



**HAL**  
open science

# Étude de l'oxydation des lipides et des glucides lors d'une calorimétrie d'effort sur un échantillon de 6467 patients

Tim Belhadi

► **To cite this version:**

Tim Belhadi. Étude de l'oxydation des lipides et des glucides lors d'une calorimétrie d'effort sur un échantillon de 6467 patients. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04077193

**HAL Id: dumas-04077193**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04077193v1>

Submitted on 21 Apr 2023

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

UNIVERSITE DE MONTPELLIER

FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

**THESE**

Pour obtenir le titre de

**DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Tim BELHADI**

Le 13/04/2023

**Etude de l'oxydation des lipides et des glucides lors d'une calorimétrie d'effort sur un échantillon de 6467 patients**

Directeur de thèse : Dr Jean Frederic BRUN

JURY

Président : Pr Anthony GELIS

Assesseurs (y compris directeur de thèse) :

1<sup>er</sup> assesseur : Dr Jean Frederic BRUN

2<sup>ème</sup> assesseur : Dr Farès GOUZI

UNIVERSITE DE MONTPELLIER

FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

**THESE**

Pour obtenir le titre de

**DOCTEUR EN MEDECINE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Tim BELHADI**

Le 13/04/2023

**Etude de l'oxydation des lipides et des glucides lors d'une calorimétrie d'effort sur un échantillon de 6467 patients**

Directeur de thèse : Dr Jean Frederic BRUN

JURY

Président : Pr Anthony GELIS

Assesseurs (y compris directeur de thèse) :

1<sup>er</sup> assesseur : Dr Jean Frederic BRUN

2<sup>ème</sup> assesseur : Dr Farès GOUZI

## Liste du corps enseignant :



ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

### PERSONNEL ENSEIGNANT

#### Professeurs Honoraires

ALBAT Bernard	BRUNEL Michel	HUMEAU Claude	MIRO Luis
ALLIEU Yves	CANAUD Bernard	JAFFIOL Claude	NAVARRO Maurice
ALRIC Robert	CHAPTAL Paul-André	JANBON Charles	NAVRATIL Henri
ARNAUD Bernard	CIURANA Albert-Jean	JANBON François	OTHONIEL Jacques
ASENCIO Gérard	CLOT Jacques	JARRY Daniel	PAGES Michel
ASTRUC Jacques	COSTA Pierre	JOURDAN Jacques	PEGURET Claude
AUSSILLOUX Charles	D'ATHIS Françoise	KLEIN Bernard	PELISSIER Jacques
AVEROUS Michel	DEMAILLE Jacques	LAFFARGUE François	PETIT Pierre
AYRAL Guy	DESCOMPS Bernard	LALLEMANT Jean Gabriel	POUGET Régis
BAILLAT Xavier	DIMEGLIO Alain	LAMARQUE Jean-Louis	PUJOL Henri
BALDET Pierre	DUBOIS Jean Bernard	LAPEYRIE Henri	RABISCHONG Pierre
BALDY-MOULINIER Michel	DUJOLS Pierre	LEROUX Jean-Louis	RAMUZ Michel
BALMES Jean-Louis	DUMAS Robert	LESBROS Daniel	REBOUL Jean
BANSARD Nicole	DUMAZER Romain	LOPEZ François Michel	RIEU Daniel
BAYLET René	ECHENNE Bernard	LORiot Jean	ROCHEFORT Henri
BILLIARD Michel	FABRE Serge	LOUBATIERES Marie Madeleine	ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
BLARD Jean-Marie	FREREBEAU Philippe	MAGNAN DE BORNIER Bernard	SAINT AUBERT Bernard
BLAYAC Jean Pierre	GALIFER René Benoît	MARTY ANE Charles	SANCHO-GARNIER Héléne
BLOTMAN Francis	GODLEWSKI Guilhem	MARY Henri	SANY Jacques
BONNEL François	GRASSET Daniel	MATHIEU-DAUDE Pierre	SEGNARBIEUX François
BOURGEOIS Jean-Marie	GUILHOU Jean-Jacques	MEYNADIER Jean	SENAC Jean-Paul
BOUSQUET Jean	GUI TER Pierre	MICHEL François-Bernard	SERRE Arlette
BRUEL Jean Michel	HEDON berbard	MION Charles	SOLASSOL Claude
BUREAU Jean-Paul	HERTAULT Jean	MION Henri	VIDAL Jacques
			VISIER Jean Pierre

