 METs.min par semaine¹⁷.

4.2.2. Recommandations du collège américain de médecine du sport

Le collège américain de médecine du sport (American College of Sports Medicine) est une institution qui fait autorité en matière de recherche, formation et pratique de l'entraînement et du réentraînement à l'effort, et de sport-santé. Ses

15 C'est la même recommandation relative à la prévention de la prise de masse corporelle qui a été communiquée par les experts de l'association internationale pour l'étude de l'obésité (International Association for the Study of Obesity) réunis en conférence de consensus à Bangkok en mai 2002.

16 On retient pour ce calcul les centres de classe à savoir 5 jours x 4,5 METs x 30 minutes

17 Ici, on utilise 300 minutes x 4,5 METs ou 150 minutes x 9 METs

recommandations éclairées par les données de la littérature sont assez proches du second niveau promu par l'OMS et s'adressent plutôt à des personnes qui ont déjà un mode de vie suffisamment actif. Il s'agit en effet, non pas d'éviter les conséquences liées à l'accumulation de comportements sédentaires, mais bien de développer et maintenir la condition cardiorespiratoire, la composition corporelle, la force et l'endurance musculaire et la souplesse chez l'adulte en bonne santé, soit un objectif assez ambitieux. Les recommandations de l'ACSM sont les suivantes (Pate *et al.*, 1995, recommandations actualisées par Pollock *et al.*, 1998) : pratique d'une activité physique à caractère aérobic d'intensité modérée à élevée¹⁸, réalisée au cours de séances à caractère continu ou intermittent d'une durée comprise entre 20 et 60 minutes, avec une fréquence comprise entre 3 et 5 séances par semaine. A cet entraînement basé sur la sollicitation du métabolisme aérobic, il faut ajouter un entraînement de musculation présenté comme devant faire partie intégrante d'un programme de conditionnement physique. La fréquence recommandée est de 2 ou 3 jours par semaine. La séquence devrait être composée au moins de 8 à 10 exercices sollicitant les principaux groupes musculaires, avec un nombre de répétitions compris entre 8 et 12 par exercice pour la plupart des personnes, alors que les plus âgés devraient être orientés vers des charges moins importantes avec des séries de 10 à 15 répétitions. Ces recommandations évoquent également la nécessité d'inclure des étirements des principaux groupes musculaires avec des techniques statiques et/ou dynamiques appropriées, à raison de 2 ou 3 fois minimum par semaine, afin de développer et maintenir l'amplitude de mouvement. Ces activités sont importantes mais leur impact en terme de santé n'est pas lié à leur intensité, et leur équivalence en METs étant inférieure à 3, nous ne les comptabilisons pas dans les recommandations.

Pour continuer la comparaison entre différentes sources de recommandations, cela correspond à 1280 METs.min par semaine¹⁹ pour l'entraînement à base aérobic, auxquels il faut ajouter 175 METs.min par semaine²⁰. Une synthèse est proposée dans la table 7.

4.2.3. Recommandations en nombre de pas quotidiens

Pour contrevenir les éventuels problèmes de classifications entre les

18 de 55 % pour les plus âgés, ou 65 % de la fréquence cardiaque maximale, à 90% de la fréquence cardiaque maximale

19 Ici, on utilise les centres de classe avec 4 jours x 40 minutes x 8 METs.

20 Ici, on utilise les centres de classe avec 2,5 jours x 10 minutes x 7 METs (équivalent de la moyenne entre calisthénie, effort intense et musculation, effort intense).

activités légères et les modérées, dans le sens d'une surévaluation de l'intensité des activités par les participants, mais aussi dans le but de fournir des repères clairs et mesurables, plusieurs institutions ont proposé un seuil en nombre de pas par jour. De nombreux auteurs, sous l'impulsion de Catrine Tudor-Locke et David Bassett Jr et leurs équipes, s'accordent à reconnaître **10000 pas par jour**, soit approximativement 5 miles ou 8 kilomètres, comme une cible intéressante à communiquer au public adulte (Tudor-Locke *et al.*, 2004a ; United States Department of Health and Human Services, 2005 et 2008 ; United Kingdom National Health Services), repère qui est utilisé par de nombreux promoteurs (projet 10000 Steps a Day mené en Australie et aux USA ; British Heart Foundation). L'équivalence en METs.min dépend de la distribution de ces 10000 pas dans les différentes catégories d'intensité mais pourrait se situer autour de 1375 METs.min par semaine²¹.

Cette recommandation de marcher 10000 pas par jour semble émaner du Japon dans les années 1960', en particulier des travaux de Yoshiro Hatano mais nous n'avons pas eu accès aux documents originaux. L'un des avantages de ce repère est qu'il est vérifiable à un coût faible, soit par des podomètres dédiés, soit par des applications ou options largement répandues sur les cardiofréquencemètres, et depuis peu, sur nombre de dispositifs électroniques personnels comme les téléphones portables, smartphones et autres assistants électroniques personnels, les consoles de jeu portables, lecteurs de fichiers musicaux et vidéos etc. La contrepartie d'une simplification maximale est nécessairement le manque de subtilité comme l'a exprimé avec lucidité Paul Valéry de la façon suivante : "*Ce qui est simple est souvent faux, ce qui est compliqué est inutile*". C'est bien le cas dans le champ de la santé publique. Ce seuil de 10000 pas est facile à comprendre pour la population, et sa vérification est assez aisée. En revanche, il souffre d'un manque de travaux scientifiques alimentant *a priori* sa définition, d'autant plus qu'il est reconnu qu'un nombre de pas important, même dans des conditions méthodologiques acceptables (arrêt du dispositif ou filtrage des données correspondant aux trajets en voiture etc) peut ne pas correspondre à une distance importante et à une sollicitation métabolique, respiratoire, musculaire et cardio-vasculaire suffisante pour l'entretien de la santé. Par

21 Distribution des 5 miles quotidiens retenue : 2 miles réalisés à 2 mph (soit 120 minutes à 2 METs qu'on ne retient pas dans le calcul puisque ce sont des activités d'intensité faible), 2 miles réalisés à 3 mph (soit 80 minutes à 3,3 METs), auquel on ajoute 1 mile réalisé à 3,5 mph (soit 34 minutes à 3,8 METs).

conséquent, certaines institutions indiquent que la cible de 10000 pas quotidiens devrait être atteinte en accumulant 30 minutes de marche (pas de piétinement) en une période ou plusieurs périodes.

La définition des seuils en nombre de pas chez les adultes n'est pas restreinte à 2 catégories. Hatano aurait considéré qu'en deçà de 1499 pas par jour, l'individu est quasi-immobile. Jusqu'à 4999 pas en moyenne, le mode de vie de la personne est dit sédentaire, entre 5000 et 7499 pas en moyenne, le mode de vie est peu actif, et devient assez actif à partir de 7500 pas et jusqu'à 9999. Le mode de vie est actif à partir de 10000 pas et il est très actif pour toutes les valeurs supérieures à 12500 pas quotidiens (Tudor-Locke *et al.*, 2004a ; Tudor-Locke *et al.*, 2011a).

Plusieurs études ont été menées pour vérifier la validité de ces seuils, et tenter d'éprouver son adéquation avec les autres recommandations en dépit du fait que le podomètre ne renseigne pas l'intensité de l'activité réalisée. Ainsi, 59 femmes adultes ont porté un podomètre et un accéléromètre pendant une journée et ont été séparées en fonction de leur atteinte ou non de la cible de 10000 pas. Celles qui dépassaient cette valeur avaient un temps moyen quotidien passé dans des activités d'intensité modérée supérieur statistiquement à celles qui ne l'atteignaient pas. L'ensemble des données, en particulier celles sur les périodes de pratique physique modérée de plus de 5 ou 10 minutes, suggèrent que ceux qui dépassent 10000 pas sont plus susceptibles que les autres de remplir les recommandations du collège américain de médecine du sport, sans pour autant qu'il n'y ait de garantie absolue. La même équipe de recherche a effectué la démarche inverse, à savoir la transcription des recommandations d'activité physique en nombre de pas. A partir des données recueillies sur 1197 participants adultes ayant porté un accéléromètre, ils ont établi que la cible de 150 minutes d'activité modérée à vigoureuse hebdomadaire correspond approximativement à 7000 pas par jour (Tudor-Locke *et al.*, 2011b), des données selon lesquelles la cible de 10000 pas par jour apparaît donc plus difficile à atteindre. L'ensemble de ces études a également permis d'affiner les seuils dans des populations à besoins spécifiques (Tudor-Locke *et al.*, 2011c).

4.3. Recommandations internationales en activité physique pour les enfants et les adolescents

Chez les enfants de 5 à 17 ans, il n'y a à ce jour pas de recul par rapport à des séries de grandes études de cohorte comme c'est le cas chez les adultes. Dans une conférence de consensus, les experts se sont accordés dans les années 1990' à considérer 1) que les adolescents devraient avoir un mode de vie actif, 2) que ce mode de vie devait inclure au moins 3 sessions hebdomadaires de 20 minutes ou plus d'activité d'intensité modérée à élevée (Sallis & Patrick, 1994 ; Sallis *et al.*, 1994). Le premier point a rapidement été reformulé comme la nécessité de pratiquer au moins une heure d'activité modérée, celle-ci étant définie comme une activité supérieure à 5 METs (Pate *et al.*, 1998), à laquelle il fallait ajouter des activités de force 2 fois par semaine, objectif difficile à atteindre en population générale. L'analyse subséquente des données de la littérature et la critique des recommandations précédentes a amené de nombreux gouvernements et institutions (Corbin *et al.*, 2004 pour le gouvernement des USA ; WHO, 2010 ; France : Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé, 2011) à proposer la nécessité pour les enfants d'accumuler au moins 60 minutes par jour d'activité physique d'intensité modérée à soutenue, repère qui est largement utilisé aujourd'hui chez les enfants et les adolescents. Pourtant, les recommandations de Corbin *et al.* (Corbin *et al.*, 2004) étaient plus précises et exigeantes pour les adolescents : au moins 20 minutes d'activité vigoureuse 3 fois par semaine et 30 minutes d'activité d'intensité modérée 5 fois par semaine en plus des 60 minutes d'activité à cumuler quotidiennement.

La notion d'activité physique dans cette population est également large et inclut selon l'OMS "*le jeu, les sports, les déplacements, les tâches quotidiennes, les activités récréatives, l'éducation physique ou l'exercice planifié, dans le contexte familial, scolaire ou communautaire*". Cette activité physique quotidienne "*devrait être essentiellement une activité d'endurance. Des activités d'intensité soutenue, notamment celles qui renforcent le système musculaire et l'état osseux, devraient être incorporées au moins trois fois par semaine*" (WHO, 2010). Cette institution prend le soin de préciser, comme elle l'a fait pour la population adulte, que des bénéfices supplémentaires sont à retirer d'une durée supérieure de pratique.

La démarche consistant à communiquer des repères en nombre de pas a été appliquée également chez les adolescents et les enfants. Chez les 6-12 ans, les recommandations issues de diverses approches varient entre 10000 et 12000 pas par jour pour les filles (Vincent & Pangrazi, 2002 ; Tudor-Locke *et al.*, 2004b ; Laurson *et al.*, 2008), et entre 13000 et 15000 pas par jour pour les garçons (Vincent & Pangrazi, 2002 ; Tudor-Locke *et al.*, 2004b ; Laurson *et al.*, 2008). Chez les 11-16 ans, la différenciation garçons-filles ne paraît pas nécessaire. Dans cette population, les recommandations émises sont proches de celles des adultes. Un seuil proche de 10000 pas par jour fournit une correspondance satisfaisante en termes de sensibilité et spécificité avec l'atteinte des recommandations d'activité modérée à vigoureuse si les seuils retenus pour la qualification de ces intensités sont 3 et 6 METs, alors qu'il faut retenir 11700 pas pour traduire les recommandations avec des seuils de classe d'intensité de 4 et 7 METs (Adams *et al.*, 2009).

4.4. Recommandations françaises

La France a mis en place une structure de pilotage au niveau national depuis 2001 spécifiquement dédiée au déterminant de santé nutrition, la nutrition étant entendue comme l'équilibre entre les apports liés à l'alimentation et les dépenses occasionnées par l'activité physique. Il s'agit d'un plan de santé publique : le Plan National Nutrition Santé (PNNS). La place marginale réservée à l'activité physique dans les PNNS1 (2001-2005) et 2 (2006-2010) est soulignée dans le rapport d'évaluation du PNNS2 (Jourdain Menninger *et al.*, 2010), mais on retiendra que ces plans ont été des éléments structurants dans la prise en compte dans la politique de santé de la France du rôle de l'activité physique. Au niveau national, la loi du 4 août 2004 relative à la politique de santé publique (loi n°2004-806 du 9 août 2004) a fixé 100 objectifs de santé publique. L'un d'entre eux fait référence aux comportements d'activité physique. Il s'agit d'*"augmenter de 25 % la proportion de personnes, tous âges confondus, faisant par jour, l'équivalent d'au moins 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée, au moins 5 fois par semaine"*. C'est l'objectif utilisé dans le PNNS et proche du premier niveau recommandé par l'OMS et de nombreuses autres institutions (National Heart Foundation of Australia, American Heart Association, US Centers for Disease Control). Sans cibler exactement la sédentarité, il se focalise sur la grande partie de la population qui est très insuffisamment active. Compte tenu du diagnostic qui avait été posé pour la loi du 9 août 2004, cela correspondait à passer avant 2008

(dans la loi de 2004), puis avant 2010 (dans le PNNS2) de 60 à 75 % d'hommes qui atteignent cet objectif, et de 40 à 50 % pour les femmes. Le repère communiqué au public est l'"équivalent de 30 minutes de marche rapide chaque jour", soit une recommandation de l'ordre de 840 METs.min par semaine²².

Des outils ont été créés pour informer la population

- sur la notion d'intensité, avec des exemples issus des différentes catégories comme les activités sportives et les activités domestiques,
- et sur la notion de charge relative à l'intensité et à la durée, avec des exemples de l'équivalence entre 20 minutes d'activité d'intensité élevée, 30 minutes d'activité modérée et 45 minutes d'activité de faible intensité.

Cette démarche est très importante dans la perspective d'améliorer la distribution des niveaux d'activité physique dans la population française (discutée dans le point 4.6). On peut cependant noter que l'ensemble des messages ne sont pas encore harmonisés puisqu'on trouve encore des documents disposant du logo PNNS, certains avec 3 catégories d'intensité et d'autres avec 4. Surtout, on peut apprécier l'évolution vers une démarche de promotion de la santé. En effet, le PNNS2 (2006-2010) insiste sur le renforcement de la pratique d'activité physique en impliquant les collectivités locales et les associations sportives. La prise en compte du rôle de l'environnement dans les prises de décision individuelles relatives au comportement de santé, en particulier d'activité physique, est encore accrue dans le PNNS3 (2011-2015).

22 On se base sur 7 jours x 30 minutes x 4 METs (équivalent moyen des exemples donnés dans les outils de communication du PNNS)

recommandations	brutes	standardisées
OMS	<i>minimales</i> : équivalent de 30 minutes d'activité modérée 5 jours par semaine <i>pour des bénéfices supplémentaires</i> : équivalent de 300 minutes hebdomadaires d'activité modérée par périodes d'au moins 10 minutes	675 METs.min.semaine⁻¹ 1350 METs.min.semaine⁻¹
ACSM	3-5 jours par semaine 20-60 minutes d'exercices continus ou intermittent, 55/65-90 % de FCmax + 2-3 jours par semaine, 8-10 exercices variés de force avec 8-12 répétitions (10-15 pour les plus âgés) + 2-3 jours par semaine, étirements des principaux groupes musculaires	1280 METs.min.semaine⁻¹ (aérobie) + 175 METs.min.semaine⁻¹ (force)
PNNS	au moins l'équivalent de 30 minutes par jour de marche rapide	840 METs.min.semaine⁻¹

Table 7. Synthèse des recommandations nationales et internationales d'activité physique chez les adultes sains. FCmax : fréquence cardiaque maximale.

4.5. L'application des recommandations dans le monde chez les adultes

Une fois accepté le statut de déterminant de santé pour les comportements d'activité physique, et connues les caractéristiques souhaitées dans la population de ce déterminant, en particulier les recommandations d'activité physique, il convient d'en étudier la distribution. Les résultats et analyses de ces études ne peuvent être qu'éminemment conditionnés par la méthodologie mise en œuvre, et en particulier du choix de la méthode de recueil des comportements d'activité physique.

4.5.1. Données issues de questionnaires et entretiens

Certaines initiatives assez récentes permettent d'appréhender l'application des recommandations à l'échelle mondiale et son évolution dans le temps. Après

étude méticuleuse des données accumulées depuis plusieurs années dans des pays développés et en développement, Ng et Popkin (Ng & Popkin, 2012) rapportent une tendance mondiale à la baisse de la quantité d'activité physique moyenne parallèlement à l'augmentation du temps passé dans les activités sédentaires depuis plusieurs décennies et particulièrement marquée depuis le début des années 1990'. Si cette évolution est peu contestable, le niveau moyen auquel s'établit la prévalence de l'inactivité physique est difficile à identifier. D'après une synthèse de plusieurs études réalisées entre 2002 et 2004 ayant recruté ensemble plusieurs centaines de milliers de participants, la prévalence brute de l'inactivité physique est de 21,4 % [intervalle de confiance à 95 % : 18,4 - 24,3], alors que la prévalence pondérée est de 17,4 % [15,1 - 19,7] (Dumith *et al.*, 2011). L'inactivité physique y était définie comme l'appartenance à la catégorie la plus basse parmi les 3 catégories issues de l'analyse de l'International Physical Activity Questionnaire (Guthold *et al.*, 2008 ; IPAQ committee, 2005). Elle était caractérisée à partir des 3 critères suivants, le fait de ne répondre à aucun des critères qualifiant le participant d'inactif, alors que l'atteinte d'un ou plus l'excluait de cette catégorie :

- réalisation dans la semaine précédente de 3 jours (ou plus) d'activité d'intensité vigoureuse au moins 20 minutes par jour
- réalisation dans la semaine précédente de 5 jours (ou plus) d'activité d'intensité modérée ou de marche au moins 30 minutes par jour
- réalisation dans la semaine précédente de 5 jours (ou plus) de toute combinaison de marche, d'activités d'intensité modérée à vigoureuse en cumulant au moins 600 METs.min par semaine.

Dans cette étude, les grandes disparités entre les pays et la surreprésentation des femmes parmi les inactifs étaient mises en évidence, ainsi qu'une relation avec l'indice de développement humain, dans le sens où la prévalence de l'inactivité était largement supérieure dans les pays les plus développés. Ces données sont tout à fait compatibles avec celles de l'OMS qui en 2002 estimait à 17 % la prévalence de l'inactivité à l'échelle mondiale, et qui dans le même temps identifiait la non-atteinte du cumul de 150 minutes d'activité modérée sur une semaine chez 41 % de la population mondiale (WHO, 2002a). Sur la base de ces données, l'OMS considérait l'inactivité physique comme la quatrième source de mortalité globale par maladie non communicable après

l'hypertension, le tabagisme et l'hyperglycémie (WHO, 2010), sans que nous ayons la certitude (voir partie 2, point 3) que toute la fraction étiologique²³ du risque d'hypertension et d'hyperglycémie attribuable aux comportements d'activité physique n'ait été effectivement pris en compte.

4.5.2. Données issues de la mesure de l'activité physique

Cependant, bien que déjà considérées comme inquiétantes, ces données sur l'inactivité physique sont potentiellement sous-estimées. En effet, elles sont issues d'évaluation de l'activité physique par des questionnaires auto-remplis ou au cours d'entretiens, dont on sait les uns et les autres qu'ils surestiment la fréquence et l'intensité des activités physiques (Rzewnicki *et al.*, 2003 ; Ainsworth *et al.*, 2006; Ekelund *et al.*, 2006). Peu d'autorités à notre connaissance ont institué la surveillance systématique des comportements d'activité physique de la population par des méthodes de mesure, et non d'estimation de l'activité physique.

Des études isolées dans des régions ou des pays confirment par l'expérimentation ce que le raisonnement conduisait à penser, à savoir que seule une faible proportion des adultes remplissent les recommandations. Ainsi, la première étude suffisamment large publiée sur l'analyse de données d'accélérométrie d'adultes sains semble émaner de Suède. Cette technique n'est pas affranchie de tout biais, en particulier, la sélection des jours considérés comme valides et le choix des seuils en unités d'accélération²⁴ correspondant aux valeurs de 3 et 6 METs peuvent être critiqués. En utilisant des méthodes d'analyse adaptées pour contrôler au mieux les biais énoncés, les auteurs montrent d'abord que le niveau médian d'activité modérée à vigoureuse semble acceptable avec 31 minutes par jour, soit 52 % de l'échantillon atteignant les recommandations d'accumulation de 30 minutes d'activité (Hagströmer *et al.*, 2007) quand toutes les périodes d'activité sont retenues, indépendamment de leur durée. Cependant, il apparaît que le critère d'accumulation par période d'au moins 10 minutes est extrêmement discriminant. En effet, la proportion de personnes effectuant plus de 30 minutes d'activité d'intensité modérée ou vigoureuse est de 37 % quand le critère d'inclure au moins une période de 10 minutes est ajouté. Cette proportion est de 7 % si ne sont retenues qu'au moins une période de 10 minutes et les

23 Le risque attribuable, ou fraction étiologique du risque est la proportion de cas d'une maladie (ici, d'un dysfonctionnement physiologique) que l'on peut attribuer à l'exposition au facteur de risque chez des sujets exposés à ce facteur (Porta & Last, 2008)

24 Les données de l'accéléromètre sont exprimées en unité d'accélération par minute (cpm, pour counts per minute en anglais).

périodes de plus de 2 minutes d'activité modérée ou vigoureuse consécutives, et n'est plus que de 1 % si la référence est la recommandation stricte à savoir l'accumulation par périodes de 10 minutes (Hagströmer *et al.*, 2007).

Ces résultats ne sont pas restés marginaux et ont été confirmés entre autre par l'analyse d'une enquête de surveillance nationale de santé menée en 2003 et 2004 aux Etats-Unis et incluant de l'accélérométrie. Seuls 3,5 % des adultes de 20 à 59 ans dépassent les 30 minutes recommandées (par portion de 10 minutes minimum) d'activité modérée 5 fois par semaine. Les auteurs confirment la surreprésentation de l'inactivité physique chez les femmes par rapport aux hommes avec une différence de l'ordre de 100 unités d'accélération, et mettent en évidence chez les hommes comme chez les femmes, et dans la plupart des tranches d'âge étudiées, un niveau moyen d'activité physique supérieur chez les personnes d'origine mexicaine comparativement aux personnes affiliées aux groupes ethniques blanc non-hispanique, et noir non-hispanique (Troiano *et al.*, 2008). Dans une autre étude nord-américaine réalisée celle-ci sur la population canadienne, près de 16 % des adultes de 20 à 59 ans suivraient ces recommandations²⁵ (Colley *et al.*, 2011a), ce qui présenté autrement signifie que plus de 80 % ne le font pas, ce qui est loin des moins de 15 % de prévalence de l'inactivité au Canada d'après les données de questionnaires de Dumith *et al.* (Dumith *et al.*, 2011).

Les résultats des 2 études nord-américaines basées sur des données d'accélérométrie sont assez différents. Elles portaient pourtant chacune sur des échantillons supposément représentatifs des populations que l'on considère généralement comme assez comparables du point de vue Européen. Ceci peut être justifié selon nous par 2 principales raisons, si l'on exclut le fait que les populations de ces 2 pays ne sont pas aussi comparables que ce qui est admis. D'abord, ce n'est pas le même accéléromètre qui a été utilisé dans les 2 cas, et bien que les seuils aient été théoriquement adaptés au modèle utilisé et aux équivalents en vigueur en unités d'accélération pour 3 et 6 METs, on note que les seuils sont moins élevés dans l'étude canadienne. Par conséquent, à moins que la sensibilité de l'actigraph (étude étatsunienne) ne soit fondamentalement supérieure à celle de l'actical (étude canadienne), il devrait être plus facile d'apparaître actif dans l'étude canadienne, ce qui est compatible avec les prévalences rapportées. Au-delà

²⁵ Prévalence calculée après pondération à partir des informations disponibles, de façon à focaliser la comparaison sur les 20-59 ans.

de ces considérations techniques, on note aussi que la distribution dans les différentes catégories de corpulence (sur la base de l'indice de masse corporelle) n'est pas similaire²⁶ entre les échantillons canadiens et étatsuniens de ces études. Chez les hommes, si la prévalence du surpoids et de l'obésité est supérieure dans l'échantillon canadien, la prévalence de l'obésité de l'échantillon étatsunien dépasse de plus de 10 points celui de l'échantillon Canadien ce qui peut contribuer à expliquer la différence dans l'application des recommandations chez les hommes. Chez les femmes, la distribution dans les catégories de corpulence est également favorable pour alimenter la justification de l'écart dans l'application des recommandations, si l'on accepte que les personnes les plus corpulentes sont les moins à même d'être actives (et inversement, que celles qui sont les moins actives sont susceptibles d'être parmi les plus corpulentes). Les femmes de corpulence normale représentent quasiment la moitié de l'échantillon canadien des 20-59 ans, alors qu'elles représentent moins d'un tiers de l'échantillon étatsunien, et tant pour le surpoids que pour l'obésité, la différence est de l'ordre de 10 points avec des prévalences supérieures dans l'échantillon étatsunien.