### Professeurs Emérites

ARTUS Jean-Claude	LE QUELLEC Alain
BLANC François	MARES Pierre
BONAFE Alain	MAUDELONDE Thierry
BOULENGER Jean-Philippe	MAURY Michèle
BOURREL Gérard	MESSNER Patrick
BRINGER Jacques	MILLAT Bertrand
CLAUSTRES Mireille	MONNIER Louis
DAURES Jean-Pierre	MOURAD Georges
DAUZAT Michel	PREFAUT Christian
DAVY Jean-Marc	PUJOL Rémy
DEDET Jean-Pierre	RIBSTEIN Jean
ELEDJAM Jean-Jacques	SCHVED Jean-François
GROLLEAU RAOUX Robert	SULTAN Charles
GUERRIER Bernard	TOUCHON Jacques
GUILLOT Bernard	UZIEL Alain
JONQUET Olivier	VOISIN Michel
LANDAIS Paul	ZANCA Michel
LARREY Dominique	

### Docteurs Emérites

PRAT Dominique  
PUJOL Joseph

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

---

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

**PU-PH de classe exceptionnelle**

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick	Parasitologie et mycologie
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COMBE Bernard	Rhumatologie
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
COTTALORDA Jérôme	Chirurgie infantile
COUBES Philippe	Neurochirurgie
COURTET Philippe	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
CRAMPETTE Louis	Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul	Biochimie et biologie moléculaire
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel	Médecine d'urgence
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie
DOMERGUE Jacques	Chirurgie viscérale et digestive

DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
FRAPIER Jean-Marc	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HERISSON Christian	Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MERCIER Jacques	Physiologie
MEUNIER Laurent	Dermato-vénéréologie
MONDAIN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale



TOUITOU Isabelle

Génétique

VANDE PERRE Philippe

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

YCHOU Marc

Cancérologie ; radiothérapie

**PU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

AGUILAR MARTINEZ Patricia

Hématologie ; transfusion

ASSENAT Éric

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

AVIGNON Antoine

Nutrition

AZRIA David

Cancérologie ; radiothérapie

BAGHDADLI Amaria

Pédopsychiatrie ; addictologie

BLANC Pierre

Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

BORIE Frédéric

Chirurgie viscérale et digestive

BOURDIN Arnaud

Pneumologie ; addictologie

CAMBONIE Gilles

Pédiatrie

CAMU William

Neurologie

CANOVAS François

Anatomie

CAPTIER Guillaume

Anatomie

CARTRON Guillaume

Hématologie ; transfusion

CAYLA Guillaume

Cardiologie

CHANQUES Gérald

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

CORBEAU Pierre

Immunologie

COULET Bertrand

Chirurgie orthopédique et traumatologique

CUVILLON Philippe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DADURE Christophe

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DAUVILLIERS Yves

Physiologie

DE TAYRAC Renaud

Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale

DE VOS John

Histologie, embryologie et cytogénétique



DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOENIG Michel	Génétique
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan	Physiologie
MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie

PERNEY Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel	Anatomie
PUJOL Jean Louis	Pneumologie ; addictologie
PURPER-OUAKIL Diane	Pédopsychiatrie ; addictologie
ROGER Pascal	Anatomie et cytologie pathologiques
TRAN Tu-Anh	Pédiatrie
VERNHET Hélène	Radiologie et imagerie médicale