Quelques études en population générale se sont focalisées sur la cible de 10000 pas, et elles convergent vers des résultats moins alarmants que les études basées sur l'accélérométrie. Ainsi, les auteurs rapportent dans l'étude canadienne précédemment citée que 35% des adultes atteignent 10000 pas par jour, avec une moyenne de 9500 pas chez les hommes et 8400 chez les femmes (Colley *et al.*, 2011a). Par ailleurs, le temps assis et le temps passé devant des écrans fait l'objet de nombreuses études descriptives mais il n'y a pas de recommandation chiffrée de la limitation du temps à passer dans de telles activités sédentaires avec lesquelles on puisse effectuer des comparaisons pour le moment.

Donc, que l'on retienne les valeurs rapportées par les individus eux-mêmes, et que l'on considère alors comme mauvais les résultats d'activité physique de la population mondiale, ou que l'on se base sur les études dans lesquelles l'activité physique est mesurée, et qu'on identifie en conséquence la situation comme critique, la promotion de l'activité physique est indissociablement liée à l'évolution des indicateurs de santé. Les données chez les enfants et les adolescents soutiennent cette affirmation.

²⁶ D'après les informations disponibles dans les articles, la prévalence du poids normal, surpoids et obésité ont été calculés chez les hommes et les femmes de la tranche d'âge 20-59 ans, et des tests de chi-deux ont été appliqués pour argumenter cette comparaison.

4.6. L'application des recommandations dans le monde chez les enfants et les adolescents

Les enquêtes avec accélérométrie utilisées par Troiano *et al.* et Colley *et al.* citées plus haut ont aussi porté sur des enfants et adolescents. D'après l'étude canadienne transversale sur les 6-19 ans, 21 % des garçons et de 11 % des filles accumulent 60 minutes quotidiennes d'activités d'intensité supérieure à 3 METS au moins 5 jours par semaine (Colley *et al.*, 2011b). L'évolution de la distribution vers plus de temps passé dans les activités sédentaires et moins de temps dédié aux activités d'intensité modérée est significative entre les plus jeunes (6-10 ans), les adolescents (11-14 ans) et les jeunes adultes (15-19 ans) (Colley *et al.*, 2011b). Les données de l'étude américaine qui vérifient l'adéquation des pratiques à l'atteinte des 60 minutes d'activité physique d'intensité modérée entre 5 et 7 jours par semaine sont de 5,6 % chez les jeunes adultes (comparativement à 6,7 % dans une tranche d'âge comparable de l'étude canadienne en retenant 6 jours par semaine parmi les critères au lieu de 5) (Troiano *et al.*, 2008). Les données chez les enfants sont tout aussi inquiétantes puisque 42 % des enfants apparaissent comme actifs au sens de dépasser 60 minutes d'activité modérée, ce qui est déjà largement insuffisant, mais surtout la notion de période minimale d'activité a été fixée à 1 minute dans cette étude ce qui fournit des données plus optimistes. Dans toutes les études et quelle que soit la méthodologie retenue, la différence garçons-filles est marquée aussi dans ces tranches d'âge d'enfants et d'adolescents, toujours au détriment des jeunes filles à qui il est donc encore plus urgent de proposer des sources de dépense énergétique par divers moyens.

4.7. L'application des recommandations en France

La France n'échappe pas à l'absence de données fiables en matière de surveillance des comportements d'activité physique de la population. Il existe une variété de sources dont les résultats vont du simple au double, et qui tous surestiment très certainement le niveau d'activité physique puisqu'ils sont basés sur des questionnaires et entretiens. La mise en place du Baromètre Santé Nutrition en 1996 relevait d'une initiative intéressante qui mériterait selon nous d'être encore amplifiée, ce qui a été le cas avec l'Etude Nationale Nutrition Santé en 2006 mais qui n'est pas à notre connaissance renouvelée annuellement ou sur une base bisannuelle. Les données vont de 37 % des adultes de plus de 15 ans

présentés comme suffisamment actifs (Eurobaromètre : Rütten & Abu Omar, 2004) à 66 % des 12-75 ans qui rapportent avoir pratiqué au moins 30 minutes d'activité physique la veille de l'entretien (Baromètre Santé Nutrition, 2008 : Escalon *et al.*, 2009). Les données retenues pour le PNNS et dans la loi du 4 août 2004 sont intermédiaires et sont de l'ordre des résultats de l'étude SU.VI.MAX selon lesquels 53 % des français seraient suffisamment actifs (Oppert *et al.* 2002). En effet, les objectifs mentionnés sont de passer de 60 à 75 % d'hommes faisant l'équivalent d'au moins 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée par jour au moins 5 jours par semaine, et de 40 à 50 % chez les femmes.

4.8. Considérations personnelles sur le suivi de l'application des recommandations

Le coût du suivi des comportements d'activité physique des populations est certes important, mais il existe déjà des dispositifs qui pourraient être mutualisés dans une telle perspective, comme l'enquête emploi du temps de l'INSEE en France. Compte tenu des enjeux, nous ne pensons pas qu'un pays développé (ou une communauté comme l'Union Européenne) qui peut dédier des moyens pour la santé de ses populations puisse se passer d'un tel dispositif. Ce dispositif pourrait s'appuyer sur les ressources des autorités de santé et les institutions de promotion de la santé, ou à défaut d'éducation à la santé, mais aussi des équipes de scientifiques. Il devrait être en mesure de fournir avec une périodicité fixe des données fiables sur l'ensemble de son territoire de l'application des recommandations d'activité physique, mais aussi de la distribution des niveaux d'activité physique, du temps passé dans les différentes catégories d'intensité, et de l'énergie dépensée dans les transports et le temps libre qui sont les principales sources de dépense énergétique qui peuvent évoluer.

Les données brutes auxquelles nous avons eu accès²⁷ et l'analyse de la littérature nous ont permis de proposer la modélisation suivante qui doit encore être travaillée pour être soumise à publication mais que nous proposons ici (Figure 5).

²⁷ Etude Nationale Nutrition Santé en France, pour citer la base de données la plus large et dans laquelle la méthodologie a été la plus rigoureuse.

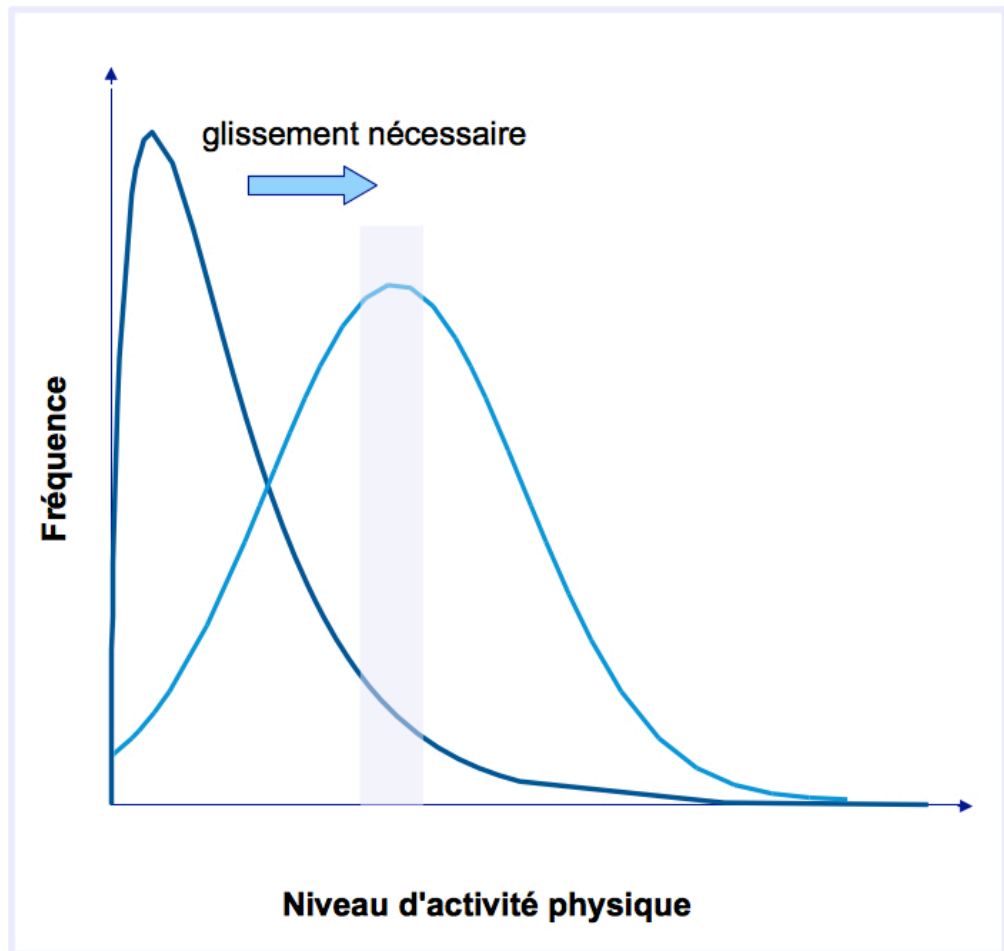


Figure 5. Distribution du niveau d'activité physique telle qu'elle est probablement dans la population adulte française actuellement selon nos estimations (— ; modèle retenu : densité de probabilité selon une loi de chi-deux avec 3 degrés de liberté) la distribution-cible que l'on pourrait chercher à atteindre à moyen terme (— ; modèle retenu : densité de probabilité de la loi normale tronquée de 2% de l'aire à gauche). La zone grisée (■) correspond à la zone-cible, volontairement large pour inclure différentes sources de recommandations. Données virtuelles.

Avec le niveau d'activité physique comme variable dépendante, dont la valeur cible serait comprise entre 1,75 (Saris *et al.*, 2003, Melzer *et al.*, 2005) ou la quantité d'activité d'intensité au moins modérée par périodes de 10 minutes minimum, dont la cible serait de l'ordre de 1300 METs.min par semaine, la fonction de répartition présente selon nous une forte asymétrie positive, c'est-à-dire avec une densité importante dans les valeurs faibles. Nous n'avons pas identifié dans la littérature d'idéal de cette distribution qui tiendrait compte des blessures et complications liées à la pratique, mais on peut s'attendre à ce que la distribution souhaitable pour la population soit normale avec une moyenne qui

dépasse la recommandation, ou une distribution présentant une asymétrie négative. Le passage de l'un à l'autre requiert nécessairement des actions visant à limiter le temps passé dans des activités sédentaires, et des actions visant à augmenter les opportunités de pratiquer des activités d'intensité au moins modérée dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

En conclusion sur cette partie, nous insistons sur le fait que l'ensemble des données de la littérature converge vers une reconnaissance des comportements d'activité physique comme déterminants de la santé cardiométabolique. Par conséquent, le suivi et la promotion de l'activité physique sont des indispensables dimensions des actions en santé publique relatives à ces pathologies, à leur prévention et à leur prise en charge.

**Partie 3 – La nécessité de promouvoir l'activité physique.
Implication en Guadeloupe et en Martinique**

Dans la partie précédente, nous avons proposé une réflexion sur la relation causale entre comportements d'activité physique et santé cardiométabolique. Nous prétendons que l'organisation originale que nous faisons des arguments classiquement présentés accrédié la puissance de l'intervention sur les comportements d'activité physique comme outil en santé publique. Or, la démarche de l'action en santé publique repose sur des principes et des valeurs-clés dans la promotion de la santé ([Conférence internationale pour la promotion de la santé, 1986](#) ; [Deschamps, 2003](#)). Les respecter, c'est accepter qu'il ne suffit pas de connaître le bienfondé d'avoir des populations actives pour décréter l'amélioration des indicateurs ni d'être légitime pour imposer des modifications de mode de vie aux populations. Ces principes sont les principes d'autonomie, de bienfaisance, de non malfaisance et de justice qui guident la réflexion éthique de l'intervention en santé publique ([Beauchamp & Childress, 1979](#)). Par conséquent, le fait de nous intéresser à ces questions de santé publique *per se* ne nous confère pas la légitimité ni la responsabilité de prendre en charge ces mêmes questions. En revanche, chacune des étapes²⁸ de la démarche formalisée appliquée en santé publique pour garantir le respect des principes et valeurs évoqués plus haut repose sur des connaissances. Il apparaît ainsi dans la loi ([loi n°2004-806 du 9 août 2004](#)) que le principe de connaissance est le "*principe selon lequel les objectifs sont définis et les actions sont choisies en tenant compte des meilleures connaissances disponibles ; réciproquement, la production de connaissances doit répondre aux besoins d'informations nécessaires pour éclairer les décisions*". S'agissant de comportements d'activité physique, ces connaissances peuvent concerner l'identification de besoins et de demandes dans certaines populations, ou porter sur les effets (physiologiques, psychologiques,...) de l'intervention pour les individus participant ou pour les structures actrices. En tant que chercheur dans ce champ, notre responsabilité sociale est d'abord de produire des connaissances nouvelles et adaptées à la démarche de l'action en santé publique. Nous cherchons donc à développer des connaissances, fondamentales et appliquées, qui potentiellement, seront utilisées par les pouvoirs publics et les forces d'action du domaine privé, y compris les communautés impliquées dans nos études. Chacun des 3 projets présentés dans cette partie répond à cette logique et veut servir, plus ou moins directement la promotion de l'activité physique d'une manière générale, et son existence en Guadeloupe et Martinique en particulier.

28 Ces étapes sont le diagnostic et la programmation, cette dernière incluant l'intervention et l'évaluation des résultats et du processus.

1. Conjugaison particulière des facteurs de risque chez les Guadeloupéens originaires d'Inde. Place des comportements d'activité physique

1.1. La population guadeloupéenne

Les théories dominantes situent l'origine de l'homme en Afrique. Les migrations humaines ont été récurrentes dans l'histoire de l'humanité. Ainsi, la colonisation du continent africain et de l'Eurasie par *Homo sapiens sapiens* semble dater de 100 à 200 000 années. Il existe aussi des arguments accréditant le déplacement d'*Homo erectus* d'Afrique il y a plus de 500 000 années (Bradshaw, 2002). A chaque fois, les hommes ont migré sous l'influence de différentes contraintes : climat, expansion de la population, innovations techniques ou culturelles. L'Australie et les îles du Pacifique auraient été peuplées il y a 60 000 ans. Certains de ces hommes auraient migré vers l'Amérique du Sud mais on admet actuellement, et cela vient d'être confirmé par des découvertes récentes (Reich *et al.*, 2012) que la majorité du peuplement des Amériques s'est fait par le Nord il y a environ 15 000 ans au cours de 3 vagues migratoires successives. Le peuplement des Antilles, en particulier des petites Antilles, archipel des îles de la partie méridionale de l'arc antillais auquel appartient la Guadeloupe et la Martinique, est bien plus récent (Delpuech *et al.*, 2007), probablement autour de 4 millénaires avant notre ère. Les descendants de ces populations amérindiennes étaient présents à la fin du XV^{ème} siècle lors de la colonisation par les Européens. Ce peuple a été presque entièrement décimé avant le milieu du XVII^{ème} siècle où la population en Guadeloupe et Martinique était constituée de quelques milliers de colons français.

L'empire français colonial, comme l'empire britannique, s'est développé en utilisant l'esclavage. Le peuplement des petites Antilles s'est alors fait par des migrations forcées par l'homme sur l'homme, contrairement aux mouvements humains antérieurs. Dans un système institutionnalisé appelé commerce triangulaire, l'appropriation par certains de la vie d'autres a généré le peuplement des colonies du continent américain et du bassin caribéen par des esclaves d'origine africaine (Pérotin-Dumon, 2000). Ce n'est qu'en 1831 que la traite cesse, et qu'en 1848 que l'abolition de l'esclavage est effective en Guadeloupe et en Martinique. Les descendants plus ou moins métissés de ces anciens esclaves constituent la population créole qui y est aujourd'hui majoritaire alors que les

descendants des colons européens représentent actuellement une petite minorité. Cette population est complétée par une minorité de migrants originaire de France continentale, et d'une minorité indienne présente depuis plus longtemps. En effet, pour parer à la pénurie de main d'oeuvre dans les plantations consécutive à l'abolition de l'esclavage, des contrats ont été proposés dans certains comptoirs indiens, en particulier en Inde méridionale mais aussi dans l'Etat d'Uttar Pradesh et au Bihar dans le Nord. Suivant le modèle anglais qui a conduit à l'immigration de centaines de milliers²⁹ d'Indiens à Trinidad, au Guyana, en Jamaïque et ailleurs dans le Commonwealth, la France a favorisé l'engagement de dizaines de milliers d'Indiens, majoritairement des Tamouls, et ce jusqu'en 1889 où ce régime d'engagement cesse effectivement (Adelaïde-Merlandes, 1986 ; Schnakenbourg, 2007).

Ces ressortissants indiens ou d'origine indienne et leurs descendants sont restés longtemps à la marge de la société créole. Ce n'est qu'en 1923 que la nationalité française et le droit de vote leur sont accordés. Cette décision permet leur pleine intégration dans la communauté nationale voulue comme une entité. Le principe de l'universalisme républicain tel qu'il est pensé en France depuis la Révolution a en effet été constitutionnalisé en 1958 selon l'article 1^{er} qui dispose que "*La France est une République indivisible, laïque, démocratique et sociale*". En conséquence, la référence aux origines des populations pose problème en France. Cette question cristallise certaines passions. Classifier ou évoquer les origines géographiques ou ethniques peut être suspecté d'alimenter certaines dérives. En effet, cela serait susceptible de favoriser la superposition d'un jugement de valeurs sur ces catégories ainsi créées. Pourtant, dans certains contextes, le recours à une telle classification des individus est accepté et l'éventuelle atteinte aux principes républicains³⁰ est dépassée. C'est le cas des besoins de santé spécifiques qui sont présents dans la communauté de Guadeloupéens d'origine indienne³¹ (GOI). Aussi, bien que conscients du caractère potentiellement polémique de cette décision dans un contexte français, nous avons

29 dont la majorité est restée aux Antilles par obligation ou par choix

30 L'expression "*populations d'outre-mer*" a d'ailleurs été inscrite lors de la réforme constitutionnelle de 2003, ce qui valide la non-atteinte de l'usage du terme "populations" au principe d'unicité du peuple français.

31 Nous avons choisi cette association de termes choisie pour dénommer ces Français d'origine indienne et vivant en Guadeloupe conformément aux recommandations de représentants de cette communauté. Cependant, dans nos articles en anglais, nous avons parfois pris des distances avec les références républicaines françaises avec les termes "Asian Indians from Guadeloupe", voire "Asian Indians" pour nous conformer à la terminologie utilisée dans la littérature scientifique majoritairement anglophone et dans laquelle la référence explicite aux ethnies est considérée comme normale.

procédé à cette discrétisation par l'ethnie dans les études que nous avons menées³². Nous avons considéré comme GOI un habitant de Guadeloupe se définissant lui-même et définissant ses 2 parents comme d'origine indienne (et non issu d'un métissage sur les 2 générations précédentes), et comme contrôle un habitant de Guadeloupe ne se définissant pas lui-même comme indien ni ne définissant aucun de ses 2 parents comme d'origine indienne ou issu d'un métissage impliquant un originaire d'Inde dans les 2 générations précédentes.

1.2. Le diabète de type 2 dans les populations indiennes

L'augmentation rapide de la prévalence du DT2 à l'échelle mondiale prend des proportions alarmantes à l'échelle du sous-continent indien, terre de plus d'1,2 milliard d'individus. En effet, cette prévalence (par rapport à la définition du DT2 de l'OMS) en Inde est de 9,0% en 2012 chez les adultes de 20 à 79 ans selon les estimations de la fédération internationale du diabète (2012), soit près de 63 millions de personnes. L'aggravation de cette situation est inéluctable pour 2 raisons principales. D'abord, compte tenu de son développement, l'Inde est encore en cours de transition épidémiologique³³ (Ramachandran *et al.*, 2012), phase propice au développement d'environnements et modes de vie diabétogènes et obésogènes. Par exemple, la population est encore très rurale mais s'urbanise rapidement. Or, ces populations rurales sont largement moins exposées au DT2 que les populations urbaines. Cette transition est susceptible de s'accompagner d'une transition nutritionnelle qui accélère encore ce phénomène (Popkin, 2006). Ensuite, le pays est encore jeune avec 48% de la population âgée de moins de 30 ans (Université de Sherbrooke). Or, le risque de diabète augmente avec l'âge. Cet effet de l'augmentation de la prévalence du diabète avec le vieillissement de la population serait probablement moins marqué puisque le DT2 se manifeste tôt dans la vie adulte des Indiens (Katikireddi *et al.*, 2011), mais les observations récentes de détérioration du profil de risque cardiométabolique des adolescents (Singhal *et al.*, 2010) confirment que les transitions évoquées sont en cours. Compte tenu de ces facteurs et d'autres, les prédictions pour 2030 sont de 100 millions de personnes présentant le DT2 en Inde (Fédération internationale du diabète, 2012) avec des

32 Il faut cependant noter que plusieurs équipes françaises procèdent à une telle discrétisation et que nous ne sommes pas isolés (Kervio *et al.*, 2012 ; Bret *et al.*, 2012).

33 Selon la théorie de la transition épidémiologique proposée en 1971 (Omran, 1971) et améliorée depuis, une évolution des causes dominantes de mortalité et morbidité se produit systématiquement avec le développement économique et parallèlement à la transition démographique vers une faible mortalité et une faible natalité. Selon ce modèle, les maladies chroniques dégénératives et les accidents deviennent les causes principales de décès, alors que les maladies infectieuses reculent.

conséquences sanitaires et sociales potentiellement graves (Shetty *et al.*, 2012).

Cette surexposition des populations indiennes au DT2 est alimentée aussi par les taux de prévalence relevés sur les migrants Indiens et leurs descendants. De nombreuses données sont disponibles au Royaume-Uni, pays important d'immigration pour les Indiens compte tenu de l'histoire coloniale, mais aussi aux Etats-Unis, au Canada, dans les Etats du Golfe, en Afrique du Sud, en Australie et dans la Caraïbe. Ainsi, dans une étude menée en Angleterre il y a plus de 20 ans, la prévalence du DT2 était de 19% dans les populations d'Asie du Sud alors qu'elle était de 4% dans les populations d'origine européenne (McKeigue *et al.*, 1991). Les données récentes confirment ce rapport de 1 à 3 ou 4 pour la prévalence et l'incidence des migrants originaires d'Asie du Sud comparativement aux caucasiens (Wang *et al.*, 2011 ; Karter *et al.*, 2012). En Guadeloupe, peu de données formelles sont disponibles sur cette question. Le même constat a été posé suite à une étude de prévalence du DT2 menée en 1984 et 1985 (Costagliola *et al.*, 1991). Notre sentiment est que les discours actuels des cliniciens convergent vers les affirmations suivantes :

- les GOI présentent le DT2 plus fréquemment que les autres populations présentes en Guadeloupe
- les GOI développent le DT2 plus précocement que les autres populations de l'île
- leurs complications du DT2 sont plus graves.

Pour les 2 premiers points, cela est compatible avec les données de la littérature de sorte qu'il est tentant de transférer les résultats obtenus ailleurs, et de continuer à utiliser la référence publiée en 1991. Nous ne développerons pas plus la question des complications, mais il n'est pas certain que d'éventuelles études épidémiologiques confirment ce sentiment, une fois effectués tous les ajustements requis.

1.3. Le phénotype asiatique indien

Plusieurs hypothèses non exclusives les unes des autres sont avancées pour expliquer la surreprésentation du DT2 dans ces populations. Elles sont synthétisées dans l'idée selon laquelle les Indiens ont une prédisposition ethnique et génétique forte au DT2 se manifestant par des seuils plus bas aux facteurs de risque environnementaux (Ramachandran *et al.*, 2012). On parle du phénotype

asiatique indien ("Asian Indian Phenotype")(Joshi *et al.*, 2003) pour désigner cette combinaison unique de caractéristiques cliniques et biochimiques³⁴ commune à ce groupe ethnique et qui le prédispose au DT2 (Mohan *et al.*, 2007).

Il a été montré chez les adultes indiens une tendance au stockage de masse grasse (Wang *et al.*, 1994), surtout au niveau abdominal (Raji *et al.*, 2001). D'après les études sur les nouveaux-nés, ce profil se manifeste tôt dans la vie puisque les bébés indiens naissent plus petits et avec une masse grasse relativement plus importante que les bébés européens (Yajnik *et al.*, 2003 ; Krishnaveni *et al.*, 2005). Or, on sait d'après des études épidémiologiques et physiopathologiques que la quantité totale de masse grasse et sa localisation centrale, c'est-à-dire abdominale et/ou viscérale, sont associées à l'insulinorésistance (et donc au DT2) et la déterminent fortement. Sans présenter la physiopathologie du DT2, mentionnons que les mécanismes liant obésité centrale et insulinorésistance impliquent la glucotoxicité et la lipotoxicité (Poitout & Robertson, 2008), la cytotoxicité des dépôts amyloïdes, et l'activation chronique du système immunitaire (Paquot & Tappy, 2005). Donc le DT2 survient à des niveaux plus bas d'indice de masse corporelle chez les Indiens comparativement à d'autres populations, et de faibles variations de masse déclenchent l'intolérance au glucose chez les sujets sensibles (Nagakami *et al.*, 2003). En conséquence, les seuils utilisés pour définir l'obésité et l'obésité abdominale chez les Indiens ont été abaissés (Choo, 2002).

Plusieurs des gènes candidats à la prédisposition au DT2 ont été identifiés, et des particularités dans l'expression de ces gènes ou dans la prévalence de polymorphismes spécifiques de certains gènes (variant Q121 et haplotype QdelTG d'ENPP1, polymorphismes du gène codant pour le PPAR-gamma) chez les Indiens ont été recherchées ; de nombreuses nombreuses équipes ont échoué sur ce sujet. Aussi, même si des différences de ce type existaient, ce qui est probable (Abate *et al.*, 2003), il est peu crédible qu'elles soient directement causales du phénotype asiatique indien.

34 Ces modifications incluent l'insulinorésistance, l'adiposité abdominale, des taux plus bas d'adiponectine (certainement sous l'influence d'une répression de l'expression adipocytaire par TNF- α) et des niveaux plus élevés de protéine C réactive à haute sensibilité.

1.4. Composition corporelle des adolescents Guadeloupéens originaires d'Inde

1.4.1. Hypothèses explicatives de la surexposition des populations indiennes au diabète de type 2 en Guadeloupe

L'hypothèse du phénotype asiatique indien peut très certainement s'appliquer, mais ne suffit pas expliquer toute la surexposition des populations indiennes au DT2 en Guadeloupe. A cela, il faut peut-être ajouter la pression environnementale exercée par le voyage transocéanique et le mode de vie à l'arrivée : il est vraisemblable que les individus les moins prompts au stockage énergétique soient décédés plus que les autres pendant cette phase. En effet, les conditions sanitaires de la traversée dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle étaient difficiles, comme celles de l'arrivée dans les plantations, ce qui a pu favoriser les phénotypes d'épargne. Les variants génétiques³⁵ (Neel, 1962) ou épigénétiques du métabolisme ayant été favorables à ce moment précis seraient pathogènes dans le contexte actuel d'abondance alimentaire. Pour expliquer le différentiel d'exposition au DT2 des populations indiennes en Inde et en Guadeloupe, on peut aussi recourir à l'hypothèse de la migration. Dans différents pays d'immigration, et sur des populations venant d'origines diverses, il a été fréquemment démontré que les migrants sont plus exposés aux désordres métaboliques (Fujimoto *et al.*, 2012 ; Goodman *et al.*, 2013) que les populations enracinées dans le pays depuis plus longtemps. Cependant, la majorité des études porte sur la première et la deuxième génération de migrants, et il est possible aussi que le niveau socio-économique rende compte d'une certaine partie de cette différence (Méjean *et al.*, 2007) de sorte que cette hypothèse n'est pas la plus crédible. Il existe une dernière piste, peu documentée, mais qui demeure évoquée dans les discours : c'est l'idée de la proximité génétique accrue dans cette population dont la souche est étroite. La situation n'est pas celle des isolats³⁶, cependant, la réduction des degrés de liberté de la dérive génétique pourrait contribuer partiellement à la surexposition des GOI au DT2, mais cela reste théorique.

35 Neel a proposé l'hypothèse du génotype économe, théorie dont les bases demeurent attractives, mais qui a été largement critiquée depuis, principalement sur la base du fait que tous les hommes seraient détenteurs de ce génotype économe et pas particulièrement les Indiens.

36 Un isolat est une petite population (le seuil varie selon les sources) à forte consanguinité.

1.4.2. Etudes anthropométriques des adolescents guadeloupéens

Puisque l'obésité, en particulier l'obésité centrale, tient une place principale dans la physiopathologie du DT2, il était prioritaire pour nous d'étudier les caractéristiques anthropométriques des GOI. Nous avons décidé de nous focaliser sur les adolescents. En effet, l'identification d'un effet de l'ethnie nous semblait plus intéressant, car préalable à la survenue du DT2, s'il se manifestait chez les jeunes, mais il fallait aussi que la phase soit propice en termes de diversité des pratiques interindividuelles.

Stéphane Sinnapah, dans le cadre de sa thèse dirigée par le Pr. O. Hue et que nous avons co-dirigée, a mené en 2007 une étude dans 7 établissements scolaires d'enseignement secondaire de Guadeloupe, dite continentale, dont 4 ont été sélectionnés délibérément dans les zones où les GOI se sont historiquement installés, et 3 aléatoirement ailleurs en Guadeloupe. Au total, 1498 adolescents ont accepté d'être soumis à des mesures anthropométriques classiques et ont répondu à un questionnaire d'activité physique, et certains se sont prêtés à la mesure de la pression artérielle. De cette enquête qui n'a pas été conçue comme une réelle enquête de prévalence, et après ré-échantillonnage pour annuler la surreprésentation de la population d'origine indienne, nous avons pu caractériser la distribution des statuts pondéraux et tensionnels dans un échantillon de 784 adolescents âgés de $13,3 \pm 1,5$ ans. Ainsi, sur la base de références classiques³⁷, nous rapportons les principales observations suivantes (l'article soumis est présenté en annexe) :

- Chez les garçons et filles réunis, 74,6% (intervalle de confiance à 95% : 70,4-78,8) ont un indice de masse corporelle normal, 18,6% (14,9-22,4) sont en surpoids, et 6,8% (4,3-9,2) sont obèses, les statuts étant définis sur des références liées à l'âge et au sexe.
- Chez les garçons et filles réunis, 82,0% (78,3-85,7) ont une pression artérielle normale, 9,2% (6,4-12,0) présentent un statut de pré-hypertension, et 8,8% (6,1-11,5) une hypertension, les statuts étant définis sur des références liées à l'âge, au sexe, et à la taille.

³⁷ Quatrième rapport américain du groupe de travail sur la pression sanguine élevée chez les enfants et les adolescents pour la tension artérielle ([National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents, 2004](#)), et les centres américains de contrôle et la prévention des maladies ([Kuczmarski et al., 2000](#) ; [Ogden et al., 2002](#)) pour l'indice de masse corporelle.

Le but principal de cette enquête était la comparaison des GOI et des contrôles, ce que nous avons fait d'abord de manière traditionnelle. Chacun des 180 adolescents GOI inclus a été apparié à 3 adolescents contrôles de même âge et de même sexe. Nous avons mis en évidence (Sinnapah *et al.*, 2009a) un effet significatif de l'ethnie sur le tour de taille, la somme des 4 plis cutanés et la masse grasse évaluée par bio-impédancemétrie (Table 8).

	Garçons		Filles		Résultats de l'ANOVA ; effets significatifs
	GOI (n=79)	contrôles (n=250)	GOI (n=79)	contrôles (n=250)	
Tour de Taille (cm)	71,1±9,0	69,3±7,8	66,2±8,2	67,8±6,8	sexe ; interaction sexe / ethnie
Somme des 4 plis cutanés (mm)	55,1±33,8	42,5±27,2	67,4±29,9	60,6±26,1	sexe ; ethnie
Masse grasse mesurée par bio-impédancemétrie (%)	18,6±6,1	16,6±5,3	25,6±5,4	23,8±4,8	sexe ; ethnie

Table 8. Marqueurs anthropométriques de risque cardiométabolique présentés par classe de sexe et d'ethnie chez les adolescents non-obèses d'étude comparative de 720 adolescents guadeloupéens incluant des originaires d'Inde (GOI) et des contrôles. Reproduction à partir de : Sinnapah *et al.*, 2009.

Nous avons complété cette approche comparative dans une analyse additionnelle des mêmes données et d'autres méthodes (Antoine-Jonville *et al.*, 2012). Les résultats convergent avec ceux de l'étude précédente pour conclure à une masse grasse supérieure au niveau abdominal pour l'ensemble des indices de masse corporelle observés chez les garçons, et pour la majorité des indices de masse corporelle observés chez les filles (Figure 6).

L'observation de ce profil "mince-gras" (Yajnik *et al.*, 2003) des personnes originaires d'Inde est fréquente chez les adultes (Deurenberg *et al.*, 2002 ; Prakash & Pathmanathan, 1992). Elle l'est beaucoup moins chez les adolescents. Il existe cependant des données qui confortent nos résultats. Une étude visant à établir des valeurs de référence en Inde sur des adolescents âgés de 14 à 18 ans, les auteurs montrent que l'association entre l'indice de masse corporelle et la masse grasse ne suit pas la même relation que dans les populations nord-américaines (Pandey *et al.*, 2009). Il faut cependant noter que les dernières courbes de référence étatsuniennes de plis cutanés des enfants et des adolescents (Addo & Himes, 2010) n'intègrent aucune différenciation ethnique.

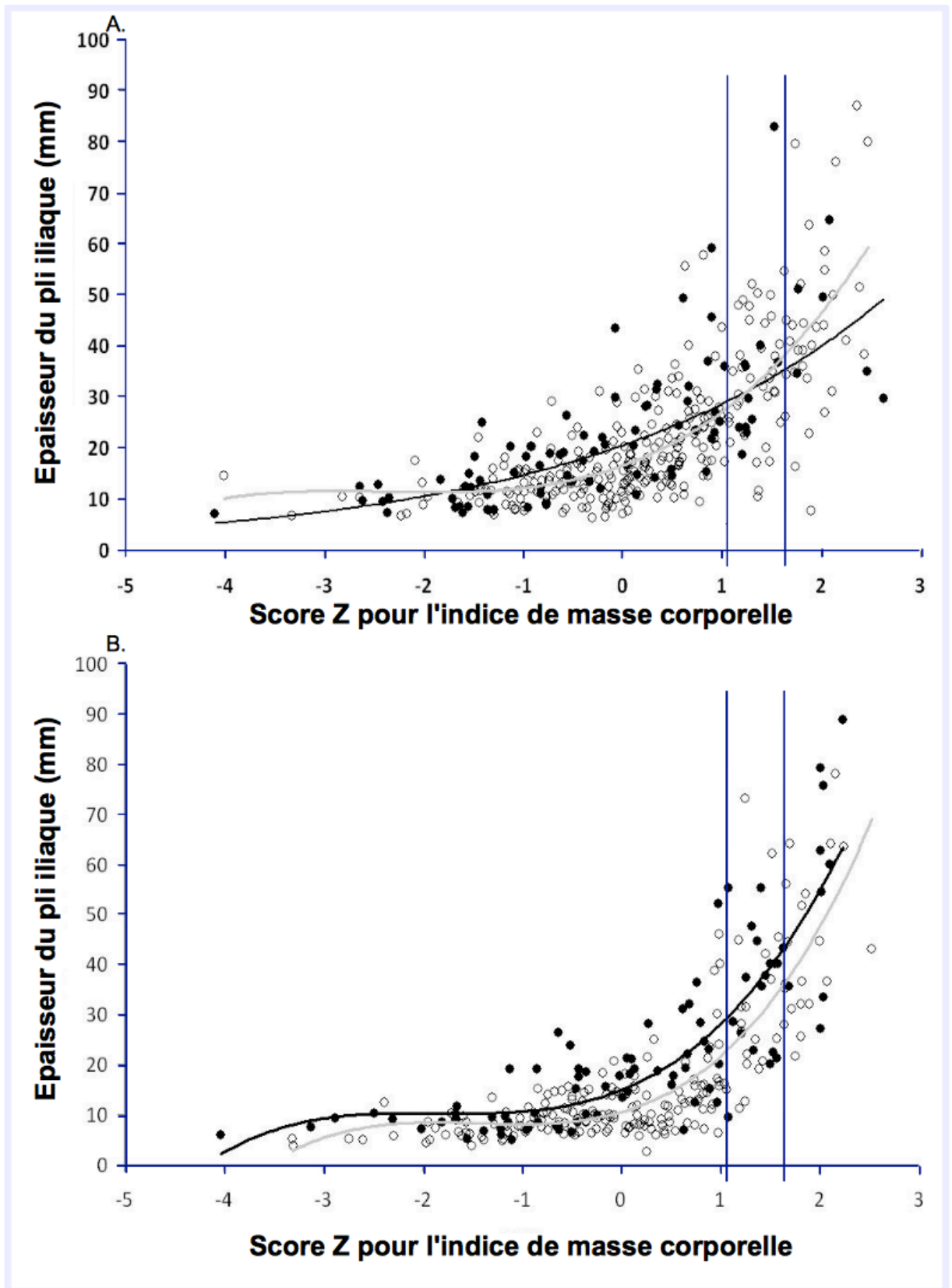


Figure 6. Relation entre l'épaisseur du pli iliaque (mm) et le score Z (sur la base des références spécifiques au sexe et à l'âge du Centers for Disease Control and Prevention des Etats-Unis) d'indice de masse corporelle chez les filles (A) et les garçons (B) de l'échantillon d'adolescents Guadeloupéens originaires d'Inde (●, ajustement de la courbe : —), ou d'une autre origine. (○, ajustement de la courbe : —). Les barres verticales représentent les 85^{ème} et 95^{ème} percentiles.

Notre projet a plusieurs limites. En particulier, nous n'avons eu accès ni aux données permettant de définir les stades pubertaires ce qui aurait éclairé la phase d'explication de ces différences, ni aux données biologiques qui pourraient confirmer l'impact de ces observations en termes de risque pour cette population. Cependant, les données de la littérature sont convaincantes quant à l'association entre l'adiposité abdominale et l'insulinorésistance (Misra *et al.*, 2004). Nos observations selon lesquelles les adolescents GOI ont une masse grasse relativement supérieure à leurs pairs d'une autre origine sont compatibles avec la surexposition rapportée au DT2 de ce groupe ethnique.

1.5. Hypothèse des comportements d'activité physique dans la surexposition des populations indiennes au diabète de type 2 en Guadeloupe

Compte tenu du rôle de l'activité physique régulière dans la genèse de l'obésité et du DT2, et sachant incomplet le tableau de l'explication de la surexposition au DT2 des GOI, il nous a paru cohérent d'éprouver l'hypothèse d'une association de l'ethnie avec le niveau d'activité physique.

Cette question nous a semblé intéressante, que les investigations mènent ou non à l'observation de différences dans les profils d'activité physique. En effet, l'éventuelle mise en évidence de profil particulier chez les GOI ouvre des pistes en matière d'intervention dans cette communauté³⁸. L'absence d'effet en revanche, si la puissance est suffisante, oriente fermement vers la recherche de réponse métabolique³⁹ spécifique aux activités physiques puisque les mécanismes de stockage ont déjà été explorés.

Nous avons mené cette comparaison entre GOI et participants contrôles chez les adolescents et chez les adultes. Nos résultats convergent vers la validation de l'hypothèse de travail, sans pour autant que nous ayons été en mesure de mettre en évidence les causes (potentiellement d'ordre biologique, social et culturel) de ces différences, ni que nous n'ayons démontré directement une implication étiologique spécifique des comportements d'activité physique dans la physiopathologie du DT2 chez les GOI.

38 Précisons cependant que notre approche n'était pas tant d'étudier les GOI comme un groupe cible d'intervention en santé publique que comme un modèle particulier de l'interaction gène-environnement.

39 Comme d'autres auteurs (Ghanassia *et al.*, 2007), nous concevons la réponse métabolique comme un concept large qui couvre les types de substrats utilisés et les mécanismes liés à l'orientation des voies à savoir les activités hormonales, enzymatiques et l'activité des transporteurs de glucose.

Ainsi, dans l'enquête préalablement évoquée menée par notre équipe, l'activité physique a été évaluée par questionnaire⁴⁰ chez 260 GOI et 520 adolescents contrôles (Sinnaph *et al.*, 2009b). Nous rapportons dans un échantillon d'individus actifs en moyenne, une différence moyenne de 816 METs.min.semaine d'énergie dépensée dans les activités physiques de loisirs, au détriment des GOI, qui se manifeste indifféremment chez les garçons et chez les filles (Figure 7).

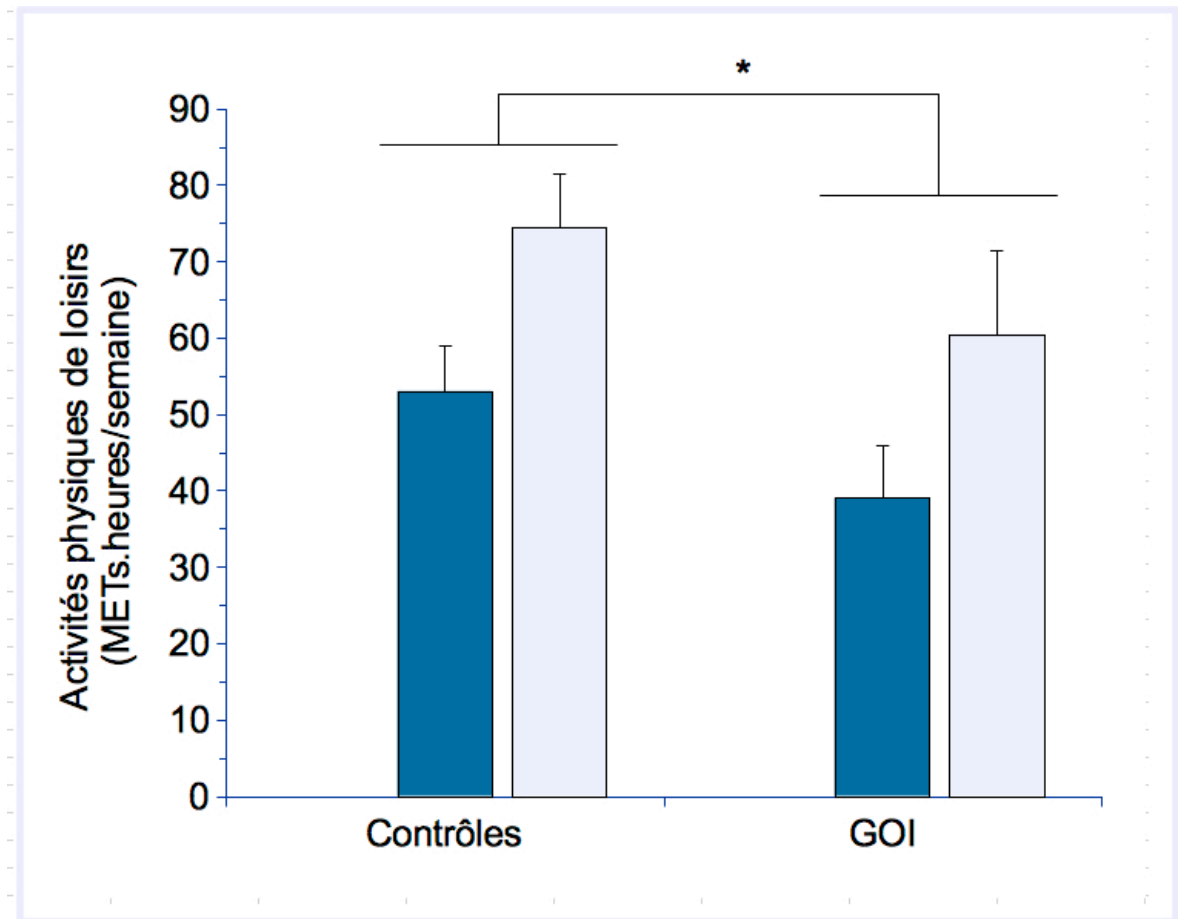


Figure 7. Energie dépensée dans les activités physiques de loisirs chez les adolescents guadeloupéens originaires d'Inde (GOI) et contrôles présentée chez les filles (■) et les garçons (■). L'effet ethnie est significatif (* : $p < 0,05$), l'effet sexe est significatif ($p < 0,001$) et l'interaction sexe-ethnie n'est pas significative.

Au delà de l'approche quantitative stricte, nous rendons compte de différences dans les types de pratiques rapportées. Ainsi, l'activité "s'occuper des animaux" est rapportée par 45% des adolescents d'origine indienne, contre 28%

⁴⁰ Le questionnaire retenu était le Modifiable Activity Questionnaire (Pereira *et al.*, 1997) comprenant une liste de 40 activités, constituée dans une étude préliminaire. Il concerne la fréquence et la durée des activités physiques de loisirs, à caractère sportif ou non, effectuées dans la semaine précédant la passation du questionnaire.

chez les contrôles. Ceci conforte la conception selon laquelle les modes de vie sont différenciés en fonction des ethnies, ce qui nécessiterait un éclairage socio-culturel.

Nous avons aussi recruté 57 travailleurs adultes GOI et 57 contrôles d'âge équivalent dans un centre de médecine préventive. Ils ont accepté de se prêter à des mesures anthropométriques et de remplir des rappels de 3 jours d'activité et d'alimentation, données grâce auxquelles nous avons pu estimer les niveaux d'activité physique (PAL, notion définie préalablement dans la partie 2, point 1.2). Avec les limites inhérentes aux faibles échantillons et aux rappels d'activité physique, nous rapportons également des différences liées à l'ethnie, également dans le sens d'une population d'origine indienne moins active (Figure 8).