### **PU-PH de 2ème classe**

BOURGIER Céline	Cancérologie; radiothérapie
CANAUD Ludovic	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
CAPDEVIELLE Delphine	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CLARET Pierre-Géraud	Médecine d'urgence
COLOMBO Pierre-Emmanuel	Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent	Radiologie et imagerie médicale
DAIEN Vincent	Ophthalmologie
DORANDEU Anne	Médecine légale et droit de la santé
FAILLIE Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
FUCHS Florent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GABELLE DELOUSTAL Audrey	Neurologie
GAUJOUX Viala Cécile	Rhumatologie
GODREUIL Sylvain	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILPAIN Philippe	Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
HERLIN Christian	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
IMMEDIATO DAIEN Claire	Rhumatologie
JACOT William	Cancérologie ; Radiothérapie
JEZIORSKI Eric	Pédiatrie

JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence
SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre	Dermato-vénéréologie



SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie; hygiène hospitalière
VENAIL Frédéric	Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max	Ophthalmologie
VINCENT Denis	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry	Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne	Endocrinologie-diabétologie-nutrition

#### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

##### 1<sup>re</sup> classe :

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIER Laurent (Sociologie, démographie)

#### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale**

##### 1<sup>re</sup> classe :

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

#### **PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale**

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc



**PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine**

BESSIS Didier (Dermato-vénérologie)

MEUNIER Isabelle (Ophtalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANTIN Xavier (Pneumologie)

ROUBERTIE Agathe (Pédiatrie)

VIEL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)



ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

---

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

**MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel**

RICHARD Bruno	Médecine palliative
SEGONDY Michel	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

**MCU-PH Hors classe**

BADIOU Stéphanie	Biochimie et biologie moléculaire
BOULLE Nathalie	Biologie cellulaire
CACHEUX-RATABOUL Valère	Génétique
CARRIERE Christian	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CHARACHON Sylvie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
FABBRO-PERAY Pascale	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GIANSILY-BLAIZOT Muriel	Hématologie ; transfusion

**MCU-PH de 1<sup>re</sup> classe**

BERTRAND Martin	Anatomie
BOUDOUSQ Vincent	Biophysique et médecine nucléaire
BRET Caroline	Hématologie biologique
BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
COSSEE Mireille	Génétique
GIRARDET-BESSIS Anne	Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine	Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier	Médecine et Santé au Travail
MARTRILLE Laurent	Médecine légale et droit de la santé
MATHIEU Olivier	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie



MOUZAT Kévin

Biochimie et biologie moléculaire

PANABIERES Catherine

Biologie cellulaire

RAVEL Christophe

Parasitologie et mycologie

SCHUSTER-BECK Iris

Physiologie

STERKERS Yvon

Parasitologie et mycologie

THEVENIN-RENE Céline

Immunologie

**MCU-PH de 2<sup>ème</sup> classe**

BERGOUGNOUX Anne

Génétique

CHIRIAC Anca

Immunologie

DE JONG Audrey

Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire

DU THANH Aurélie

Dermato-vénéréologie

FITENI Frédéric

Cancérologie ; radiothérapie

GOUZI Farès

Physiologie

HERRERO Astrid

Chirurgie viscérale et digestive

HUBERLANT Stéphanie

Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale

KUSTER Nils

Biochimie et biologie moléculaire

MAKINSON Alain

Maladies infectieuses, Maladies tropicales

PANTEL Alix

Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

PERS Yves-Marie

Thérapeutique; addictologie

ROUBILLE Camille

Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie

SZABLEWSKY

Anatomie et cytologie pathologiques

**Maîtres de Conférences des Universités - Médecine Générale**

**MCU-MG de 1<sup>ère</sup> classe**

COSTA David

OUDE ENGBERINK Agnès

**MCU-MG de 2<sup>ème</sup> classe**

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

**Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale**

CAMPAGNAC Jérômes

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021**

**PERSONNEL ENSEIGNANT**

**Maitres de Conférences des Universités**

Maitres de Conférences hors classe

BADIA Eric	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
CHAZAL Nathalie	Biologie cellulaire