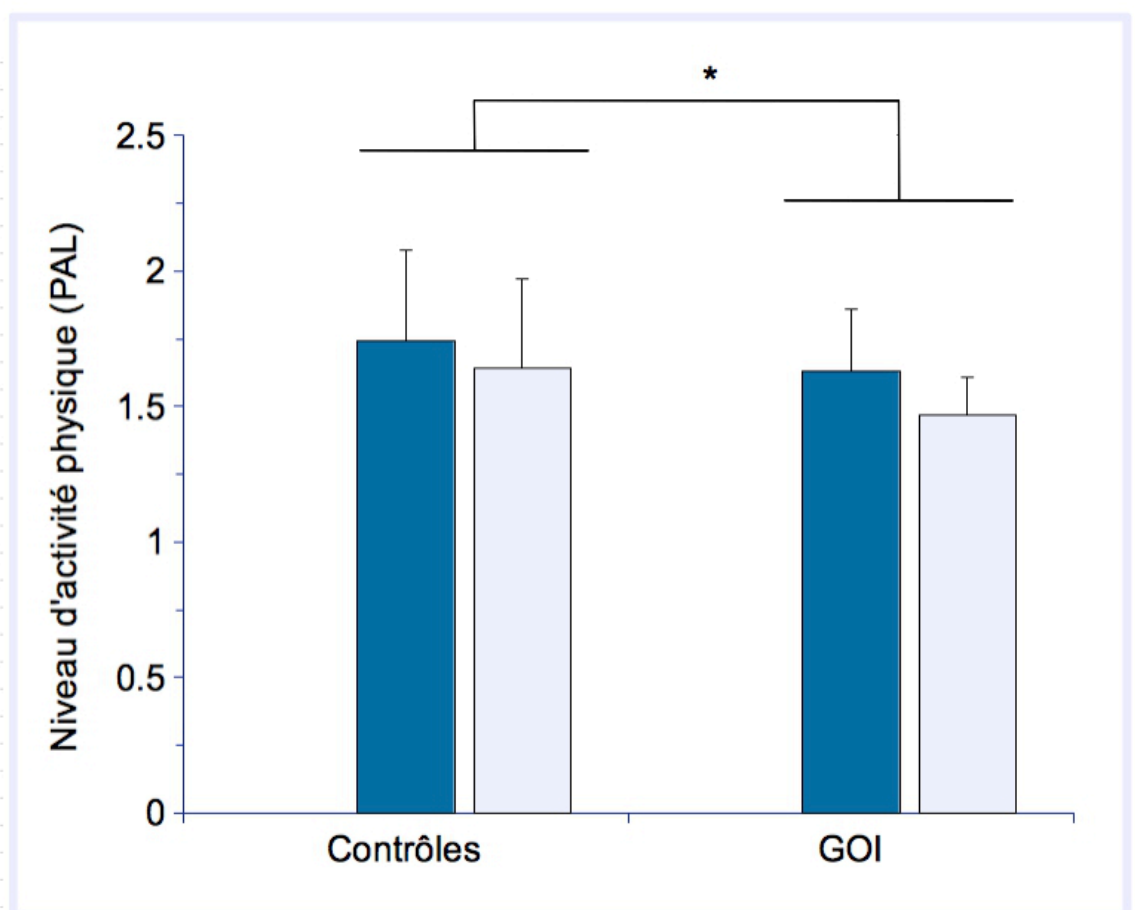


Figure 8. Energie dépensée dans les activités physiques de loisirs chez des travailleurs guadeloupéens originaires d'Inde (GOI) et contrôles présentée chez les femmes (■) et les hommes (□). L'effet ethnie est significatif (* : $p < 0,05$), l'effet sexe est significatif ($p < 0,05$) et l'interaction sexe-ethnie n'est pas significative.

L'une des observations majeure est que la majorité des participants à cette étude est trop peu actif au regard des recommandations habituelles, de sorte qu'on peut se questionner sur l'impact réel d'une telle différence entre les GOI et les participants contrôles sur la physiopathologie du DT2. Il peut être non négligeable compte tenu de la relation dose-effet de l'activité physique sur l'insulinosensibilité qui ne semble pas présenter de seuils au vu de l'ensemble de la littérature. Il est encore plus important quand on considère la susceptibilité de cette population à l'obésité abdominale et aux troubles du métabolisme du glucose même en absence d'obésité. A cause de cette propension, des recommandations d'activité physique spécifiques ont été émises pour les Indiens. Les seuils requis sont supérieurs à ceux qu'on utilise couramment (voir partie 2, point 4) : la conférence de consensus recommande 60 minutes d'activité physique quotidienne par périodes de 10 minutes minimum réparties de la façon suivante : au moins 30 minutes à intensité modérée à caractère aérobie, 15 minutes liés aux activités domestiques, professionnelles ou de déplacement (porter des charges lourdes, monter des escaliers...) et 15 minutes de renforcement musculaire (Misrah *et al.*, 2012) 3 à 4 fois par semaine.

Nous avons donc reproduit sur un échantillon guadeloupéen l'observation selon laquelle l'origine indienne est plus fréquemment associée au manque d'activité physique qu'une autre origine (caucasienne pour l'étude de Kamath *et al.*, 1999 par exemple). Malheureusement, nous ne sommes pas en mesure d'aller plus loin dans les explications : la dimension culturelle, mais aussi biologique restent à explorer, mais il nous paraît indispensable qu'une place soit laissée aux comportements d'activité physique dans le tableau explicatif de la surexposition des GOI, et probablement des autres descendants d'indiens migrants, au DT2.

2. Tous à l'eau - Nou tout an dlo la : expérimentation pilote de structuration de l'offre d'activité nautique chez les personnes atteintes de maladies chroniques

2.1. Contexte et objectifs

La loi du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique résolument orientée en faveur de la prévention visait à réduire la mortalité et la morbidité évitables. L'un des 5 plans stratégiques mis en œuvre suite à cette loi concernait l'amélioration de la qualité de vie des personnes atteintes de maladies chroniques. Dans le cadre de la mise en œuvre de la mesure 4 de ce plan, axée sur l'adéquation entre l'offre d'activités physiques et les besoins spécifiques des personnes atteintes de maladies chroniques, un appel à projets a été lancé. Il s'agissait d'un appel conjoint Direction générale de la santé – Direction des sports avec la collaboration de l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé. Intitulé "*Activité physique et personnes atteintes de maladies chroniques*", cet appel à projets était doté d'un budget total de 500 000 euros. Ses 2 objectifs étaient les suivants :

- "*favoriser la mise en place d'expérimentations de démarches innovantes dans le développement d'activité physique auprès de personnes atteintes de maladies chroniques, hors structures de soins*"
- "*identifier les freins et les leviers, ainsi que les éléments de reproductibilité de ces démarches*" ([Ministère de la Santé et des Sports, 2009](#)).

Le projet proposé par le laboratoire ACTES, EA 3596 avec le comité régional de natation de la Guadeloupe comme promoteur, le centre d'investigation clinique - épidémiologie clinique Antilles-Guyane (CIC-EC 802 Antilles-Guyane) comme partenaire méthodologique, et des clubs et associations de malades comme autres partenaires a été sélectionné, doté d'un montant de 93 500 € par le ministère et mis en œuvre.

Les objectifs opérationnels ont été définis ainsi :

Objectif principal :

1. Améliorer la qualité de vie des personnes de plus de 50 ans atteintes de maladie(s) chronique(s) grâce à la pratique⁴¹, avec l'un de leurs proches, des activités nautiques pendant 10 semaines avec les pratiquants habituels des clubs.

Objectifs secondaires :

2. Permettre à des personnes atteintes d'une (ou plusieurs maladie(s) chronique(s), ainsi qu'à une personne de leur entourage d'augmenter leur autonomie en natation (apprendre à nager pour les non-nageurs, améliorer la technique de nage pour les autres).

3. Améliorer le niveau de formation des éducateurs et moniteurs sportifs dans les clubs nautiques pour faciliter la prise en charge adaptée et sécurisée des personnes porteuses de maladie chronique.

4. Répondre aux obligations de respect du secret médical tout en permettant un échange de données propres au patient, permettant de sécuriser son activité physique.

2.2. Méthodologie : préparation de l'environnement

Compte tenu de la logique de l'appel d'offre, le programme a été conçu d'abord à destination des patients participant à ce projet, et donc plus dans une démarche de service que dans une logique scientifique de production de la connaissance, ce qui se traduit dans les méthodes mises en œuvre ainsi que dans les choix d'allocation des ressources.

2.2.1. Activités

Après recrutement de la chargée de mission et finalisation des partenariats, nous avons développé plusieurs outils de communication. Par exemple, nous avons élaboré la charte du programme visant à formaliser les rapports entre le comité régional de natation promoteur du programme et les associations qui accueillaient les participants contre rémunération.

41 Compte tenu de l'orientation du projet et du protocole (sans groupe contrôle), nous savions *a priori* ne pas être en mesure de mettre en évidence avec confiance le lien causal entre la pratique et l'amélioration de la qualité de vie si il devait y en avoir une.

Nous avons mis en place une annexe au certificat médical de non contre-indication à la pratique des activités du programme. Cet outil de liaison a été conçu pour répondre au double objectif de faciliter la transmission des items de sécurité du participant et respecter le secret médical. Ce document était complété par le médecin traitant au cours d'une consultation aux frais du patient.

Parallèlement à la constitution du programme, les modalités d'évaluation ont été définies. Nous nous sommes focalisés sur l'évaluation des résultats, plus précisément sur l'efficacité du programme et sa capacité à remplir l'objectif principal. Pour répondre à la question de l'éventuelle amélioration de la qualité de vie des patients avec la pratique, le choix des principaux critères de jugement a été arrêté sur la qualité de vie et les comportements d'activité physique. En termes de santé publique, il s'agissait d'une évaluation sommative, c'est-à-dire celle que l'on porte à la fin d'une séquence d'apprentissages ou d'un programme pour documenter son éventuel échec ou sa réussite. Scientifiquement, cela s'est traduit par le test de l'hypothèse selon laquelle ce type d'intervention modifie la qualité de vie et les comportements d'activité physique des participants porteurs de maladie(s) chronique(s).

En ce qui nous concerne, une attention moins importante a été portée à l'évaluation du processus. Ce processus d'analyse qualitative et/ou quantitative consiste à interroger l'adéquation des différentes activités du programme aux principes et valeurs en santé publique, et à mettre en évidence d'éventuelles améliorations possibles dans la mise en œuvre. En effet, celle-ci avait été initialement confiée à nos partenaires du pôle Guadeloupe du centre d'investigation clinique – épidémiologie clinique Antilles-Guyane, (équipe INSERM 802). Nous tout au long de la étant un projet parmi d'autres sélectionnés par un appel à projets avec ses objectifs propres, plus larges, des outils d'évaluation (carnet de bord, fiches) nous ont aussi été confiés par le ministère de la Santé et des Sports, financeur majeur du programme. L'équipe en place s'est difficilement appropriée ces documents qui ont été certes remplis, mais dont l'exploitation est entravée par le caractère général.

De plus, nous avons mis en place des sessions de formation courte à destination des éducateurs sportifs, dont l'objectif principal était la familiarisation aux contraintes de l'intervention en santé publique et aux outils de communication et d'évaluation.

2.2.2. Critère de jugement : qualité de vie

La qualité de vie est désormais admise comme une cible importante dans les interventions en santé publique. Elle est définie par l'OMS comme *"la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lesquels il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. Il s'agit d'un large champ conceptuel, englobant de manière complexe la santé physique de la personne, son état psychologique, son niveau d'indépendance, ses relations sociales, ses croyances personnelles et sa relation avec les spécificités de son environnement"* (WHO, 1993). C'est un enjeu majeur, certes dans les sciences et pratiques médicales, mais aussi en sciences économiques et politiques. Dans le cas des maladies chroniques, il s'agit d'en quantifier le coût pour les personnes, en s'appuyant délibérément sur leur subjectivité et en considérant que cela correspond à la réalité perçue par elles, en plus du coût sociétal en termes de mobilisation du système de soin, de consommation médicamenteuse, de pertes de productivité. Ceci nécessite l'existence d'indicateurs largement utilisés et validés.

Des recherches ont été mises en œuvre autour de l'optimisation de ce type d'indicateurs. Il y a une vingtaine d'années, l'OMS a pu proposer un outil générique et transculturel destiné à rendre compte des différentes dimensions de la qualité de vie en lien avec la santé (WHO, 1993). Sa version longue composée de 100 items et intitulée WHOQOL-100 a été développée avec des données recueillies simultanément à divers endroits du monde (Power *et al.*, 1995). Elle vise à appréhender les différentes facettes de la qualité de vie de manière fiable et valide (WHO, 1996a), qualités qui ont été éprouvées dans les différents centres. Cependant, ce questionnaire demeure relativement long et peut s'avérer surdimensionné dans certains contextes. Aussi, une version alternative a été développée et validée. Elle est également proposée dans plusieurs langues, dont le français, et est accompagnée d'un guide de passation et de calcul des scores (WHO, 1996b). Ses qualités psychométriques ont été largement testées (WHO, 1998). Elle est plus courte et focalisée uniquement sur 4 dimensions de la qualité de vie, à savoir la santé physique, la santé psychologique, les relations sociales, et l'environnement.

Cet instrument, contrairement au questionnaire SF-36 également très diffusé, présente l'agrément d'être gratuit et d'avoir été largement utilisé ce qui

facilite l'interprétation. On peut également ajouter l'avantage que représente l'existence de normes (Baumann *et al.*, 2010) dans la population française sur 3 des 4 dimensions captées par le questionnaire, bien que le manque d'étude sur les populations antillaises soit handicapant.

2.2.3. Critère de jugement : comportements d'activité physique

La question de la quantification et de la qualification des comportements d'activité physique a été abordée dans la partie 2. Nous avons insisté sur la nécessité de les mesurer à chaque fois que possible. Compte tenu de la nature du projet, le confort d'utilisation des participants était prioritaire et il nous semblait important de chercher à minimiser la contrainte pour eux. Aussi, nous nous sommes orientés vers l'utilisation de questionnaires. C'est l'option prise généralement dans ce type de projets, qui sont parfois même évalués uniquement. Par exemple le large programme Brésilien de prévention primaire mis en œuvre dans la ville de Recife consistait à ouvrir des créneaux d'activité physique avec des éducateurs sportifs dans des lieux publics. Après plusieurs mois de fonctionnement, l'évaluation a consisté à enquêter avec l'IPAQ auprès de la population générale de la ville pour identifier 1) les facteurs associés à la participation au programme, et 2) le lien entre la participation au programme et l'engagement dans des activités de loisirs d'intensité modérée à élevée (Simoes *et al.*, 2009).

Nous avons choisi la version courte de l'IPAQ (questionnaire international d'activité physique). Cet instrument comporte 7 questions relatives à la fréquence et la durée d'activité physique toutes sources confondues (le loisir, le transport, la vie domestique, etc) dans des catégories d'intensités différentes, pendant la semaine qui vient de s'écouler. A partir de l'estimation de la fréquence hebdomadaire et de la durée journalière passée dans des activités correspondant à 3 niveaux différents d'intensité, le système de notation permet le calcul d'un score global (en METs.minutes/semaine ⁴²) qui correspond à une dépense énergétique hebdomadaire. Un algorithme permet de caractériser plus largement le profil de pratique et d'allouer une catégorie d'IPAQ (niveau de participation d'activité physique bas, modéré, ou élevé) à chaque participant.

En plus des questions sur la participation à des activités d'intensité

42 Les MET.minutes étant le produit d'une intensité par une durée, ils reflètent une charge totale.

vigoureuse, modérée et la marche, un septième item relatif à l'estimation du temps passé assis dans une journée est intégré dans l'IPAQ. Il vient documenter la facette relative à la sédentarité des comportements d'activité physique.

Le système de notation est entièrement balisé (IPAQ committee, 1995), de sorte que les traductions utilisées ont été validées et que les conditions de passation et les modalités de calcul sont clairement établies après expérimentations sur leurs principales propriétés (reproductibilité, période de rappel) (Craig *et al.*, 2003).

2.3. Méthodologie : recrutement et intervention

2.3.1. Critères d'inclusion et de non-inclusion

De façon à maximiser l'équité quant à l'accès au programme, aucun critère d'inclusion relatif à la pathologie n'a été posé. C'est le médecin au cours de la visite médicale qui nous confirmait la présence d'au moins une maladie chronique chez le patient. Les seuls critères d'inclusion étaient relatifs à l'âge (> 50 ans), à la catégorie d'activité physique (seules les personnes avec un mode de vie sédentaire ou intermédiaire selon l'IPAQ étaient éligibles, et à la sécurité de la pratique au regard de la condition médicale des patients (un certificat de non contre-indication à la pratique des activités du programme devait être fourni). De manière plus informelle, les patients devaient souhaiter apprendre à nager ou à progresser en natation, et être prêts à expérimenter une autre activité nautique comme la voile ou le kayak.

2.3.2. Recrutement et éthique

Il était explicitement mentionné dans l'appel à projets que le recrutement devait se faire hors structures de soins et de prise en charge (type réseaux de santé), de façon à ce que les projets ne se substituent pas à des parcours qui devraient exister et de sorte que ces projets s'inscrivent dans une réalité sociétale générale, plus qu'à une réalité médicale. L'idée était vraisemblablement de capter les citoyens, également patients, plus que des personnes confinées à leur statut de malade.

Toujours dans un souci d'équité, nous avons choisi de communiquer par l'intermédiaire de l'association de patients partenaire, et *via* 2 médias locaux (1 radio et 1 journal) extrêmement présents en Guadeloupe et ce *a priori* dans toutes les classes sociales y compris les plus défavorisées. Des informations de base

concernant l'existence du programme y ont été délivrées, et ce à chacune des 5 phases de recrutement. Les personnes intéressées étaient invitées à appeler un numéro de téléphone. Au cours de cet entretien téléphonique, la chargée d'étude répondait à leurs questions, en se concentrant sur la communication des principes fondamentaux du programme, l'évaluation de l'éligibilité et l'étude de la faisabilité (transport, emploi du temps). Les personnes intéressées étaient conviées à une première rencontre en groupe, sur le lieu escompté de la pratique dans le programme. Le programme était de nouveau présenté, et les échanges étaient encouragés. La chargée d'étude présentait les responsabilités des différents acteurs : les obligations de moyens, de sécurité, de qualité, et d'évaluation qui s'imposaient au programme, et l'engagement qui était attendu des participants. Les documents de transmission étaient présentés, à savoir le carnet d'entraînement (outil abandonné rapidement compte tenu de l'échec de cette démarche), la charte, les questionnaires, et le certificat médical et son annexe. Les participants devaient apporter ce document complété par leur médecin traitant au cours d'une consultation médicale à leur charge, lors de la première séance de pratique.

Plusieurs informations étaient communiquées et étaient l'objet de discussions, comme la possibilité de participer avec un proche, leurs droits en matière de loi informatique et liberté (informations sur l'anonymisation et l'accès aux données, droits à rectification, suppression, modification des données collectées, personnes responsables). Les données rendues anonymes étaient collectées avec l'autorisation de la personne pratiquant l'activité physique et ont été colligées dans un fichier informatisé géré par le centre de méthodologie et data-management partenaire, après déclaration à la CNIL. Le protocole a été soumis pour conseil au Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer III. Ce dernier a considéré l'étude comme observationnelle, non-interventionnelle et n'entrant pas dans son champ de compétence.

2.4. Résultats et discussion

2.4.1. Les participants et la participation

Les hommes comme les femmes étaient invités à participer, mais, conformément aux observations antérieures sur ce type d'intervention orientée sur la santé, ce sont les femmes (140 sur les 160 patients) qui se sont montrées les plus promptes à répondre. Conformément aux attentes ministérielles sur ce projet, il avait été prévu que les participants soient invités à participer au programme avec l'un de leurs proches, opportunité qu'ils ont très peu utilisée. En effet, seuls 39 patients sur les 160 ont choisi de venir avec un proche, soit un total de 199 participants. Une synthèse schématique du design et du flux des participants est proposée ([Figure 9](#)).

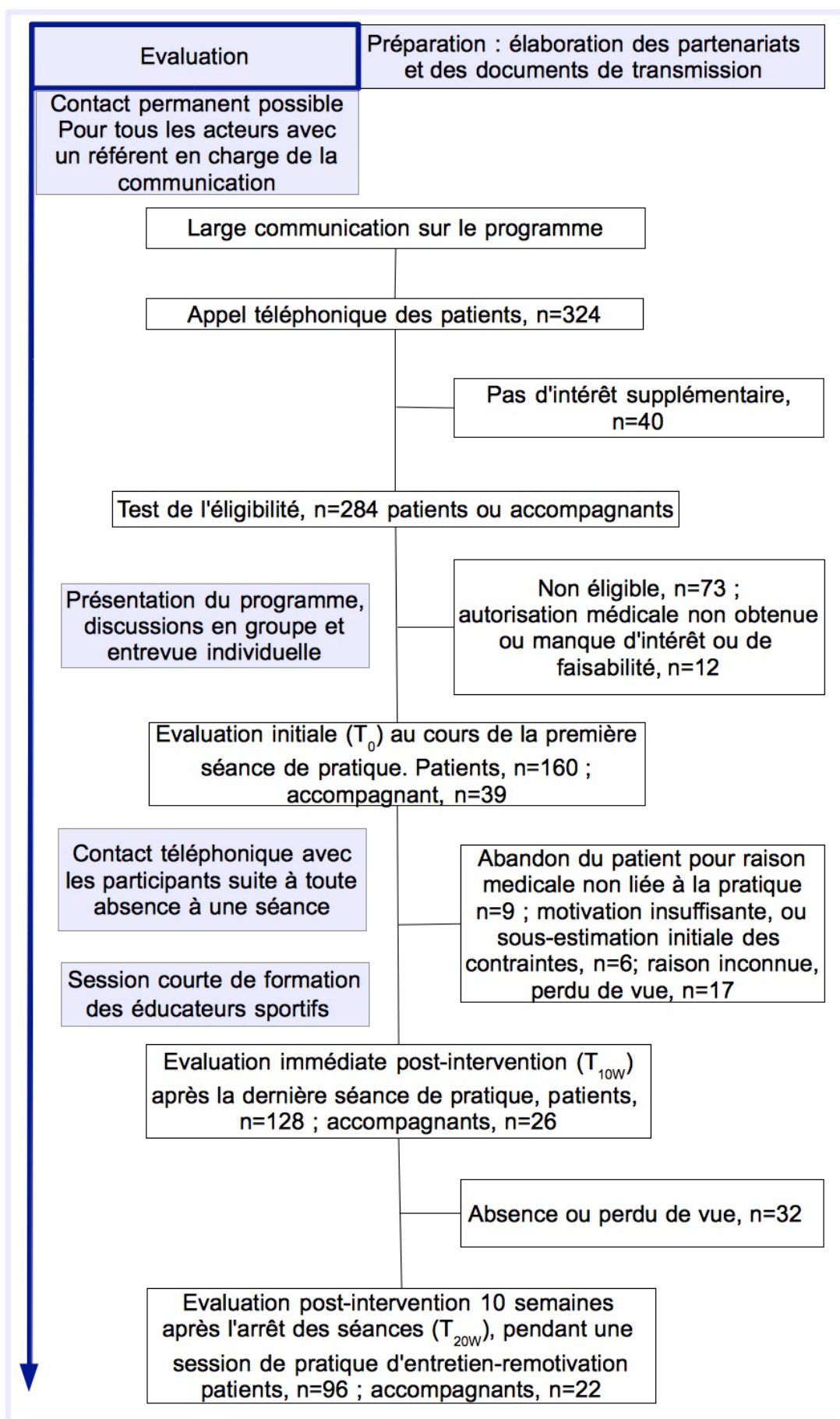


Figure 9. Design et flux des participants dans Tous à l'eau.

2.4.2. Qualité de vie

La qualité de vie agrège des dimensions dont on sait qu'elles sont favorablement influencées par la pratique régulière d'activités physiques. Le raisonnement conduit donc à postuler son association avec les comportements d'activité physique. Les données expérimentales valident cette déduction, sans pour autant que la nature de cette association ni l'influence des différents déterminants ne soit complètement connue.

Dans les études transversales, il apparaît que les personnes les plus actives présentent des scores de qualité de vie pour le domaine physique et mental supérieur à leurs pairs moins actifs. Ceci est rapporté dans plusieurs études avec des participants d'âges différents. Ainsi, dans une étude en population générale portant sur 175 850 adultes, la probabilité de présenter une longue période pendant laquelle les participants rapportent une mauvaise santé était inversement associée au suivi des recommandations en matière d'activité physique (Brown *et al.*, 2004). L'étude des données de l'étude française SU.VI.MAX a permis de mettre en évidence dans les analyses multivariées l'association entre l'atteinte des recommandations d'activité physique⁴³ et la plupart des 8 dimensions de la qualité de vie évaluées : les scores étaient systématiquement plus élevés chez les adultes les plus actifs. Chez des personnes plus âgées, une association de la même nature a été rapportée (Brown *et al.*, 2004 ; Hörder *et al.*, 2012). Cette association a également été identifiée dans des populations d'adultes diabétiques (Maddigan *et al.*, 2005 ; Smith *et al.*, 2005). Conformément à ces résultats, parmi toutes les activités (loisirs, communication, socialisation...) de cette population, les activités physiques sont arrivées au premier rang en matière d'association avec le score au WHOQOL-BREF dans une étude sur des seniors Japonais (Sewo-Sampaio *et al.*, 2012). Les interprétations possibles sont nombreuses. Il est très crédible que les personnes dont l'état de santé physique et/ou psychologique est effectivement mauvais, à plus forte raison quand leur environnement physique et social est défavorable, aient une perception assez correcte de leurs limitations et relatent pratiquer peu, en conséquence des freins dont ils sont porteurs ou victimes. Ce phénomène peut être accru quand les personnes surestiment leurs limitations, de sorte que les moins actifs sont également ceux qui rapportent avoir la moins bonne qualité de vie en relation avec leur santé. Une interprétation du lien dans l'autre sens n'est pas non plus à exclure. Il s'agirait de considérer que grâce à la pratique, les

⁴³ définies comme au moins l'équivalent de 150 minutes par semaine d'activité d'intensité modérée dans des activités de loisirs

personnes améliorent plus ou moins directement leur qualité de vie.