Maitres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine	Neurosciences
BERNEX Florence	Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
DELABY Constance	Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
LADRET Véronique	Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINE Sébastien	Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel	Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine	Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MAIMOUN Laurent	Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé
MOREAUX Jérôme	Science biologiques, fondamentales et cliniques
MORITZ-GASSER Sylvie	Neurosciences
MOUTOT Gilles	Philosophie
PASSERIEUX Emilie	Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie	Histologie
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021**

**PERSONNEL ENSEIGNANT**

**PH chargés d'enseignements**

ABOUKRAT Patrick	BLANCHET Catherine	COROIAN Flavia-Oana	GINIES Patrick
AKKARI Mohamed	BLATIERE Véronique	COUDRAY Sarah	GRECO Frédéric
ALRIC Jérôme	BOBBIA Xavier	CRANSAC Frédéric	GUEDJ Anne Marie
AMEDRO Pascal	BOGE Gudrun	CUNTZ Danielle	GUYON Gaël
AMOUROUX Cyril	BOURRAIN Jean Luc	DARDALHON Brigitte	HENRY Vincent
ANTOINE Valéry	BOUYABRINE Hassan	DAVID Aurore	JAMMET Patrick
ARQUIZAN Caroline	BRINGER-DEUTSCH Sophie	DE BOUTRAY Marie	JEDRYKA François
ATTALIN Vincent	BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie	DE LA TRIBONNIÈRE Xavier	JREIGE Riad
AYRIGNAC Xavier	BRISOT Dominique	DEBIEN Blaise	KINNE Mélanie
BADR Maliha	BRONER Jonathan	DELPONT Marion	LABARIAS Coralie
BAIS Céline	CADE Stéphane	DENIS Hélène	LACAMBRE Mathieu
BARBAR Saber Davide	CAIMMI Davide Paolo	DEVILLE de PERIERE Gilles	LANG Philippe
BASSET Didier	CARR Julie	DJANIKIAN Flora	LAZERGES Cyril
BATIFOL Dominique	CARTIER César	DONNADIEU-RIGOLE Hélène	LE GUILLOU Cédric
BATTISTELLA Pascal	CASPER Thierry	FAIDHERBE Jacques	LEGLISE Marie Suzanne
BAUCHET Luc	CASSINOTTO Christophe	FATTON Brigitte	LOPEZ Régis
BENEZECH Jean-Pierre	CATHALA Philippe	FAUCHERRE Vincent	LUQUIENS Amandine
BENNYS Karim	CAZABAN Michel	FILLERON Anne	MANZANERA Cyril
BERNARD Nathalie	CHARBIT Jonathan	FITENI Frédéric	MARGUERITTE Emmanuel
BERTCHANSKY Ivan	CHEVALLIER Thierry	FOURNIER Philippe	MARTIN Lucille
BIBOULET Philippe	CHEVALLIER-MICHAUD Josyane	GAILLARD Nicolas	MATTATIA Laurent
BIRON-ANDREANI Christine	COLIN Olivier	GALMICHE Sophie	MEROUEH Fadi
BLANC Brigitte	CONSEIL Mathieu	GENY Christian	MEYER Pierre
BLANCHARD Sylvie	CORBEAU Catherine	GERONIMI Laetitia	MILESI Christophe



MORAU Estelle	SEGURET Fabienne
MOSER Camille	SENESSE Pierre
MOUSTY Eve	SKALLI El Medhi
MOUTERDE Gaël	SOLA Christelle
PANSARD Nicole	SOULLIER Camille
PERNIN Vincent	STOEBNER DELBARRE Anne
PERRIGAULT Pierre François	TEOT Luc
PEYRON Pierre-Antoine	THIRION Marina
PICARD Eric	VACHIERY-LAHAYE Florence
PICOT Marie Christine	VERNES Eric
PIERONI Laurence	VINCENT Laure
POQUET Héléne	WAGNER Laurent
PUJOL Sarah-Lise	ZERKOWSKI Laetitia
PUPIER Florence	
QUANTIN Xavier	
RAFFARD Laurence	
RAPIDO Francesca	
RIBRAULT Alice	
RICHAUD-MOREL Brigitte	
RIDOLFO Jérôme	
RIPART Sylvie	
RONGIERES Michel	
ROULET Agnès	
RUBENOVITCH Josh	
SANTONI Fannie	
SASSO Milène	
SCHULDINER Sophie	

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

---

**Praticiens Hospitaliers Universitaires**

BARATEAU Lucie	Physiologie
BASTIDE Sophie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
DUFLOS Claire	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
LATTUCA Benoit	Cardiologie
MARIA Alexandre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SARRABAY Guillaume	Génétique
SOCHE François-Régis	Chirurgie viscérale et digestive



## **Remerciements**

**A Monsieur le Docteur Jean Frederic BRUN** : mon directeur de thèse, pour m'avoir confié la rédaction de cette thèse sur ce sujet si intéressant que représente l'étude des substrats énergétiques lors d'un effort. Cela m'a permis de réaliser le souhait de travailler, approfondir, mes connaissances acquises dans mes deux spécialités choisies, que sont la Rééducation et la Nutrition, d'avoir un sujet de thèse me permettant, également, de mettre ces connaissances en pratique, m'accompagnant aussi dans mon quotidien.

**A Monsieur le Professeur Anthony GELIS** : en me faisant l'honneur d'accepter de présider mon jury de thèse. Je vous remercie de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à mon travail et de votre disponibilité dont vous avez pu faire preuve à mon égard.

**A Monsieur le Docteur Fares GOUZI** : d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse. Je vous remercie de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à mon travail et également de la disponibilité dont vous avez pu faire preuve pour assister à ma soutenance de thèse.

**A Madame la Professeure Isabelle LAFFONT et Monsieur le Professeur Arnaud DUPEYRON** : de m'avoir permis de découvrir les différentes facettes de la Médecine Physique et de Réadaptation et de m'avoir transmis votre savoir dans ce domaine.

**A Docteur Véronique TAILLARD, Docteur Camille BORIES et Docteur Emma LUCQUIAUD** l'équipe de l'unité transversale de Nutrition Clinique au CHU de Nîmes : de m'avoir transmis votre passion pour la Nutrition et de m'avoir permis de me former dans ce domaine si intéressant et utile en pratique courante.

**A Docteur Anne BRUNON, Docteur Sylvie PETIOT, Docteur Marion DELORME et Docteur Jérôme FROGER** : l'équipe de Rééducation du Grau du Roi qui m'aura accompagné dans ma formation durant un an en me permettant de me former aussi bien sur l'aspect locomoteur que neurologique de ma spécialité.

**A mes parents** : pour leur soutien indéfectible, leur aide durant toutes ces années et la correction de cette thèse.

**A Merry** : le frangin, l'unique, qui m'a également soutenu durant toutes ces années.

**A Gabrielle** : ma compagne, pour toute l'aide et le soutien que tu m'as apporté pour clôturer cette thèse.

**A Gokhan** : mon plus ancien ami qui a toujours cru en moi malgré nos années bac professionnel.

**A Maxime** : mon « frère » de Clermont toujours à l'écoute et qui m'aurait rendu visite peu importe la ville où j'aurais fait mon internat.

**A Doms** : mon tuteur de P1, mon ami de Clermont et mon organisateur de soirées falafels.

**A William** : mon binôme de stage durant tout l'externat, ami et photographe lors des sessions terrasse.

**A Nadir et Karim** : mes amis de Poitiers, qui m'ont donné au moins 2 raisons de ne pas regretter mon année d'internat au CHU la Millétrie.