Les études longitudinales, sans complètement répondre à la question de la causalité, éclairent la discussion. Dans l'étude Néerlandaise MORGEN, les variations de pratique physique de loisir et de qualité de vie ont pu être suivies à 5 ans d'écart chez des adultes initialement sains. Dans l'analyse multivariée, la variation positive d'une heure d'activité physique par semaine d'intensité au moins modérée apparaît associée chez les hommes et les femmes à l'augmentation de la participation sociale. Chez les hommes, cette variation est aussi associée à la douleur, à la perception générale de la santé et au score de la composante santé physique (Wendel-Vos *et al.*, 2004). La revue systématique de la littérature confirme la relation positive entre la participation à des activités physiques et la qualité de vie (Bize *et al.*, 2007). D'autres études longitudinales rapportent des résultats du même ordre. L'association proche entre l'augmentation spontanée d'activité physique pendant le suivi, et l'amélioration simultanée de la santé physique (Pisinger *et al.*, 2009) ou de la vitalité (Tessier *et al.*, 2007) est mise en évidence.

En ce qui concerne les programmes d'entraînement ou de promotion de l'activité physique, les résultats sont divers. Dans Tous à l'eau, aucune variation significative de qualité de vie n'a été observée chez les patients entre les différents moments de mesure, et ce quelle que soit la dimension considérée (Figure 10 ; analyse avec un plan à mesures répétées mis en œuvre sous SPSS 20.0). Les indicateurs utilisés ont une sensibilité considérée comme acceptable, et le nombre de participants de notre programme est relativement conséquent. Aussi, dans ce contexte où la puissance est discutable⁴⁴, mais pas critique, l'absence d'effet est tout de même informative. On a tendance à penser que les éventuels bénéfices physiques et psychologiques de Tous à l'eau n'ont pas été suffisants dans la durée du programme pour être effectifs et/ou être perçus par les patients. De même, l'impact d'une participation sociale accrue avec l'accès aux séances de pratique n'affecte pas, ou pas suffisamment la vie des patients pour que cela se traduise par une modification du score attendu de qualité de vie.

⁴⁴ La taille de l'échantillon avait été calculée par rapport à des contraintes matérielles et financières, le but du programme étant avant de créer de la connaissance, de servir la population.

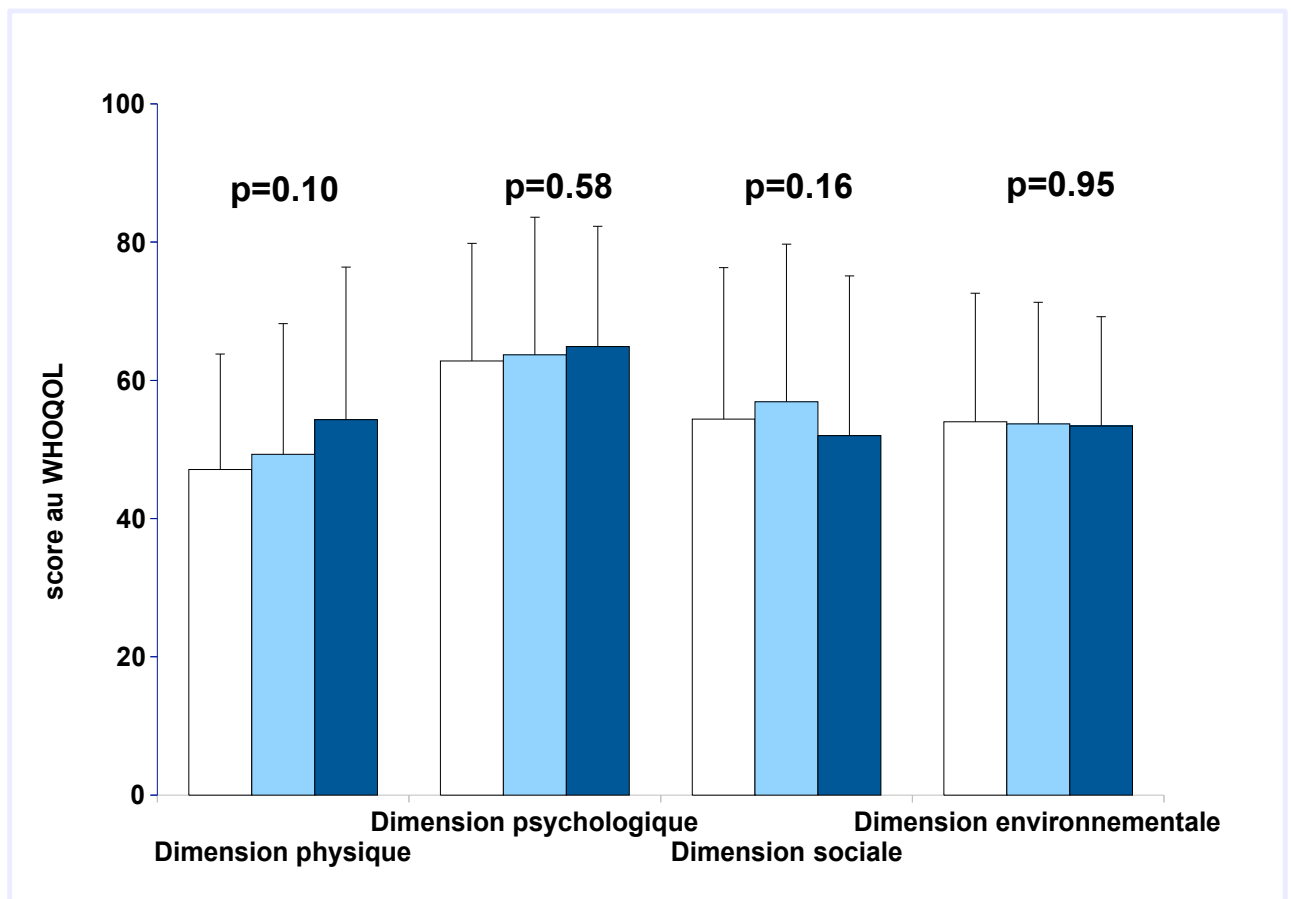


Figure 10. Evolution du score de qualité de vie dans les différentes dimensions, entre l'évaluation initiale (□: T0), l'évaluation immédiatement à la fin des 10 semaines d'accès facilité à la pratique (■: T10W), et l'évaluation différée à la fin de la période de suivi de 10 semaines après la dernière séance de pratique (■: T20W).

Dans les études antérieures où l'évolution de la qualité de vie au cours de prise en charges spécifiques ou de la participation à des programmes de promotion de la santé montrent des résultats divers. Ainsi, un essai randomisé a été mené au Brésil sur des seniors avec allocation aléatoire à un groupe contrôle, ou à un groupe d'intervention avec la participation pendant 12 semaines à 2 séances hebdomadaires de 50 minutes d'activités modérées variées. Bien que l'analyse des données ne corresponde pas à celle que l'on rencontre habituellement, on comprend que l'amélioration de plusieurs des dimensions de la qualité de vie appréhendées peut être attribuée à la participation aux séances d'activité physique puisqu'elle ne se produit pas dans le groupe contrôle (Figueira *et al.*, 2012). Cependant, notre programme n'est pas le seul basé sur l'activité physique à ne pas être accompagné d'amélioration significative de la qualité de vie (Schuring *et al.*, 2009). Par exemple, dans un essai randomisé sur des femmes ayant subi un cancer du sein, aucun effet groupe n'a été identifié sur la qualité de vie, en revanche, tous

groupes confondus, l'augmentation de l'activité physique était significativement associée à une amélioration de la qualité de vie (Saarto *et al.*, 2012). Les caractéristiques des participants de ces études sont certes assez éloignées de celles des nôtres, mais la diversité qui vient d'être rapidement rapportée présente cependant une cohérence. L'ensemble de ces résultats suggère une relation dose-effet, ou un effet de seuil entre l'amélioration éventuelle de la qualité de vie et la charge totale (liée à l'intensité, à la durée et à la fréquence des pratiques). Dans une étude conduite sur des patients diabétiques aléatoirement alloués soit à un groupe contrôle, soit à un groupe de réentraînement à l'effort supervisé, cette relation effet-dose est mise en évidence par rapport à la composante santé mentale de la qualité de vie, alors qu'un effet de seuil (à 1050 METs.min par semaine) était mis en évidence pour la dimension santé physique (Nicolucci *et al.*, 2012). Par conséquent, il semble que la charge de notre programme n'ait pas été suffisante pour générer des variations significatives de la qualité de vie. Ce résultat est à prendre en compte pour la pérennisation du programme et nous devons à l'avenir viser des variations plus grandes de l'activité physique pour avoir une chance de voir évoluer significativement et positivement la qualité de vie.

2.4.3. Les comportements d'activité physique

Le principal enjeu de ce programme était de donner les moyens aux patients participant de modifier favorablement leurs comportements d'activité physique. L'analyse n'a pas porté sur les accompagnants, dont certains étaient aussi porteurs de maladie chronique. Nous avons mis en évidence au cours du programme une progression de (valeur médiane [1er quartile ; 3ème quartile]) 446 [0 ; 809] METs.minutes par semaine à l'entrée dans le programme à 876 [480 ; 1335], puis à 765 [240 ; 1485] METs.minutes par semaine respectivement à la fin des 10 semaines d'accès facilité à la pratique et encore après 10 semaines supplémentaires (Figure 11). Selon les résultats de l'analyse de variance non paramétrique de Friedman, cette augmentation est significative ($n = 77$; $\chi^2 = 41,2$; 2 ddl ; $p < 0,001$). Le temps assis a lui augmenté de 222 ± 107 minutes par jour, à 231 ± 142 puis 283 ± 144 minutes par jour (analyse de variance pour mesures répétées ; $n = 48$; $D = 5,0$; $p = 0,015$ après ajustement de Greenhouse-Geisser).

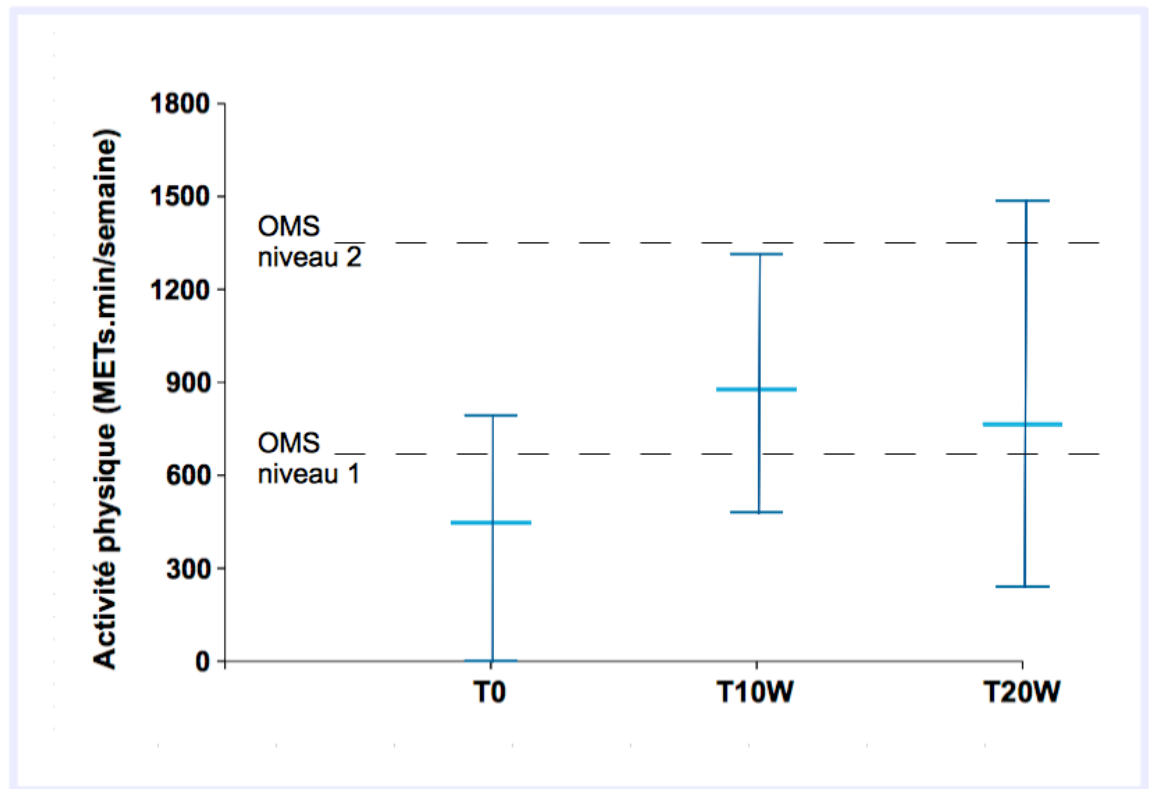


Figure 11. Evolution de l'activité physique (en MET.minutes.semaine⁻¹) entre l'évaluation initiale (T0), l'évaluation immédiatement à la fin des 10 semaines d'accès facilité à la pratique (T10W), et l'évaluation différée à la fin de la période de suivi de 10 semaines après la dernière séance de pratique (T20W). — : médiane ; — : premier et troisième quartiles.

Nous avons fixé parmi les critères d'inclusion la nécessité d'avoir un mode de vie sédentaire ou modérément actif selon l'IPAQ, de sorte que le niveau de base en quantité d'activité physique est très bas, avec une médiane très inférieure au premier seuil de recommandations de l'OMS. La distribution de l'activité physique est toutefois compatible avec les données de la littérature des études sur des populations plutôt âgées et présentant une ou des maladies chroniques, à part des exceptions difficilement compréhensibles puisque des valeurs moyennes proches de 2500 METs.minutes par semaine ont été rapportées chez des diabétiques de type 2 (Mynarski *et al.*, 2012).

Concernant l'évolution au cours du programme, l'augmentation est significative. La proportion de patients qui atteignent 1050 METs.min par semaine, seuil au delà duquel un impact sur la qualité de vie est observé selon Nicolucci *et al.* (2012), est extrêmement faible et ne permet pas de valider cet effet

de seuil. Cependant, elle est de⁴⁵ 480 [240 ; 711] METs.min par semaine à la fin de la prise en charge, et de 198 [0 ; 594] METs.min par semaine 10 semaines plus tard. On ne parvient pas toujours à effectuer de comparaison compte tenu des méthodologies différentes (Gudlaugsson *et al.*, 2012), mais une fois mise en perspective avec les résultats existants, l'augmentation d'activité physique au cours du programme Tous à l'eau semble assez satisfaisante.

Certains programmes de promotion de l'activité physique, ou de promotion de modes de vie sains, sont considérés comme légers, dans le sens où ils sont extrêmement compatibles avec les modes de vie habituels des participants, en général avec des coûts plutôt faibles et une action communautaire, ou un suivi à distance avec quelques réunions ponctuelles pendant les quelques semaines ou mois de suivi. Dans ce cas, les variations observées pendant la durée du programme sont de l'ordre de 200 à 300 METs.minutes par semaine. C'est le cas chez des diabétiques de type 2 participant à un programme de promotion de la marche qui augmentent leur pratique de 61 minutes de marche hebdomadaire⁴⁶(Gibson *et al.*, 2012) chez des participants à un programme de prévention ou secondaire⁴⁷(Mai *et al.*, 2009), ou de personnes âgées enrôlées dans des programmes de santé communautaire dont la moyenne quotidienne augmente de près de 800 pas⁴⁸ (Wellman *et al.*, 2007 ; Tudor-Locke *et al.*, 2011c). Sporadiquement, et sur des études plus courtes ce qui ne doit pas être un hasard, une méta-analyse devrait être conduite pour le vérifier, des variations bien plus amples sont rapportées, de plus de 1000 MET.minutes par semaine par exemple (Tudor-Locke *et al.*, 2001 ; Araiza *et al.*, 2006 ; Trinh *et al.*, 2012).

Habituellement, des programmes de prévention primaire portant sur des populations plus jeunes sont requis pour parvenir à des variations plus amples (Baker *et al.*, 2008)⁴⁹. Si l'on s'intéresse aux patients porteurs de maladie(s) chronique(s), ce sont des programmes plus contraignants pour les patients et mobilisant plus de moyens logistiques qui sont nécessaires pour de tels résultats.

45 La valeur donnée ici est la médiane [1er quartile ; 3ème quartile] des différences individuelles.

46 L'activité marche étant cotée à 3,3 METS dans l'IPAQ (outil utilisé dans l'étude en question) une approximation de la moyenne de l'augmentation est $3,3 \times 61 = 198$ METs.minutes par semaine.

47 Dans cette étude, selon les groupes, les variations au cours des 12 mois de suivi vont de 12 à 42 METs.minutes.jour⁻¹, soit de $7 \times 12 = 84$ à $7 \times 42 = 294$ METs.minutes.semaine⁻¹.

48 Pour le calcul, on utilise une cadence comprise entre 50 et 80 pas par minute (sachant que la valeur habituellement observée pour les adultes plus jeunes est de 100 pas par minute), et 3,3 METs pour l'équivalence de la marche, soit de $7 \times 3,3 \times 800 / 80 =$

231 METs.minutes.semaine⁻¹ à $7 \times 3,3 \times 800 / 50 = 369,6$ METs.minutes.semaine⁻¹.

49 Dans cette étude, la variation dans le groupe d'intervention est de 3175 pas par jour, soit avec une cadence de 100 pas par minute et 3,3 pour l'équivalence de la marche $7 \times 3,3 \times 3175 / 100 = 733$ METs.minutes.semaine⁻¹.

Ainsi, les programmes de réhabilitation cardio-vasculaire ou dédiés aux patients avec le DT2 les amènent à suivre les recommandations spécifiques et à introduire les composantes facultatives, à savoir pour le DT2 (pour le collège américain de médecine du sport et l'association américaine du diabète : [Colberg et al., 2010](#)) : au moins 150 METs.minutes par semaine d'activité à dominante aérobie d'intensité modérée à vigoureuse réalisées en 3 séances hebdomadaire minimum (mais pas 2 jours consécutifs pour les parties à dominante aérobie), auxquelles il faut ajouter 2 ou 3 séances hebdomadaires d'entraînement d'intensité modérée à vigoureuse en résistance, tout en essayant d'augmenter l'activité physique totale dans la vie quotidienne (hors entraînement structuré), soit des variations escomptées de l'ordre de 1000 METs.minutes par semaine. Nous avons identifié peu d'études dans lesquelles l'évolution d'une ou plusieurs composantes de l'activité physique était mesurée à différents moments du programme, et sur des participants assez comparables à ceux de Tous à l'eau, La plus marquante est certainement celle réalisée sur des femmes saines post-ménopausées. Elles ont augmenté de près de 900 METs.minutes par semaine⁵⁰ leur activité avec la participation à un programme comprenant 2 sessions de pratique physique supervisée par semaine pendant un an, variation qui n'était plus que de 430 METs.minutes par semaine⁵¹ 1 an après la fin de la prise en charge ([Hertogh et al., 2010](#)). Ces données sont cohérentes avec celles que nous rapportons, bien qu'elles soient supérieures en amplitude conformément à l'intensité supérieure des activités qui ont été utilisées, et bien que notre programme n'ait pas pu durer aussi longtemps.

2.5. Limites, conclusions et perspectives

2.5.1. Limites et conclusions

On peut s'interroger sur la représentativité des 77 patients qui ont rempli les questionnaires à 3 reprises par rapport aux autres. Par définition, il n'est pas possible de la vérifier complètement. Nous avons cependant comparé la proportion hommes-femmes, l'âge des participants, les scores de qualité de vie et d'activité physique à T0 entre les patients qui ont participé aux évaluations à T10W et T20W et ceux qui n'ont pas complété les questionnaires à ces temps, et n'avons pas pu mettre en évidence de différence.

50 Elles passaient en moyenne de 4,9 à 19,8 METs.heures.semaine⁻¹, soit $(19,8 - 4,9) \times 60 = 894$ METs.minutes.semaine⁻¹.

51 Le niveau moyen du groupe subissant l'intervention était de 7,2 METs.heures.semaine⁻¹ un an après la fin de la prise en charge, soit une variation par rapport au niveau initial de $(7,2 - 4,9) \times 60 = 432$ METs.minutes.semaine⁻¹.

L'absence de groupe contrôle limite aussi la portée de notre étude, et nous ne pouvons pas garantir que l'ensemble de la variation d'activité physique observée est attribuable à la participation au programme. On ne peut pas exclure non plus que la perception des questions et la manière d'y répondre n'aient pas été affectées, phénomène régulièrement décrit comme l'effet Hawthorne. Cependant, si ces effets avaient été massifs, ils auraient dû se manifester sur l'activité physique, mais aussi sur les scores de qualité de vie. Or, nous n'avons pas mis en évidence d'effet significatif sur la qualité de vie, ce qui indirectement renforce donc la crédibilité de notre observation sur l'activité physique.

2.5.2. Perspectives

Dès la préparation, nous avons envisagé de travailler sur la pérennisation éventuelle de ce programme. Nous avons désormais des partenaires financiers locaux qui vont nous permettre d'assurer une prolongation de quelques mois du programme. Concernant le moyen et le long terme, la survie du programme et la capitalisation de l'expertise collectivement accumulée au cours de cette première phase dépendent vraisemblablement de notre capacité à responsabiliser les acteurs locaux, participants compris. Les actions de santé publique basées sur des dynamiques communautaires ont fait preuve de leur efficacité, souvent associée à un rapport coût-efficacité satisfaisant, surtout quand le long terme est considéré. L'efficacité de l'intervention sur les modes de vie par cette voie a été démontrée (Gellert *et al.*, 2010). Nous aurons début 2013 où la seconde phase sera enclenchée à nous désapproprier ce projet en vérifiant la responsabilisation de chacun. Il s'agira aussi de veiller à ce que la nécessaire diminution des ressources allouées à l'évaluation soit compatible avec le maintien de certains principes de fonctionnement comme l'équité.

Quant à la nécessité de faire partager notre expérience, la diffusion de nos résultats vers la communauté sportive et médicale nationale a été réalisée, notamment *via* la restitution aux financeurs (le rapport national de l'appel à projets devrait être disponible prochainement). La communauté scientifique devrait elle pouvoir être informée au cours de l'année 2013 (article soumis).

3. ACT : un projet de réentraînement à l'effort de patients à risque cardiovasculaire modéré ou élevé

3.1. Contexte

Les pathologies cardiovasculaires dont les AVC constituent des problèmes majeurs de santé du fait de leur gravité et de leur fréquence élevées. Les Antilles françaises n'échappent pas à l'observation réalisée à l'échelle mondiale selon laquelle ces pathologies sont des causes majeures de mortalité précoce et de morbidité (Gaziano *et al.*, 2005). Par exemple, l'indice comparatif de mortalité pour les AVC, à l'origine de la majorité des incapacités et décès des adultes jeunes, rend compte d'une surmortalité importante chez les antillais comparativement à la France métropolitaine (Smadja *et al.*, 2001, Observatoire régional de la santé de Guadeloupe, 2009). De manière non surprenante, de nombreux facteurs de risque de ces pathologies sont également très présents dans ces régions. C'est le cas par exemple du diabète avec une prévalence de 7,3% en Guadeloupe, et 6,8% en Martinique (Kusnik-Joinville *et al.*, 2008). La prévalence de l'hypertension en Guadeloupe est documentée, et concerne entre 28 et 40 % des hommes et 19 à 32 % des femmes (Atallah *et al.*, 2008), et bien que la proportion d'hypertendus ait certainement diminué de manière importante ces dernières années, le contrôle de l'hypertension demeure insuffisant (Chausson *et al.*, 2010).