**A Nassim** : mon « frère » du sud, le premier à qui j'ai adressé la parole lors de mon arrivée dans le sud à Nîmes.

**A Pedro** : mon « 2<sup>ème</sup> frère » du sud et ses soirées mémorables.

**A Daoud, Kirby, Benoit alias GG, Morgane alias Simone** : la team externat de Clermont.

**A Delphine** : ma colloque de l'enfer à l'alimentation plus que discutable.

**A Aurélien et Maxime V** : la team MPR de mes débuts.

**A Agathe** : mon binôme de MPR à Carremeau lors de mon tout premier stage en rééducation.

**A Éric** : mon binôme de MPR à Lapeyronie.

**A Anne-Claire, Cecilia, Quentin, Faisal** : la team Endoc et ses débats Nutrition animés.

**A Walid** : mon binôme de la musculation et ses performances hors normes.

**A Paul Éric** : Vive la Rééducation Neurologique au Grau du Roi.

**A Maryse et Didier** : ma tante et mon oncle d'être venus spécialement de Haute-Savoie pour assister à ma soutenance.

## **Table des matières**

Liste du corps enseignant : .....	1
Remerciements .....	18
Glossaire : .....	22
INTRODUCTION .....	23
PARTIE 1 : DEFINITION DE LA CALORIMETRIE D'EFFORT ET CONCEPT DE LIPOXMAX .....	24
1.1 Généralité.....	24
1.2 Physiologie .....	24
1.3 La réalisation de la calorimétrie d'effort en pratique clinique.....	26
1.4 Les données recueillies lors de la réalisation de la calorimétrie d'effort.....	27
1.5 Le concept de LIPOXmax et Cross-Over .....	30
1.6 Intérêt du LIPOMAX en pratique clinique .....	31
1.6.1 chez la personne en surpoids .....	31
1.6.2 chez la personne diabétique .....	31
1.7 les données pratico-pratiques, exemple du CERAMM de Montpellier.....	32
PARTIE 2 : REVUE DE LITTERATURE .....	33
2.1 Concept d'oxydation lipidique versus glucidique.....	33
2.2 Chez le patient obèse .....	34
2.3 Une perte de poids qui perdurerait dans le temps avec le LIPOXmax .....	35
2.4 Ce que confirme les méta analyses.....	36
2.5 Patients sous psychotropes.....	36
2.6 De nombreux autres paramètres .....	37
2.7 Et l'oxydation glucidique ? .....	37
Partie 3 : MATERIEL ET METHODE.....	38
3.1 Généralités .....	38
3.2 Statistiques utilisées.....	38
Partie 4 : RESULTATS .....	39
4.1 Caractéristiques de base des patients.....	39
4.2 Paramètres cardio-respiratoires .....	42
4.3 L'oxydation lipidique .....	44
4.3.1 Oxydation lipidique de repos et aux principaux paliers .....	45
4.3.2 autres paramètres lipidiques .....	48
4.4 Oxydation glucidique.....	50
4.4.1 Oxydation glucidique de repos et aux principaux paliers .....	51
4.4.2 Coût glucidique du watt .....	52
Partie 5 : DISCUSSION.....	57

5.1 La mitochondrie, un organite clé dans l'oxydation des substrats.....	57
5.2 Une forte intrication entre oxydation lipidique et glucidique .....	57
5.3 Effet du LIPOXmax sur le comportement alimentaire .....	59
5.4 Pathologies pouvant modifier la capacité à oxyder les lipides et les glucides.....	60
5.5 Quels paramètres retenir en pratique clinique courante ?.....	61
5.6 Utilisation des paliers de 3 minutes ? .....	62
5.7 Concernant les caractéristiques de base des patients inclus dans cette étude.....	62
5.8 Force et faiblesse de cette étude .....	63
Partie 6 : CONCLUSION.....	64
Références bibliographiques.....	65
Annexes : .....	71
SERMENT D'HIPPOCRATE .....	74
Résumé.....	75

## **Glossaire :**

ACSM : American Collège of Sports Médecine

bpm : battements par minute

CERAMM : équipe d'exploration métabolique de Montpellier

CHO : glucides

DMOL : densité maximale d'oxydation lipidique

ET : écart type

GLUCox : taux d'oxydation maximal des glucides

LIPOXmax : taux maximal d'oxydation des lipides

LIPOXtraining : entraînement à intensité LIPOXmax

p : plus value

QR : quotient respiratoire

r : coefficient de corrélation

SEM : erreur standard de la moyenne

VCO<sub>2</sub> : volume de consommation en dioxyde de carbone

VO<sub>2</sub> : volume de consommation en oxygène

VO<sub>2</sub> max : volume de consommation d'oxygène maximal d'un sujet lors d'un effort

## INTRODUCTION

L'activité physique est de nos jours largement considérée comme une composante essentielle à une bonne santé à la fois physique et mentale. Plus spécifiquement cette dernière s'est avérée être une alliée indispensable dans le maintien d'un poids de forme dans des pathologies de plus en plus présentes comme l'obésité mais aussi dans les maladies du métabolisme comme le Diabète.

La connaissance de ces mécanismes d'action s'avère donc un prérequis primordial à sa mise en œuvre notamment si celle-ci est initiée par le corps médical. Ces dernières années, la calorimétrie d'effort a montré tout son intérêt pour comprendre la physiologie qui sous-tend l'activité physique et donc d'optimiser les conseils et suivis donnés aux patients, afin de garantir une efficacité optimale.

L'équipe d'exploration métabolique de Montpellier aussi appelée CERAMM a été pionnière dans ce domaine pour la réalisation des calorimétries d'effort. Depuis 2005 des milliers de patients ont pu bénéficier de ce type d'examen ce qui leur a permis de mettre en place une activité physique la plus adaptée à leurs besoins et leurs pathologies.

Ce large échantillon de patients est une source précieuse de données pour mieux comprendre le métabolisme énergétique à l'effort et notamment l'oxydation des lipides et des glucides qui représentent les 2 principaux substrats énergétiques utilisés pendant un effort et qui vont avoir leurs spécificités propres.



## **PARTIE 1 : DEFINITION DE LA CALORIMETRIE D'EFFORT ET CONCEPT DE LIPOXMAX**

### **1.1 Généralité**

La calorimétrie d'effort permet d'apprécier l'utilisation des substrats énergétiques, lipides et glucides, à différents niveaux d'exercice par l'étude des échanges gazeux respiratoires à l'effort lors d'une épreuve sur cycloergomètre. Il s'agit d'un test en endurance se pratiquant à jeun le matin, pendant lequel le patient pédale sur cycloergomètre, on note 4 paliers de 6 minutes, en commençant à un niveau peu intense et progressivement croissant jusqu'à atteindre un palier maximal [1]. Certains auteurs ont utilisé des paliers de 3 minutes. Ainsi Juul Achten et al [2] ont montré qu'un protocole avec des étapes de 3 minutes chez 18 cyclistes entraînés permettait d'apprécier correctement les substrats utilisés à l'effort, mais comme l'ont démontré Bordenave S et al [3], chez les patients sédentaires ces 3 minutes ne sont pas suffisantes. Elle se réalise avec surveillance de la pression artérielle et de l'électrocardiogramme tout au long du test afin de dépister toute anomalie contre indiquant la poursuite du test. Le but étant de calculer individuellement la part respective d'oxydation des lipides et d'utilisation des glucides avec comme objectif de calculer le LIPOXmax sur lequel nous reviendrons à la partie d. La calorimétrie d'effort permet donc de déterminer le profil métabolique des patients, d'obtenir le meilleur rapport intensité/durée en fonction des objectifs de chaque patient. Elle permet de définir les niveaux auxquels l'oxydation des lipides est la plus importante (LIPOXmax) et ce dans un objectif de perte de graisse tout en maintenant la masse maigre et l'amélioration des principaux paramètres métaboliques comme la tension artérielle, la glycémie à jeun ou encore l'équilibre lipidique.