Ces pathologies partagent avec d'autres maladies chroniques une caractéristique primordiale en termes de santé publique : une large fraction du risque est attribuable à des facteurs modifiables, à savoir les comportements alimentaires et d'activité physique, et l'usage du tabac (WHO, 2003), qui sont donc des cibles primordiales d'intervention en santé publique désignées par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2002a et 2002b ; WHO, 2006). Comme les interactions entre ces facteurs et le patrimoine génétique (et les facteurs épigénétiques) des individus sont complexes, le risque de développer ces pathologies cardiovasculaires est étudié par l'intermédiaire de facteurs de risque comme cela a été développé dans la partie 2. Dans le contexte du projet, on étudie les variables associées à une probabilité accrue de survenue de l'issue sanitaire négative considérée à savoir le décès d'origine cardio ou cérébrovasculaire, ou la survenue de pathologie ou évènement cardio ou cérébrovasculaire non fatal. Certes, les facteurs de risque diffèrent partiellement en fonction des évènements spécifiques considérés comme issue (par exemple, la pression artérielle est bien plus associée au risque d'AVC ou d'insuffisance cardiaque congestive que de

maladie coronarienne), mais beaucoup sont communs, de sorte que la prise en charge du risque doit être appréhendée de manière globale (WHO, 2002 ; Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé, 2004). Le projet présenté ici a été retenu pour financement en appel à projet interrégional avec une collaboration entre le centre hospitalier universitaire de Pointe-à-Pitre et celui de Fort-de-France, le centre d'investigation clinique – épidémiologie clinique Antilles-Guyane (équipe INSERM 802), et le laboratoire ACTES.

3.2. Objectifs et hypothèses

Des objectifs ont été définis pour le projet principal. Ils sont présentés ci-dessous. Cependant, nous envisageons un certain nombre d'études ancillaires qui nécessiteront des analyses spécifiques, sans que cela n'affecte l'organisation générale du projet.

Objectif principal :

1. Identifier les variables prédictives de la variation pré-post prise en charge de la VOP chez des patients sédentaires à risque cardiovasculaire moyen ou élevé, soumis ou non à un réentraînement à l'effort.

Hypothèse principale : parmi les patients à risque cardiovasculaire modéré ou élevé, les répondeurs (définis par une diminution de la VOP de 1 m/s au réentraînement à l'effort) peuvent être identifiés avec une sensibilité et une spécificité satisfaisantes à partir de variables caractérisant leur état de santé (pathologie et facteurs de risque identifiés) et à partir de la réponse à l'exercice aigu (facteurs limitants, puissance maximale aérobie, seuil ventilatoire, variation de VOP liée à l'exercice aigu, variation de la balance autonome). Le préalable (qu'il faudra éprouver statistiquement comme hypothèse principale) est que le réentraînement à l'effort diminue significativement la VOP de repos, comparativement à un groupe contrôle.

Nous allons chercher à déterminer si une partie de la variation liée à l'adaptation à l'exercice chronique est expliquée par des caractéristiques de réponse à l'exercice aigu réalisé en début de prise en charge repose. Cette idée repose sur le principe que les adaptations au réentraînement à l'effort sont associées aux stimuli de la répétition d'exercices aigus suivis d'une période de récupération. La mise à l'épreuve de cette approche nous semble informative quoi qu'il advienne. Si le lien est démontré, nous disposons des pistes pour optimiser

l'orientation des patients vers la prise en charge par le réentraînement à l'effort, ou d'autres types de prise en charge. S'il ne l'est pas, cela signifie que les mécanismes d'adaptation au réentraînement sont indépendants de ceux qui déterminent l'adaptation à l'exercice aigu, ce qui est éclairant.

Objectifs secondaires :

2. Comparer la VOP de repos et sa variation liée à l'exercice aigu chez des patients ayant subi un AVC ischémique à celles de sujets contrôles appariés sur les autres risques cardiovasculaires.

Hypothèse : la réduction de la VOP sous l'effet de l'exercice aigu, observée chez les patients n'ayant pas présenté d'AVC et traduisant une amélioration de la compliance aortique, ne se produit pas chez les patients ayant présenté un AVC.

3. Comparer la variation de $\dot{V}O_{2PIC}$ du début à la fin du réentraînement à l'effort en fonction de la nature (cardiaque ou non) du facteur initialement limitant $\dot{V}O_{2PIC}$.

Hypothèse : à $\dot{V}O_{2PIC}$ initiale équivalente, les patients présentant une limitation cardiaque ont une augmentation de $\dot{V}O_{2PIC}$ moindre que les patients limités pour des raisons musculaires ou ventilatoires pour lesquelles les adaptations rapides au cours de l'entraînement permettent une charge de travail plus importante.

3.3. Schéma de la recherche

Il s'agit d'une recherche biomédicale interventionnelle, hors produits de santé. L'étude est expérimentale, comparative, randomisée, prospective, multicentrique et interrégionale. Elle cherche à éprouver la supériorité de la prise en charge incluant le réentraînement à l'effort (groupe réentraînement) sur la prise en charge traditionnelle sans réentraînement à l'effort (groupe contrôle), avec évaluation des critères de jugement en aveugle.

Une représentation schématique du recrutement et de l'affectation aux différents groupes est proposée dans la figure 12.

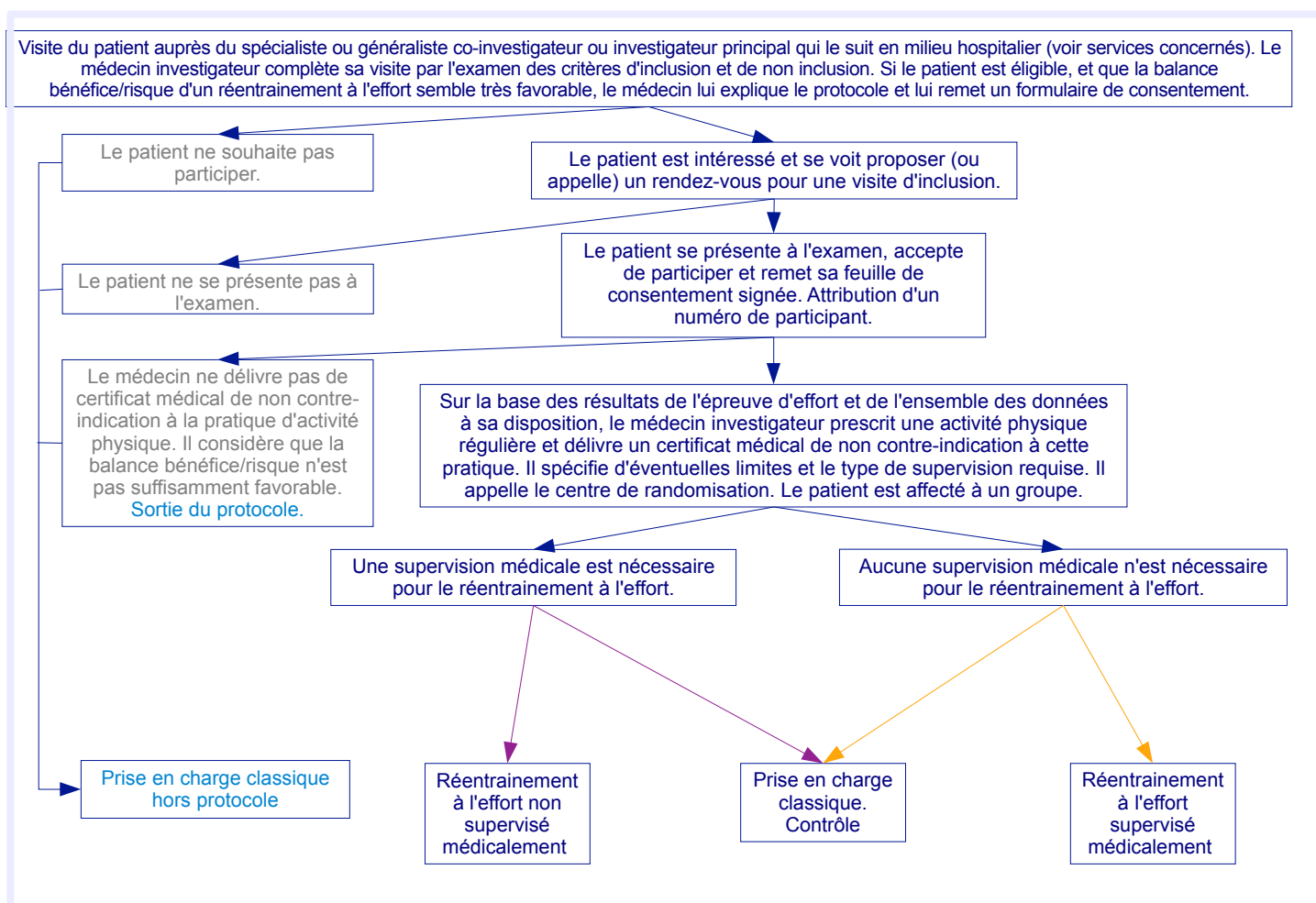


Figure 12. Recrutement et affectation des patients dans le projet ACT.

3.4. Critères d'inclusion et de non-inclusion

L'échantillon d'étude inclut des patients à risque cardiovasculaire modéré ou élevé, certains ayant déjà présenté un événement et d'autres pas. La principale justification est que ces patients relèvent du même type de prise en charge par l'activité physique bien qu'ils diffèrent sur le niveau de surveillance médicale requise pendant le réentraînement. Le fait que les patients inclus soient sédentaires est donc primordial dans une étude où l'intervention porte sur l'augmentation du niveau d'activité physique.

Concernant l'évaluation du risque cardiovasculaire, les critères d'inclusion sont liés au fait d'avoir présenté un événement et de ne pas avoir participé à un programme de réentraînement à l'effort structuré dans la prise en charge, ou de présenter un profil de risque modéré ou élevé selon les critères de la HAS et/ou

selon le score de Framingham. L'approche par score vise à identifier les patients les plus exposés n'a par définition un intérêt restreint qu'à l'approche en prévention primaire, les patients ayant présenté un événement étant nécessairement à haut ou très haut risque. Le score de Framingham présente une certaine supériorité vis à vis d'autres scores issus de suivis de cohorte. Il n'est cependant pas sans limites (Bitton *et al.*, 2010). Ses inconvénients sont la non considération de certains facteurs de risque (comme le périmètre abdominal ou la sédentarité), son adaptation à la population nord-américaine de référence du projet Framingham. Ses avantages majeurs sont sa capacité à apprécier la mortalité et la morbidité cardiovasculaire reconnue depuis plusieurs années (American Heart Association, 1973), et son principe de calcul qui repose sur des valeurs continues de sorte que l'effet de seuil est peu ou pas présent. Les variables retenues dans le modèle de 2008 utilisé pour calculer le score à 10 ans de Framingham sont l'âge du patient, le genre, le statut de fumeur dans la dernière année, la pression artérielle systolique, les concentrations en cholestérol total, HDL cholestérol. Ce choix implique un prélèvement sanguin préalablement à la prise en charge. Nous y ajouterons une mesure de glycémie à jeûn, d'insulinémie et du profil lipidique qui permettront de vérifier les critères d'inclusion. L'albuminurie sera dosée si aucun résultat récent n'est disponible, pour également vérifier la possibilité d'inclure le patient. Le fondement même de la prise en charge par réentraînement est une attente d'amélioration de ces paramètres, de sorte que pour vérifier les effets de l'intervention, et de manière compatible avec les recommandations de suivi des patients concernés par cette étude, cet examen sera reproduit en fin de prise en charge.

La présence de diabète, comme celle de maladie cardiaque quelle qu'elle soit n'est pas incorporée puisque ce sont des patients à risques élevés, chez qui le calcul d'un score n'apporte pas d'information supplémentaire.

CRITERES D'INCLUSION (Si 1 ou plusieurs réponses **NON** parmi les 8 premières lignes, le patient est non éligible)

Patient âgé de 50 à 69 ans (date de l'examen de pré-inclusion)

Etat clinique stable sur le plan cardio-vasculaire, hémodynamique, et neurologique, et traitement équilibré (anti-hypertenseurs, anti-coagulants ou anti-agrégants, anti-diabétiques oraux si nécessaire)

Patient capable de comprendre les instructions et l'intérêt du réentraînement

Affiliation à un régime de sécurité sociale

Résidence en Martinique ou en Guadeloupe

Patient capable et volontaire pour participer à une intervention par l'exercice

Patient capable et volontaire pour délivrer un consentement éclairé

Risque cardio ou cérébro-vasculaire modéré ou élevé selon les critères suivants :

Accident vasculaire cérébral ischémique plus de 2 mois avant la visite de pré inclusion sans déficit hémiparétique résiduel, ou avec déficit de la marche hémiparétique résiduel modéré et dont l'état clinique est considéré comme stable sur le plan cardiovasculaire, hémodynamique et neurologique suite à la réadaptation

ET/OU épisode coronarien plus de 3 mois avant la visite de pré inclusion

ET/OU artériopathie oblitérante des membres inférieurs

ET/OU diabète de type 2 stable ou contrôlé quel que soit le délai depuis son identification

ET/OU antécédent de maladie coronaire avérée (angor, revascularisation, IDM symptomatique ou silencieux documenté)

ET/OU antécédents de maladie vasculaire avérée (AVC ischémique, artériopathie périphérique à partir du stade II)

CRITERES DE NON-INCLUSION Si 1 ou plusieurs réponses **OUI**, le patient n'est pas inclus)

Femme avec ménopause en cours

Diabète non contrôlé

Hypertension artérielle sévère non contrôlée

Perte de poids de plus de 5% depuis les 3 derniers mois

Séquelles lourdes d'AVC (marche continue au moins 10 mètres impossible, autonomie très limitée)

Modification des traitements envisagée dans les semaines à venir

Hypertension artérielle pulmonaire > 60 mmHg

Anémie sévère

Thrombophlébite profonde récente

Angor instable

Insuffisance cardiaque décompensée

Arythmie non contrôlée, arythmie ventriculaire complexe

Infarctus du myocarde de moins de 4 semaines

Obstacle à l'éjection ventriculaire (rétrécissement aortique serré symptomatique, cardiomyopathie obstructive)

Thrombus intraventriculaire gauche récent

Péricardite évolutive

Sténose de la valve aortique significative (> 60 mm Hg)

Bloc auriculoventriculaire, second ou 3^{ème} degré

Fibrillation auriculaire
Plaques carotidiennes instables identifiées
Transplantation cardiaque
Port d'un stimulateur cardiaque
Néphropathie identifiée
Insuffisance rénale sévère (clearance < 30mL)
Transplantation rénale
Maladie infectieuse évolutive
Participation en cours à un essai clinique
Non-observance identifiée au traitement
Addiction identifiée qui compromettrait l'observance du protocole
Pathologie ou trouble neuromusculaire, musculosquelettique ou articulaire exacerbée par l'exercice
Toute autre contre-indication à l'épreuve d'effort
Tout autre problème physique, mental ou médical susceptible de limiter la capacité du patient à effectuer une épreuve d'effort ou participer à un réentraînement dans des conditions satisfaisantes de sécurité
Toute limitation mentale qui pourrait questionner la capacité à fournir un consentement éclairé

Table 9. Critères d'éligibilité dans le projet ACT.

3.5. Recrutement, éthique et aspects règlementaires

Le promoteur et les investigateurs se sont engagés à ce que cette recherche soit réalisée en conformité avec la loi n°2004-806 du 9 août 2004, ainsi qu'en accord avec les bonnes pratiques cliniques (ICH version 4 du 1^{er} mai 1996 et décision du 24 novembre 2006) et la déclaration d'Helsinki (Principes éthiques applicables aux recherches médicales sur des sujets humains, Séoul 2008). Les avis des comités et autorités *ad hoc* ont été sollicités et obtenus. L'ensemble des enregistrements requis ont été réalisés. Le recueil et le traitement informatisé des données comme l'ensemble de la gestion des données se font dans le respect de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés modifiée par la loi 2004-801 du 6 août 2004. L'ensemble des procédures relatives à l'information et au consentement des participants, à la gestion des données et des événements indésirables, au contrôle de qualité, aux règles de publications sont consignées dans le document écrit qui a été soumis avec la demande de financement du projet. Un avis favorable a été émis par le comité de protection des personnes Sud-Ouest et Outre-Mer III (numéro d'enregistrement du projet : 2012-A00359-34).

3.6. Critère de jugement principal : la vélocité de l'onde de pouls (VOP)

Le critère de jugement principal retenu est la VOP carotido-fémorale mesurée de manière non-invasive par tonométrie artérielle (SphygmoCor®, AtCor, PWV Medical, Australie), dont la mesure de repos avant l'intervention sera comparée à la mesure de repos après l'intervention de 12 semaines.

La VOP carotido-fémorale est admise comme un bon reflet de la compliance aortique, qualité déterminante dans le maintien d'une post-charge ventriculaire gauche faible et d'un débit coronaire subendocardique suffisant. Au contraire, une augmentation de la rigidité artérielle aortique cause une élévation des pressions systoliques et diastoliques centrales. Elle provoque une augmentation de la post-charge ventriculaire gauche – et diminue la pression de perfusion des artères coronaires. Ces effets augmentent les risques d'AVC, d'insuffisance cardiaque et d'infarctus du myocarde (Laurent *et al.*, 2003 ; Willum-Hansen *et al.*, 2004).

Le principe de la tonométrie transcutanée consiste à aplanir l'artère de telle sorte que la pression exercée par le tonomètre soit suffisamment faible pour ne pas occlure l'artère et pour ne pas modifier la pression intra-artérielle, mais soit suffisamment forte pour égaler la pression exercée par le sang sur la paroi, sans faire intervenir les forces de tension pariétale. On enregistre ainsi la pression intramurale transmise par le capteur en s'affranchissant de la pression extramurale. Le tonomètre comporte à son extrémité un transducteur de pression formé de cristaux piezorésistifs. Selon les endroits choisis pour la mesure, cet indice caractérise la rigidité du ou des troncs artériels observés, ou au contraire leur compliance.

Pour la mesure carotido-fémorale, le tonomètre est utilisé pour recueillir l'onde de pouls au niveau proximal (carotide commune, sous-angulo-mandibulaire ou sus-claviculaire) puis distal (fémorale commune au niveau inguinal), du côté droit par convention, selon des principes décrits (Asmar *et al.*, 1995). De manière complémentaire, certains auteurs mesurent la VOP carotido-radiale pour caractériser la rigidité artérielle périphérique. Le tracé ECG est utilisé pour synchroniser les 2 ondes virtuellement sur le même battement et identifier le temps de transit virtuel de l'onde de pouls entre les 2 sites de mesure dont on mesure la distance en ligne droite par une règle plate. L'onde de pouls se déplaçant d'autant plus rapidement que les vaisseaux qu'elle emprunte sont rigides, la VOP

augmente proportionnellement avec la rigidité.

Sa fiabilité et faisabilité sont suffisantes pour que les Sociétés Européennes d'hypertension et de cardiologie recommandent depuis 2007 et suite à des avis concertés d'experts (Laurent *et al.*, 2006) la VOP pour la mesure de la rigidité artérielle et l'estimation du risque de morbidité et de mortalité cardiovasculaire chez les patients hypertendus, et/ou présentant d'autres facteurs de risque (Mancia *et al.*, 2007). La qualité de la mesure est assurée par une calibration et un contrôle de la qualité du signal adéquats. Sur la base de principes physiologiques largement démontrés, on postule que les valeurs de pressions sont inchangées entre l'artère carotide et l'artère brachiale et on mesure la pression artérielle moyenne par tonométrie à la carotide et par sphygmomanomètre automatique au niveau huméral. Le contrôle de qualité repose sur la relative stabilité battement à battement des caractéristiques de la courbe (amplitude moyenne, front de montée et valeurs de pression systolique et diastolique).

L'hétérogénéité des pratiques et des outils utilisés limite encore l'incorporation systématique de la tonométrie d'aplanation dans les pratiques médicales. Cependant, des seuils et valeurs de référence sont désormais disponibles ce qui facilite l'interprétation des résultats. Ainsi, le seuil de 12 m/s, correspondant au 95^{ème} percentile à 70 ans mesuré avec le SphygmoCor® (Shiburi *et al.*, 2006) a été proposé par les sociétés européennes d'hypertension et de cardiologie pour l'identification des patients à dysfonction aortique (Mancia *et al.*, 2007), alors que le seuil de risque cardiovasculaire avec une autre technique de mesure a été proposé à 10 m.s⁻¹ (Nakano *et al.*, 2001). Des valeurs de référence sont disponibles chez les sujets âgés (Alecu *et al.*, 2008). Elles ont été publiées par un neurologue qui sera investigateur principal en Guadeloupe sur ce projet. Dans un groupe de sujets sains d'âge moyen de 66±4 ans constitué de 95 hommes et 111 femmes, la VOP carotido-fémorale moyenne était de 8,7 ± 2,3 m.s⁻¹. Dans un groupe de 249 patients hypertendus diabétiques d'âge comparable, la VOP aortique moyenne (significativement différente du groupe de sujets sains) était de 10,2 ± 2,5 m.s⁻¹.

En ce qui concerne les estimations de moyenne et variabilité attendue sur la variation liée à l'exercice aigu et au réentraînement à l'effort, les données sont plus rares. La mesure de VOP se réalise généralement en situation de repos puisque l'exercice est plutôt considéré comme un biais. Peu d'études des effets à court

terme de l'exercice aigu sur la compliance artérielle ont été réalisées. De plus, les résultats sont peu concordants et aucune à notre connaissance ne porte sur des personnes de la tranche d'âge cible de notre projet. Concernant la fenêtre temporelle dans laquelle la variation la plus importante de VOP suite à l'exercice se manifeste, on s'attend plutôt à ce que les variations soient les plus amples dès l'arrêt de l'exercice et s'estompent à son décours (Tordi *et al.*, 2010). Cependant, la mesure se réalise en position allongée. Or, il convient pour des raisons de sécurité de ne pas accentuer les effets du frein vagal physiologique post-exercice en allongeant les sujets juste après l'effort. Il s'agit de ne pas exposer les participants au malaise vagal. Aussi, la procédure retenue intègre une période de récupération active pendant 2 minutes, puis passive sur l'ergomètre avec suivi du retour à la normale des variables hémodynamiques. L'effet du réentraînement sur la VOP est plus consensuel, ce qui justifie partiellement son choix comme critère de jugement principal dans cette étude.

3.7. Procédure à l'étude : réentraînement à l'effort

La HAS a défini clairement la place du réentraînement à l'effort dans la stratégie thérapeutique des patients ayant présenté un événement cardiaque ou vasculaire. Ainsi, les séances de réentraînement cardiaque et/ou vasculaire sont codifiées dans la classification commune des actes médicaux et référencées (par exemple "*séance de réentraînement cardiaque et/ou vasculaire progressif à l'effort sur machine*", "*séance de réentraînement cardiaque et/ou vasculaire progressif à l'effort sur machine, à la réalisation de tâches de la vie quotidienne et à l'activité sportive collective*", Ministère de la santé et des sports, 2010). En revanche, la prise en charge par l'activité physique du risque cardiovasculaire en prévention primaire hors structures spécialisées est moins bien balisée dans les textes de lois, mais les recommandations scientifiques du contenu sont détaillées et solidement argumentées (Pollock *et al.*, 1998 ; Nelson *et al.*, 2007). Il faut entre 3 et 5 séances par semaine. Pour le protocole, 3 séances hebdomadaires encadrées sont prévues, à laquelle s'ajoute une séance que le patient doit réaliser par lui-même selon un programme défini.

3.8. Organisation générale

Plusieurs documents de transmission et de consignes ont été élaborés pour que le schéma suivant soit respecté.

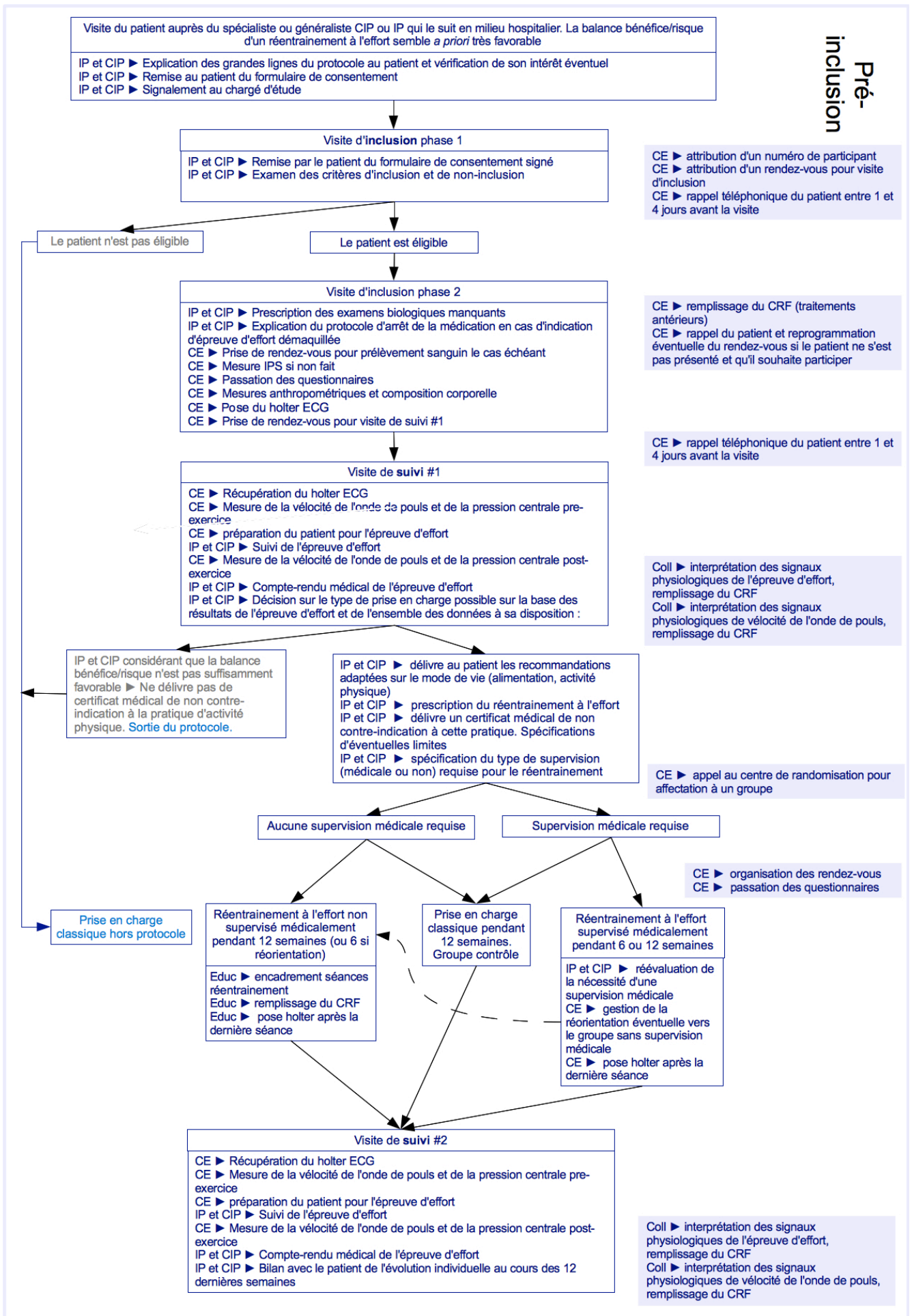


Figure 13. Organisation générale autour du parcours patient dans le projet ACT. IP : investigateur principal, CIP : co-investigateur principal, CE : chargé d'étude, Coll : collaborateurs scientifiques, Educ : éducateur sportif, CRF : cahier d'observation (case report form).

3.9. Résultats attendus

Le résultat principal attendu est un modèle prédictif de l'appartenance à la catégorie des répondeurs, élaboré à partir d'une liste de variables dont le poids et la significativité auront été déterminés. Sa validité externe devra être éprouvée au cours d'un projet ultérieur.

Si l'hypothèse de travail s'avérait vérifiée, des pistes seraient ouvertes pour mettre en oeuvre une réelle complémentarité des prises en charge médicamenteuse et comportementale sur la base des caractéristiques des patients. En effet, des patients dont on attend une faible diminution de la VOP par la prise en charge par l'activité physique testée ici auraient certainement besoin d'une charge d'entraînement plus importante, ou différente, pour diminuer de manière conséquente leur risque cardiovasculaire, et devraient donc s'exposer à des risques accrus. Par ailleurs, les autres bénéfices qu'ils pourraient attendre de la prise en charge par l'activité physique (en termes de qualité de vie par exemple) pourraient certainement être obtenus par une intervention moins coûteuse qu'un réentraînement à l'effort encadré. Au contraire, les patients pour lesquels un bénéfice important est attendu disposeraient d'une source de motivation supplémentaire leur permettant potentiellement d'accepter plus facilement l'effort requis. Dans l'ensemble, l'identification des déterminants de la variabilité interindividuelle dans la réponse au réentraînement doit permettre l'optimisation des modalités de prise en charge vers lesquelles sont orientées les patients.

Propos conclusif

Pour clore ce document, rappelons que nous avons proposé une synthèse d'une sélection d'activités scientifiques. Cette sélection a été opérée par rapport à la cohérence autour de la démarche de promotion de l'activité physique, puisque c'est le secteur qui nous a le plus mobilisée et dans lequel nous avons réellement procédé à un apprentissage et à une maturation au cours de ces 10 dernières années. De manière inattendue, les compétences techniques assez pointues qui ont été à la base de notre apprentissage de chercheur ont été utilisées de manière ponctuelle et dans des collaborations portées par des collègues.

Après l'éventuelle obtention de cette habilitation à diriger des recherches, la prochaine étape consiste à mieux articuler les versants "physiologie de l'exercice" et "santé publique-maîtrise des concepts et des outils statistiques". Nous pensons devoir conserver le lien direct avec le laboratoire en menant ponctuellement les expérimentations, mais devoir surtout nous engager résolument dans l'encadrement de doctorants. Cet encadrement répond à une logique de transmission. Nous souhaitons contribuer à dynamiser encore le laboratoire ACTES et il nous semble cohérent dans ce contexte de chercher à continuer notre formation scientifique, d'aspirer à partager l'expérience et l'expertise acquises avec l'équipe et les populations concernées par les études, et ce tout en augmentant la qualité et la quantité de nos productions. La thématique de la régulation de la balance énergétique en environnement tropical est celle que allons investir prioritairement. Elle appelle une approche par l'épidémiologie, et des interventions sur le terrain au service des populations. Elle nécessite aussi un traitement par la physiologie de l'exercice, et sur ce versant, nous pourrions potentialiser l'expertise du laboratoire, notamment dans le projet d'étude de l'influence de la thermorégulation sur les interactions entre comportements alimentaires et d'activité physique.

Bibliographie

- Aadahl M, Kjaer M, Jørgensen T. Influence of time spent on TV viewing and vigorous intensity physical activity on cardiovascular biomarkers. The Inter 99 study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2007;14:660-5
- ACCORD. The Action to Control Cardiovascular Risk in Diabetes Study Group, Gerstein HC, Miller ME, Byington RP, Goff DC Jr, Bigger JT. Effects of intensive glucose lowering in type 2 diabetes. *N Engl J Med* 2008;358:2545-59
- Adams MA, Caparosa S, Thompson S, *et al.* Translating Physical Activity Recommendations for Overweight Adolescents to Steps Per Day. *Am J Prev Med* 2009;37: 137-40
- Addo OY, Himes JH. Reference curves for triceps and subscapular skinfold thicknesses in US children and adolescents. *Am J Clin Nutr* 2010;91:635-42
- Adelaïde-Merlande J. Documents d'histoire antillaise et guyanaise, 1814-1914, Karthala (réédition), 1986
- AFSSAPS. Traitement médicamenteux du diabète de type 2, recommandation de bonne pratique, 2006
- Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES). Méthodes d'évaluation du risque cardio-vasculaire global. Service Évaluation en Santé Publique. 2004
- Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, *et al.* Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:71-80
- Ainsworth BE, Macera CA, Jones DA, *et al.* Comparison of the 2001 BRFSS and the IPAQ physical activity questionnaires. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1584-92
- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, *et al.* 2011 Compendium of physical activities. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1575-81. Annexe en ligne : <https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/> ; consulté le 15 décembre 2012
- Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, *et al.* Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:S498-504
- American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 7th edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2005
- American Heart Association: Committee on Reduction of Risk of Heart and Stroke. Coronary risk handbook: estimating risk of coronary heart disease in daily practice. New York: American Heart Association, 1973
- ANAES. Méthodes d'évaluation du risque cardiovasculaire global, 2004
- Alecu C, Labat C, Kearney-Schwartz A, *et al.* Reference values of aortic pulse wave velocity in the elderly. *J Hypertens* 2008;26:2207-12
- Antoine-Jonville S, Hue O. Cholesterol, statins, and mortality. *Lancet* 2008;371:1163
- Antoine-Jonville S, Sinnapah S, Laviolle B, *et al.* Heterogeneity of dietary profiles in highly sedentary young Guadeloupean women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010;20:401-8
- Antoine-Jonville S, Sinnapah S, Hue O. Relationship between body mass index and body composition in adolescents of Asian Indian origin and their peers. *Eur J Public Health* 2012;22:887-9
- Araiza P, Hewes H, Gashetewa C, *et al.* Efficacy of a pedometer-based physical activity program on parameters of diabetes control in type 2 diabetes mellitus. *Metabolism* 2006; 55:1382-7
- Artero EG, Ruiz JR, Ortega FB, *et al.* Muscular and cardiorespiratory fitness are independently associated with metabolic risk in adolescents: the HELENA study. *Pediatr Diabetes.* 2011 Apr 6. doi: 10.1111/j.1399-5448.2011.00769.x
- Asmar R, Benetos A, Topouchian J, *et al.* Assessment of arterial distensibility by automatic pulse wave velocity measurement. Validation and clinical application studies. *Hypertension* 1995;26:485-90
- Atallah A, Kelly-Irving M, Inamo J, *et al.* Prévalence de l'hypertension artérielle en Guadeloupe : l'enquête CONSANT. *Rev Epid Santé Pub* 2008;56(5S):302
- Baker G, Gray SR, Wright A, *et al.* The effect of a pedometer-based community walking intervention 'Walking for Wellbeing in the West' on physical activity levels and health outcomes: a 12-week randomized controlled trial. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2008;5:44
- Bassett DR Jr. Validity and reliability issues in objective monitoring of physical activity. *Res Q*

- Exerc Sport 2000;71(S2):S30-6
- Baumann C, Erpelding ML, Régat S, *et al.* The WHOQOL-BREF questionnaire: French adult population norms for the physical health, psychological health and social relationship dimensions. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2010;58(1):33-9
- Beauchamp TL, Childress JF. Principles of biomedical ethics. New York : Oxford University Press, 1979
- Bellissimo N, Pencharz PB, Thomas SG, *et al.* Effect of television viewing at mealtime on food intake after a glucose preload in boys. *Pediatr Res* 2007;61:745-9
- Bitton A, Gaziano T. The Framingham heart study's impact on global risk assessment. *Progress in Cardiovascular Dis* 2010;53:68-78
- Bize R, Johnson JA, Plotnikoff RC. Physical activity level and health-related quality of life in the general adult population: A systematic review. *Prev Med* 2007;45:401-15
- Blass EM, Anderson DR, Kirkorian HL, *et al.* On the road to obesity: Television viewing increases intake of high-density foods. *Physiol Behav* 2006;88:597-604
- Black AE, Coward WA, Cole TJ, *et al.* Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labeled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 1996;50:72-92
- Blundell JE, King NA. Physical activity and regulation of food intake: current evidence. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:S573-83
- Blundell JE, Caudwell P, Gibbons C, *et al.* Role of resting metabolic rate and energy expenditure in hunger and appetite control: a new formulation. *Dis Model Mech* 2012;5:608-13
- Boule NG, Haddad E, Kenny GP, *et al.* Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA* 2001;286:1218-27
- Bousser MG. Classification et orientation générales du diagnostic - In : Accidents vasculaires cérébraux, Bogousslavsky J, Bousser MG, Mas JL, p95-103. Doin éditeurs, 1993
- Bozinovski NC, Bellissimo N, Thomas SG, *et al.* The effect of duration of exercise at the ventilation threshold on subjective appetite and short-term food intake in 9 to 14 year old boys and girls. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2009;6:66
- Bradshaw JL. Évolution humaine : une perspective neuropsychologique. De Boeck, 2002
- Bret C, Lacour JR, Bourdin M, *et al.* Differences in lactate exchange and removal abilities between high-level African and Caucasian 400-m track runners. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Dec 27. [Epub ahead of print]
- British Heart Foundation. <http://www.bhf.org.uk/HealthAtWork/getting-active-at-work/active-at-work-challenges/pedometer-challenge.aspx> ; consulté le 20-12-2012
- Brown DW, Brown DR, Heath GW, *et al.* Associations between physical activity dose and health-related quality of life. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:890-6
- Byrne NM, Hills AP, Hunter GR, *et al.* Metabolic equivalent: One size does not fit all. *J Appl Physiol* 2005; 99:1112-9
- Carré F. Exercice physique chronique et remodelage cardiovasculaire. *Sci Sports* 2004;264-6
- Chaput JP, Doucet E, Tremblay A. Obesity: a disease or a biological adaptation? An update. *Obes Rev* 2012;13:681-91
- Chausson N, Olindo S, Cabre P, *et al.* Five-year outcome of a stroke cohort in Martinique, French West Indies: Etude Réalisée en Martinique et Centrée sur l'Incidence des Accidents vasculaires cérébraux, Part 2. *Stroke* 2010;41:594-9
- Choo V. WHO reassesses appropriate body-mass index for Asian populations. *Lancet* 2002;360,235
- Colberg SR, Albright AL, Blissmer BJ, *et al.* Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:2282-303
- Colley RC, Garriguet D, Janssen I, *et al.* Physical activity of Canadian adults: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep* 2011a;22:7-14
- Colley RC, Garriguet D, Janssen I, *et al.* Physical activity of Canadian children and youth: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. *Health Rep* 2011b;22:15-23
- Conférence internationale pour la promotion de la santé. Charte d'Ottawa, 1986. [127](http://sd-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- 1.archivehost.com/membres/up/185855205323779033/Charte_ottawa.pdf ; consulté le 24 juillet 2012
- Corbin CB, Pangrazi RP, Le Masurier GC, *et al.* President's council on physical fitness and sports. Physical activity for children: current patterns and guidelines. Series 5 (2), 2004. <https://www.presidentschallenge.org/informed/digest/docs/200406digest.pdf> ; consulté le 22-12-12
- Costagliola D, Delaunay C, Moutet JP, *et al.* The prevalence of diabetes mellitus in the adult population of Guadeloupe as estimated by history or fasting hyperglycemia. *Diabetes Res Clin Pract.* 1991;12:209-16
- Craig CL, Marshall, AL, Sjostrom, M, *et al.* International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:1381-95
- DCCT: The Diabetes Control and Complications Trial Research Group. The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *N Engl J Med* 1993;329:977-98
- de Lamarck J-B. Philosophie zoologique. Flammarion, Paris, 1994 ; cité par Alcouffe S : http://mip-ms.cnam.fr/servlet/com.univ.collaboratif.utils.LectureFichiergw?ID_FICHER=1295877018066, consulté le 10-12-2012
- De Backer G, Ambrosioni E, Borch-Johnsen K, *et al.* European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Third joint task force of European and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Executive summary. *Eur Heart J* 2003;24:1601-10
- Delpuech A. Migrations amérindiennes dans l'archipel caribéen. *Archéopages* 2007;18:38-43
- Deschamps JP. Une "relecture" de la charte d'Ottawa. *Santé Pub* 2003;15:313-25
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Guricci S. Asians are different from Caucasians and from each other in their body mass index/body fat per cent relationship. *Obes Rev* 2002;3:141-6
- Dowse GK, Zimmet PZ, Gareeboo H, *et al.* Abdominal obesity and physical inactivity as risk factors for NIDDM and impaired glucose tolerance in Indian, Creole, and Chinese Mauritians. *Diabetes Care* 1991;14:271-82
- Dumith SC, Hallal PC, Reis RS, *et al.* Worldwide prevalence of physical inactivity and its association with human development index in 76 countries. *Prev Med* 2011;53:24-8
- Dunstan DW, Barr EL, Healy GN, *et al.* Television viewing time and mortality: the Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle Study (AusDiab). *Circulation* 2010;121:384-91
- Eaton SB, Konner M, Shostak M. Stone agers in the fast lane: chronic degenerative diseases in evolutionary perspective. *Am J Med* 1988;84:739-49
- Eaton CB, McPhillips JB, Gans K, *et al.* Cross-sectional relationship between diet and physical activity in two southeastern New England communities. *Am J Prev Med* 1995;11:238-44
- Ekelund U, Sepp H, Brage S, *et al.* Criterion-related validity of the last 7-day, short form of the International Physical Activity Questionnaire in Swedish adults. *Public Health Nutr* 2006;9:258-65
- Ekelund U, Anderssen SA, Froberg K, *et al.* Independent associations of physical activity and cardiorespiratory fitness with metabolic risk factors in children: the European youth heart study. *Diabetologia* 2007;50:1832-40
- Emmerich J, P, Bruneval P. L'athérosclérose. John Libbey Eurotext, 2000
- Escalon H, Bossard C, Beck F. Baromètre santé nutrition 2008. Saint-Denis, coll. Baromètres santé, 2009
- Fagot-Largeault A. Epidémiologie et causalité – In : L'épidémiologie humaine. Conditions de son développement en France et rôle des mathématiques, coord. Valleron AJ, p239. EDP Sciences, 2006
- Fédération Internationale du Diabète.
http://www.idf.org/sites/default/files/5E_IDFAtlasPoster_2012_FR.pdf ; consulté le 14-01-2013
- Figueira HA, Figueira AA, Cader SA, *et al.* Effects of a physical activity governmental health programme on the quality of life of elderly people. *Scand J Public Health.* 2012;40:418-22
- Fujimoto WY, Boyko EJ, Hayashi T, *et al.* Risk Factors for Type 2 Diabetes: Lessons Learned from Japanese Americans in Seattle. *J Diabetes Investig* 2012;3:212-24
- Frangogiannis NG. The prognostic value of monocyte chemoattractant protein-1/CCL2 in acute

- coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:2125-7
- Fretts AM, Howard BV, Kriska AM, *et al.* Physical activity and incident diabetes in American Indians: the Strong Heart Study. *Am J Epidemiol* 2009;170:632-9
- Fulton-Kehoe D, Hamman RF, Baxter J, *et al.* A case-control study of physical activity and non-insulin dependent diabetes mellitus (NIDDM). The San Luis Valley Diabetes Study. *Ann Epidemiol* 2001;11:320-7
- Gardiner PA, Healy GN, Eakin EG, *et al.* Associations between television viewing time and overall sitting time with the metabolic syndrome in older men and women: the Australian diabetes obesity and lifestyle study. *J Am Geriatr Soc* 2011;59:788-96
- Gaziano TA. Cardiovascular disease in the developing world and its cost-effective management. *Circulation* 2005;112:3547-53
- Gellert KS, Aubert RE, Mikami JS. Ke Àno Ola: Moloka `i's community-based healthy lifestyle modification program. *Am J Public Health* 2010;100:779-83
- Ghanassia E, Brun JF, Mercier J, *et al.* Oxidative mechanisms at rest and during exercise. *Clin Chim Acta* 2007;383:1-20
- Gibson B, Marcus RL, Staggers N, *et al.* Efficacy of a computerized simulation in promoting walking in individuals with diabetes. *J Med Internet Res* 2012;14,e71
- Giroux E. Épidémiologie des facteurs de risque : genèse d'une nouvelle approche de la maladie. Thèse de philosophie. Paris : Panthéon – Sorbonne, 2006
- Goodman KJ, Phillips CV. The Hill criteria of causation - In encyclopedia of statistics in behavioral sciences. Wiley, London, 2005
- Goodman D, Fraga MA, Brodine S, *et al.* Prevalence of diabetes and metabolic syndrome in a migrant mixtec population, baja california, Mexico. *J Immigr Minor Health* 2013;15:93-100
- Grundy SM. Assessment of cardiovascular risk by use of multiple-risk factor assessment equations: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association and the American College of Cardiology. *Circulation* 1999;100:1481-92
- Guderian B, Borreson LA, Sletten LE, *et al.* The cardiovascular and metabolic responses to Wii Fit video game playing in middle-aged and older adults. *J Sports Med Phys Fitness* 2010;50:436-42
- Gudlaugsson J, Gudnason V, Aspelund T, *et al.* Effects of a 6-month multimodal training intervention on retention of functional fitness in older adults: A randomized-controlled cross-over design. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2012;9:107
- Guthold R, Ono T, Strong KL, *et al.* Worldwide Variability in Physical Inactivity. A 51-Country Survey. *Am J Prev Med* 2008;34:486-94
- Hagströmer M, Oja P, Sjöström M. Physical activity and inactivity in an adult population assessed by accelerometry. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1502-8
- Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes* 2007;56:2655Y67
- Haute Autorité de Santé. Guide médecin – affection de longue durée. Accident vasculaire cérébral. 2007a
- Herberg S. Rapport du Programme National Nutrition Santé : “Pour une grande mobilisation nationale de tous les acteurs pour la promotion de la nutrition en France”. Editeur : Ministre de la santé et des solidarités, 2006
- Hertogh EM, Vergouwe Y, Schuit AJ, *et al.* Behavioral changes after a 1-yr exercise program and predictors of maintenance. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:886-92
- Himms-Hagen J. Does Brown Adipose Tissue (BAT) have a role in the physiology or treatment of human obesity? *Rev End Metab Dis* 2001;2:395-401
- Hörder H, Skoog I, Frändin K. Health-related quality of life in relation to walking habits and fitness: a population-based study of 75-year-olds. *Qual Life Res.* 2012 Sep 22. [Epub ahead of print]
- Horton ES. An overview of the assessment and regulation of energy balance in humans. *Am J Clin Nutr* 1983;38:972-7
- Hill AB. Environment and disease: association or causation? *Proc Roy Soc Med* 1965;58:295–300

- Hu FB, Sigal RJ, Rich-Edwards JW, *et al.* Walking compared with vigorous physical activity and risk of type 2 diabetes in women: a prospective study. *JAMA* 1999;282:1433-9
- Hu FB, Stampfer MJ, Colditz GA, *et al.* Physical activity and risk of stroke in women. *JAMA* 2000;283:2961-7
- Hu FB, Li TY, Colditz GA, *et al.* Television watching and other sedentary behaviors in relation to risk of obesity and type 2 diabetes mellitus in women. *JAMA* 2003;289:1785-91
- Hume D. *Traité de la nature humaine*, 1739
- Jenicek M, Cléroux R. *Epidémiologie : principes, techniques, applications*. Maloine, Paris, 1987
- Jourdain Menninger D, Lecocq G, Guedj J. *et al.* Evaluation du programme national nutrition santé PNNS2 2006-2010. Inspection générale des affaires sociales; FRANCE. Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux. Editeur : Inspection générale des affaires sociales, 2010
- Jouven X. *Epidémiologie de la mort subite – In : Cardiologie et maladies vasculaires*. Artigou JY, Société française de cardiologie, Monsuez JJ, p97-99. Elsevier Masson, 2007
- IPAQ committee. *Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)*. 2005. <http://www.ipaq.ki.se/scoring.htm> ; consulté le 24-09-2012
- Ismael-Beigi F, Craven T, Banerji MA *et al.* Effect of intensive treatment of hyperglycaemia on microvascular outcomes in type 2 diabetes: an analysis of the ACCORD randomised trial. *Lancet* 2010;376:419-30
- Joshi R. Metabolic syndrome - Emerging clusters of the Indian phenotype. *J Assoc Physicians India* 2003;51:445-6
- Karter AJ, Schillinger D, Adams AS, *et al.* Elevated Rates of Diabetes in Pacific Islanders and Asian Subgroups: The Diabetes Study of Northern California (DISTANCE). *Diabetes Care*. 2012 Oct 24. [Epub ahead of print]
- Katikireddi SV, Morling JR, Bhopal R. Is there a divergence in time trends in the prevalence of impaired glucose tolerance and diabetes? A systematic review in South Asian populations. *Int J Epidemiol* 2011;40:1542-53
- Kennedy JW, Hirshman MF, Gervino EV, *et al.* Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes. *Diabetes* 1999;48:1192-7
- Kervio G, Pelliccia A, Nagashima J, *et al.* Alterations in echocardiographic and electrocardiographic features in Japanese professional soccer players: comparison to African-Caucasian ethnicities. *Eur J Prev Cardiol*. 2012 May 1. [Epub ahead of print]
- Kesaniemi YK, Danforth E Jr, Jensen MD, *et al.* Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:S351-8
- Krishnaveni GV, Hill JC, Veena SR, *et al.* Truncal adiposity is present at birth and in early childhood in South Indian children. *Indian Pediatr* 2005;42:527-38
- Knechtle B, Enggist A, Jehle T. Energy turnover at the Race Across America (RAAM) - a case report. *Int J Sports Med* 2005;26:499-503
- Kuczmariski RJ, Ogden CL, Grummer-Strawn LM *et al.* CDC growth charts: United States. *Adv Data* 2000; 314: 1-27
- Kusnik-Joinville O, Weill A, Salanave B, *et al.* Prevalence and treatment of diabetes in France: trends between 2000 and 2005. *Diabetes Metab* 2008;34:266-72
- Lamonte MJ, Ainsworth BE. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:S370-8
- LaPorte RE, Montoye HJ, Caspersen CJ. Assessment of physical activity in epidemiologic research: problems and prospects. *Public Health Rep* 1985;100:131-46
- Last JM. *A dictionary of epidemiology*, 4th edition. Oxford University Press, Oxford, 2001
- Laurent S, Katsahian S, Fassot C, *et al.* Aortic stiffness is an independent predictor of fatal stroke in essential hypertension. *Stroke*. 2003;34:1203-6
- Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, *et al.* on behalf of the European Network for Noninvasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J* 2006;27:2588-605
- Laurson KR, Eisenmann JC, Welk GJ, *et al.* Evaluation of youth pedometer-determined physical activity guidelines using receiver operator characteristic curves. *Prev Med* 2008;46:419-24

- Lee IM, Rexrode KM, Cook NR, *et al.* Physical activity and coronary heart disease in women: is "no pain, no gain" passé? *JAMA* 2001;285:1447-54
- Lees SJ, Booth FW. Physical inactivity is a disease. *World Rev Nut Diet* 2005;95:73-9
- Le Masurier GC, Sidman CL, Corbin CB. Accumulating 10,000 steps: does this meet current physical activity guidelines? *Res Q Exerc Sport* 2003;74:389-94
- Lemos JA, Morrow DA, Blazing MA, *et al.* Serial measurement of monocyte chemoattractant protein-1 after acute coronary syndromes. Results from the A to Z Trial. *J Am Coll Cardiol* 2007;50:2117-24
- Leon AS, Sanchez OA. Response of blood lipids to exercise training alone or combined with dietary intervention. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:S502-15
- Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 1999;283:212-4
- Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): Environment and biology. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004;286:E675-85
- Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, *et al.* Interindividual variation in posture allocation: Possible role in human obesity. *Science* 2005;307:584-6
- Li G, Zhang P, Wang J, *et al.* The long-term effect of lifestyle interventions to prevent diabetes in the China Da Qing Diabetes Prevention Study: a 2 year follow-up study. *Lancet* 2008;371:1783-9
- Liebenberg L. The relevance of persistence hunting to human evolution. *J Hum Evol* 2008;6:1156-9
- Lombard C, Deeks A, Jolley D, *et al.* A low intensity, community based lifestyle programme to prevent weight gain in women with young children: Cluster randomised controlled trial. *BMJ* 2010;341:137
- Lombard CB, Deeks AA, Teede HJ. A systematic review of interventions aimed at the prevention of weight gain in adults. *Public Health Nutr* 2009;12:2236-46
- Lusk AC, Mekary RA, Feskanich D, *et al.* Bicycle riding, walking, and weight gain in premenopausal women. *Arch Intern Med* 2010;170:1050-6
- Ma G, Luan D, Li Y, *et al.* Physical activity level and its association with metabolic syndrome among an employed population in China. *Obes Rev* 2008;9:S113-8
- Mackie JL. The cement of the universe: a study of causation. Clarendon Press: Oxford University Press, 1974
- Maddigan SL, Majumdar SR, Johnson JA. Understanding the complex associations between patient-provider relationships, self-care behaviours, and health-related quality of life in type 2 diabetes: a structural equation modeling approach. *Qual Life Res* 2005;14:1489-500
- Manson JE, Greenland P, LaCroix AZ, *et al.* Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *N Engl J Med.* 2002 ;347:716-25
- Mai KS, Sandbaek A, Borch-Johnsen K, *et al.* Are lifestyle changes achieved after participation in a screening programme for Type 2 diabetes? The ADDITION Study, Denmark. *Diabet Med* 2007;24:1121-8
- Mancia G, De Backer G, Dominiczak A, *et al.* 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2007;28:1462-536
- Maron BJ, Poliac LC, Roberts WC. Risk for sudden cardiac death associated with marathon running. *J Am Coll Cardiol* 1996;28:428-31
- Matthews CE, Hebert JR, Ockene IS, *et al.* Relationship between leisure-time physical activity and selected dietary variables in the Worcester Area Trial for counseling in Hyperlipidemia. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:1199-207
- Matthews CE, Jurj AL, Shu XO, *et al.* Influence of exercise, walking, cycling, and overall nonexercise physical activity on mortality in Chinese women. *Am J Epidemiol* 2007;165:1343-50
- Mayer J, Marshall NB, Vitale JJ, *et al.* Exercise, food intake and body weight in normal rats and genetically obese adult mice. *Am J Physiol* 1954;177:544-8
- McKeigue PM, Shah B, Marmot MG. Relation of central obesity and insulin resistance with high diabetes prevalence and cardiovascular risk in South Asians. *Lancet* 1991;337:382-6

- Méjean C, Traissac P, Eymard-Duvernay S, *et al.* Influence of socio-economic and lifestyle factors on overweight and nutrition-related diseases among Tunisian migrants versus non-migrant Tunisians and French. *BMC Public Health* 2007;7:265
- Mekary RA, Feskanich D, Malspeis S, *et al.* Physical activity patterns and prevention of weight gain in premenopausal women. *Int J Obes (Lond)* 2009;33:1039-47
- Mekary RA, Feskanich D, Hu FB, *et al.* Physical activity in relation to long-term weight maintenance after intentional weight loss in premenopausal women. *Obesity (Silver Spring)* 2010;18:167-74
- Melzer K, Kayser B, Saris WHM, *et al.* Effects of physical activity on food intake. *Clin Nutrition* 2005;24:885-95
- Mensink GBM, Loose N, Oomen CM. Physical activity and its association with other lifestyle factors. *Eur J Epidemiol* 1997;13:771-8
- Miniño AM, Xu J, Kochanek KD. Deaths: Preliminary Data for 2008. *National Vital Statistics Reports* 59, 2010
- Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé. Plan National Nutrition Santé 3 (2011-2015). DICOM n° S-11-047, 2011
- Ministère de la santé et des sports. Catalogue des activités de rééducation-réadaptation. Version 3b-2010. Bulletin officiel No 2010/3 bis Fascicule spécial, 2010
- Ministère de la Santé et des Sports. <http://ebookbrowse.com/appel-projets-2009-rect-pdf-d64250634> ; consulté le 20-09-2012
- Misra A, Vikram NK, Arya S, *et al.* High prevalence of insulin resistance in postpubertal Asian Indian children is associated with adverse truncal body fat patterning, abdominal adiposity and excess body fat. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2004;28:1217-26
- Misra A, Nigam P, Hills AP, *et al.* Consensus physical activity guidelines for Asian Indians. *Diabetes Technol Ther* 2012;14(1):83-98
- Miyachi M, Yamamoto K, Ohkawara K, *et al.* METs in adults while playing active video games: A metabolic chamber study. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:1149-53
- Momenan AA, Delshad M, Mirmiran P, *et al.* Leisure Time Physical Activity and Its Determinants among Adults in Tehran: Tehran Lipid and Glucose Study. *Int J Prev Med* 2011;2:243-51
- Mynarski W, Psurek A, Borek Z, *et al.* Declared and real physical activity in patients with type 2 diabetes mellitus as assessed by the International Physical Activity Questionnaire and Caltrac accelerometer monitor: A potential tool for physical activity assessment in patients with type 2 diabetes mellitus. *Diab Res Clin Pract* 2012;98:46-50
- Nakagami T, Qiao Q, Carstensen B, *et al.* Age, body mass index and Type 2 diabetes-associations modified by ethnicity. *Diabetologia* 2003;46:1063-70
- Nakano H, Okazaki K, Ajiro Y, *et al.* Clinical usefulness of measuring pulse wave velocity in predicting cerebrovascular disease: evaluation from a cross-sectional and longitudinal follow-up study. *Nippon Med Sch* 2001;68:490-7
- National Heart Foundation of Australia. <http://www.heartfoundation.org.au/active-living/walking/Pages/welcome.aspx> ; consulté le 20-12-12
- National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents. The fourth report on the diagnosis, evaluation, and treatment of high blood pressure in children and adolescents. *Pediatrics* 2004; 114:555-6
- Neel J. Diabetes mellitus: a "thrifty" genotype rendered detrimental by "progress"? *Am J Hum Genet* 1962;14:353-62
- Nelson ME, Rejeski WJ, Blair SN, *et al.* Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1435-45
- Ng SW, Popkin BM. Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe. *Obes Rev* 2012;13:659-80
- NHLBI. <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/phys/> ; consulté le 26-04-2012
- Noakes TD. The limits of endurance exercise. *Basic Res Cardiol* 2006;101:408-17
- Norton K, Norton L, Sadgrove D. Position statement on physical activity and exercise intensity terminology. *J Sci Med Sport* 2010;13:496-502
- Observatoire régional de la santé de Guadeloupe. Les maladies vasculaires cérébrales en

- Guadeloupe. La Santé observée en Guadeloupe. Fiche 7.3, 2009
- Ogden CL, Kuczmarski RJ, Flegal KM, *et al.* Centers for Disease Control and Prevention 2000 growth charts for the United States: improvements to the 1977 National Center for Health Statistics version. *Pediatrics* 2002;109:45-60
- Omran AR. The epidemiologic transition: a theory of the epidemiology of population change. *Milbank Mem Fund Q* 1971;49:509-38
- Oppert J-M, Bertrais S, Preziosi P, *et al.* Activité et inactivité physique dans un échantillon national d'adultes d'âge moyen : l'étude SU.VI.Max. *Cah Nutr Diét* 2002;37:231
- Oppert J-M, Simon C, Rivière D, *et al.* Activité physique et santé. Arguments scientifiques, pistes pratiques. Ministère de la Santé et des Solidarités – Société Française de Nutrition, 2005
- Oppert J-M, Thomas F, Charles M-A, *et al.* Leisure-time and occupational physical activity in relation to cardiovascular risk factors and eating habits in French adults. *Public Health Nutr* 2006;9:746-54
- Owen N, Healy GN, Matthews CE, *et al.* Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exerc Sport Sci Rev* 2010;38:105-13
- Paffenbarger RS Jr, Hale WE. Work activity and coronary heart mortality. *N Engl J Med* 1975;292:545-50
- Paffenbarger RS Jr, Wing AL, Hyde RT. Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *Am J Epidemiol* 1978;108:161-75
- Paquot N, Tappy L. Les adipocytokines : lien entre obésité, diabète de type 2 et athérosclérose ? *Rev Med Liege* 2005;60:5-6:369-73
- Pate RR, Pratt M, Blair SN, *et al.* Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995;273:402-7
- Pate RR, Trost S, Williams C. Critique of existing guidelines for physical activity in young people. *In* Biddle S, Sallis JF, Cavill NA. Young and active? Young people and health enhancing physical activity. Evidence and implication. London, Health Education Authority, 1998
- Pate RR, O'Neill J, Lobelo F. The evolving definition of 'sedentary'. *Exerc Sport Sci Rev* 2008;36:173-8
- Pereira MA, FitzGerald SJ, Gregg EW, *et al.* A collection of Physical Activity Questionnaires for health-related research. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:S1-205
- Pérotin-Dumonte A. La ville aux îles la ville dans l'île. Basse-Terre et Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, 1650-1820. Karthala, 2000
- Pisinger C, Toft U, Aadahl M, *et al.* The relationship between lifestyle and self-reported health in a general population: the Inter99 study. *Prev Med* 2009;49:418-23
- Pitsavos C, Panagiotakos DB, Lentzas Y, *et al.* Epidemiology of leisure-time physical activity in socio-demographic, lifestyle and psychological characteristics of men and women in Greece: the ATTICA Study. *BMC Public Health* 2005;5:37
- Poitout P, Robertson RP. Glucolipotoxicity: Fuel Excess and β -Cell Dysfunction. *Endocr Rev* 2008;29:351-66
- Pollock ML, Gaesser GA, Butcher JD, *et al.* ACSM Position Stand: The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:975-91
- Popkin BM. Global nutrition dynamics: the world is shifting rapidly toward a diet linked with noncommunicable diseases. *Am J Clin Nutr* 2006;84:289-98
- Porta M, Last JM. *Dictionary of Epidemiology*. Fifth Edition. OUP USA, 2008
- Power M, Harmer A, Bullinger M. The World Health Organisation WHOQOL-100: tests of the universality of Quality of Life in 15 different cultural groups worldwide. *Health Psychol* 1999;18:495-505
- Prakash S, Pathmanathan G. Differences in adult height between well-off north-west Indians and Britains as a product of lower height gain per unit bone maturity advance during the adolescent years. *Ann Hum Biol*.1992;19:125-32
- Pruimboom L. Physical inactivity is a disease synonymous for a non-permissive brain disorder. *Med Hypotheses* 2011;77:708-13
- Raji A, Seely EW, Arky RA, *et al.* Body fat distribution and insulin resistance in healthy Asian

- Indians and Caucasians. *J Clin Endocrinol Metab* 2001;86, 5366–71
- Ramachandran A, Snehalatha C, Shetty AS, *et al.* Trends in prevalence of diabetes in Asian countries. *World J Diabetes* 2012;3:110-7
- Reich D, Patterson N, Campbell D, *et al.* Reconstructing Native American population history. *Nature* 2012;488:370-4
- Rice JM. Physiology and the prevention of disease. *Pop Sci Month* 1892;41:309-13
- Robinson TN. Reducing children's television viewing to prevent obesity: a randomized controlled trial. *JAMA* 1999;282:1561-7
- Robinson TN. Television viewing and childhood obesity. *Pediatr Clin North Am* 2001;48:1017-25
- Rothman KJ. Causes. *Am J Epidemiol* 1976;104:587-92
- Rothman KJ, Greenland S, Lash TL. *Modern Epidemiology*, 3rd edition. Lippincott Williams & Wilkins, 2008
- Roza AM, Shizgal HM. The Harris Benedict equation reevaluated. *Am J Clin Nut* 1984;40:168-82
- Rütten A, Abu-Omar K. Prevalence of physical activity in the European Union. *Soz Präventivmed.* 2004;49:281-9
- Rzewnicki R, Vanden Auweele Y, De Bourdeaudhuij I. Addressing overreporting on the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) telephone survey with a population sample. *Public Health Nutr* 2003;6:299-305
- Saarto T, Penttinen HM, Sievänen H, *et al.* Effectiveness of a 12-month exercise program on physical performance and quality of life of breast cancer survivors. *Anticancer Res* 2012;32:3875-84
- Sacco RL, Gan R, Boden-Albala B, *et al.* Leisure-time physical activity and ischemic stroke risk: the Northern Manhattan Stroke Study. *Stroke* 1998;29:380-7
- Sackett DL, Snow JC. The magnitude of adherence and nonadherence. Haynes RB, Taylor DW, Sackett DL (Eds.), *Compliance in health care*, pp. 11–22. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1979
- Sallis JF, Patrick K. Physical activity guidelines for adolescents: Consensus statement. *Pediatr Exerc Sci* 1994a;6:302-14
- Sallis JF, Patrick K, Long BJ. Overview of the International Consensus Conference on Physical Activity Guidelines for Adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 1994;6:299 – 301
- Salomon JA, Wang H, Freeman MK, *et al.* Healthy life expectancy for 187 countries, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden Disease Study 2010. *Lancet.* 2012;380:2144-62
- Saris WH, Blair SN, van Baak MA, *et al.* How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003;4:101-14
- Schnakenbourg C. Histoire de l'industrie sucrière en Guadeloupe aux XIXe et XXe siècles: Tome 2 : la transition post-esclavagiste, 1848-1883. L'Harmattan, 2007
- Schnohr P, Scharling H, Jensen JS. Intensity versus duration of walking, impact on mortality: the Copenhagen City Heart Study. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2007;14:72-8
- Schuring M, Burdorf A, Voorham AJ, *et al.* Effectiveness of a health promotion programme for long-term unemployed subjects with health problems: a randomised controlled trial. *J Epidemiol Community Health* 2009;63:893-99
- Seale P. Transcriptional control of brown adipocyte development and thermogenesis. *Int J Obes* 2010;34:S17-22
- Sesso HD, Paffenbarger Jr RS, Lee I-M. Physical activity and coronary heart disease in men: The Harvard Alumni Health Study. *Circulation* 2000;102:975-80
- Sewo Sampaio PY, Ito E. Activities with higher influence on quality of life in older adults in Japan. *Occup Ther Int.* 2012 Jun 15. doi: 10.1002/oti.1333. [Epub ahead of print]
- Singhal N, Misra A, Shah P. Secular trends in obesity, regional adiposity and metabolic parameters among Asian Indian adolescents in north India: a comparative data analysis of two selective samples 5 years apart (2003, 2008). *Ann Nutr Metab* 2010;56:176-81
- Sirard JR, Pate RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med* 2001;31:439-54
- Sjöström L. A review of weight maintenance and weight changes in relation to energy metabolism and body composition. In: J Hirsch, BT Van Itallie (eds). *Recent Advances in Obesity*

- Research: IV*. John Libbey and Company Limited: London; 1983
- Shetty P. Public health: India's diabetes time bomb. *Nature*.2012;485:S14-6
- Shiburi CP, Staessen JA, Maseko M, *et al*. Reference values for SphygmoCor measurements in South Africans of African ancestry. *Am J Hypertens* 2006;19:40-6
- Simoes EJ, Hallal P, Pratt M, *et al*. Effects of a Community-Based, Professionally Supervised Intervention on Physical Activity Levels Among Residents of Recife, Brazil. *Am J Public Health* 2009;99:68–75
- Sinnapah S, Antoine-Jonville S, Hue O. Asian Indian adolescents from Guadeloupe are fatter than their island counterparts. *Br J Nutr* 2009a;102:1820-7
- Sinnapah S, Antoine-Jonville S, Hue O. Is the leisure-time physical activity of Asian Indian Guadeloupean adolescents different from that of their island counterparts? *Ethn Health* 2009b;14:303-14
- Sinnapah S, Antoine-Jonville S, Donnet JP, *et al*. Asian Indians of Guadeloupe are less physically active than their island counterparts. *Scand J Med Sci Sports* 2009;19:222-7
- Smadja D, Cabre P, May F, *et al*. ERMANCIA Study Group. ERMANCIA: Epidemiology of Stroke in Martinique, French West Indies: Part I: methodology, incidence, and 30-day case fatality rate. *Stroke* 2001;32:2741-7
- Smith DW, McFall SL. The relationship of diet and exercise for weight control and the quality of life gap associated with diabetes. *J Psychosom Res* 2005;59:385-92
- Susser MW. Glossary: causality in public health science. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:376–8
- Tessier S, Vuillemin A, Bertrais S, *et al*. Association between leisure-time physical activity and health-related quality of life changes over time. *Prev Med* 2007;44:202-8
- Thompson PD, Funk EJ, Carleton RA, *et al*. Incidence of death during jogging in Rhode Island from through 1980. *JAMA* 1982;247:2535–8
- Tremblay A, Doucet E. Obesity. A disease or a biological adaptation? *Obes Rev* 2000;1:27-35
- Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, *et al*. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 2008;40:181-8
- Tudor-Locke C. A preliminary study to determine instrument responsiveness to change with a walking program: physical activity logs versus pedometers. *Res Q Exerc Sport* 2001;72:288-92
- Tudor-Locke C, Bassett Jr D. How Many Steps/Day Are Enough? Preliminary Pedometer Indices for Public Health. *Sports Med* 2004a;34:1-8
- Tudor-Locke C, Pangrazi RP, Corbin CB. BMI-referenced standards for recommended pedometer-determined steps/day in children. *Prev Med* 2004b;38:857-64
- Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ. How many steps/day are enough? For adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2011a;8:79
- Tudor-Locke C, Leonardi C, Johnson WD. Accelerometer steps/day translation of moderate-to-vigorous activity. *Prev Med* 2011b;53:31-3
- Tudor-Locke C, Craig CL, Aoyagi Y. How many steps/day are enough? For older adults and special populations. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2011c;8:80
- United Kingdom National Health Services.
<http://www.nhs.uk/Livewell/loseweight/Pages/10000stepschallenge.aspx> ; consulté le 20-12-2012
- United States Department of Health and Human Services, U.S. Department of Agriculture. Dietary guidelines for Americans, 2005. 6th edition. Washington DC: U.S. Government Printing Office; 2005
- United States Department of Health and Human Services, Physical Activity Guidelines Advisory Committee. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008. Washington DC: U.S. Government Printing Office; 2008
- Université de Sherbrooke :
<http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMPagePyramide?codePays=IND> ; consulté le 14-01-2013
- Van Den Berg SAA, Van Marken Lichtenbelt W, Willems Van Dijk K, *et al*. Skeletal muscle

- mitochondrial uncoupling, adaptive thermogenesis and energy expenditure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2011;14:243-9
- Vincent SD, Pangrazi RP. An examination of the activity patterns of elementary school children. *Pediatr Exerc Sci* 2002;14:432-441
- Vuillemin A, Boini S, Bertrais S, *et al.* Leisure time physical activity and health-related quality of life. *Prev Med* 2005;41:562-9
- Wagner A, Simon C, Ducimetière P, *et al.* Leisure-time physical activity and regular walking or cycling to work are associated with adiposity and 5 y weight gain in middle-aged men: the PRIME Study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001;25:940-8
- Wang J, Thornton JC, Russell M, *et al.* Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparisons of anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr* 1994;60, 23-28
- Wang EJ, Wong EC, Dixit AA, *et al.* Type 2 diabetes: identifying high risk Asian American subgroups in a clinical population. *Diabetes Res Clin Pract.* 2011;93:248-54
- Warburton DER, Charlesworth S, Ivey A, *et al.* A systematic review of the evidence for Canada's Physical Activity Guidelines for Adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2010;7:39
- Weller I, Corey P. The impact of excluding non-leisure energy expenditure on the relation between physical activity and mortality in women. *Epidemiology* 1998;9:632-5
- Wendel-Vos GC, Schuit AJ, Tijhuis MA, *et al.* Leisure time physical activity and health-related quality of life: cross-sectional and longitudinal associations. *Qual Life Res* 2004; 13:667-77
- Westerkerp KR. Assessment of physical activity: a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol* 2009;105:823-8
- Wijers SLJ, Schrauwen P, Saris WHM, *et al.* Human skeletal muscle mitochondrial uncoupling is associated with cold induced adaptive thermogenesis. *PLoS ONE* 2008;3:e1777
- Willum-Hansen T, Staessen JA, Torp-Pedersen C, *et al.* Prognostic value of aortic pulse wave velocity as index of arterial stiffness in the general population. *Circulation* 2006;113:664-70
- World Health Organization. The WHOQOL Group. Study protocol for the World Health Organization project to develop a quality of life assessment instrument (WHOQOL). *Qual Lif Res* 1993;2:153-9
- World Health Organization. The WHOQOL Group. Quality of life Assessment. What Quality of Life ? The WHOQOL Group. In: world Health Forum. WHO, Geneva, 1996a
- World Health Organization. WHOQOL-BREF. Introduction, administration, scoring and generic version of the assessment—field trial version. WHO, Geneva, 1996b
- World Health Organization. The WHOQOL Group. Development of the World Health Organization WHOQOL-bref. Quality of life assessment instrument. *Psychol Med* 1998;28:551-558
- World Health Organization. The world health report 2002 - Reducing Risks, Promoting Healthy Life. WHO, Geneva, 2002a
- World Health Organization. Integrated management of cardiovascular risk. Report of a WHO meeting. Geneva, 2002b
- World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneva, WHO technical report series, No 894, 2003a
- World Health Organization. Adherence to long-term therapies: evidence for action. WHO, Geneva, 2003b
- World Health Organization. Global strategy on diet, physical activity and health. A framework to monitor and evaluate implementation. WHO, Geneva, 2006
- World Health Organization. Global recommendations on physical activity for health. WHO, Geneva, 2010
- World Hypertension League. Physical exercise in the management of hypertension: a consensus statement by the World Hypertension League. *J Hypertens* 1991;9:283-7
- Worley JR, Rogers SN, Kraemer RR. Metabolic responses to Wii Fit™ videogames at different game levels. *J Strength Cond Res* 2011;25:689-93
- Worrall J. Causality in medicine: getting back to the Hill top. *Prev Med* 2011;53:235-8
- Yajnik CS, Fall CH, Coyaji KJ, *et al.* Neonatal anthropometry: the thin-fat Indian baby. The Pune Maternal Nutrition Study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2003;27:173-80