### **1.2 Physiologie**

L'épreuve est réalisée en routine au CERAMM du CHU de Montpellier sur une bicyclette ergométrique reliée à un analyseur permettant l'analyse des échanges gazeux et la surveillance électrocardiographique comme sus-cité. On réalise des périodes de repos de 6 minutes pour enregistrer la VO<sub>2</sub> et la VCO<sub>2</sub>. A noter comme sus-cité que des paliers de 3 minutes étaient suffisants pour des sujets sains modérément entraînés [2] alors que des paliers de 6 minutes étaient préférables pour des personnes sédentaires ou en surpoids à cause du plus long délai nécessaire pour atteindre un état stable au niveau des échanges gazeux [3, 4]. Le test d'effort standardisé consiste à une augmentation de charge par paliers de 6 minutes à 20, 30, 40, 50 et 60% de la puissance maximale théorique. Le sujet pédale à vitesse constante entre 50 et 60

tours/minute. La mesure de la VO<sub>2</sub> et de la VCO<sub>2</sub> entre la 4<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> minute de chaque palier d'effort permet de calculer le quotient respiratoire : QR = VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>. Selon l'académie de médecine le quotient respiratoire est le rapport entre le volume de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) rejeté et le volume d'oxygène (O<sub>2</sub>) consommé [5]. Chez le sujet normal la valeur moyenne du quotient respiratoire est : R = V'CO<sub>2</sub> /V'O<sub>2</sub> = 0,8 au repos. Plus le volume de CO<sub>2</sub> rejeté sera important (R à 1 ou plus) et plus le métabolisme anaérobie sera prépondérant et donc l'utilisation des glucides comme substrat au détriment des lipides. Considérant que la consommation des protéines est négligeable lors d'un effort d'intensité modérée chez le sujet sain (<10%), le QR est donc assimilé à un quotient glucido-lipidique, le débit d'oxydation des lipides et de consommation des glucides est calculé en mg/mn selon les équations de Péronnet et Massicotte. Quel que soit le protocole de test utilisé, les valeurs de VO<sub>2</sub> et VCO<sub>2</sub> enregistrées entre la 4<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> minute, durant lequel le quotient respiratoire (QR = VCO<sub>2</sub> / VO<sub>2</sub>; respiratory exchange ratio - RER - en anglais) est ≤ 1.0 est utilisé pour calculer les débits d'oxydation lipidiques et glucidiques.

Voici les 2 équations utilisées pour le calcul de l'oxydation glucidique et lipidique :

$$\text{Glucides (mg/mn)} = 4,585 \text{ VCO}_2 - 3,2255 \text{ VO}_2$$

$$\text{Lipides (mg/mn)} = 1,6946 \text{ VO}_2 - 1,7012 \text{ VCO}_2$$

Ou

$$\text{Débit d'oxydation des lipides (g}\times\text{min}^{-1}) = 1.67 \text{ V O}_2 \text{ (L } \times \text{min}^{-1}) - 1.67 \text{ V CO}_2 \text{ (L } \times \text{min}^{-1})$$

$$\text{Débit d'oxydation CHO (g}\times\text{min}^{-1}) = 4.55 \text{ V CO}_2 \text{ (L } \times \text{min}^{-1}) - 3.21 \text{ V O}_2 \text{ (L } \times \text{min}^{-1}).$$

On peut ainsi déterminer la proportion de glucides et de lipides utilisés pour chaque palier. Après lissage des courbes de débit d'oxydation lipidique et glucidique, 2 paramètres représentatifs de l'oxydation des substrats sont calculés : le point de croisement et le LIPOXmax comme l'illustre la figure 1 ci-dessous.

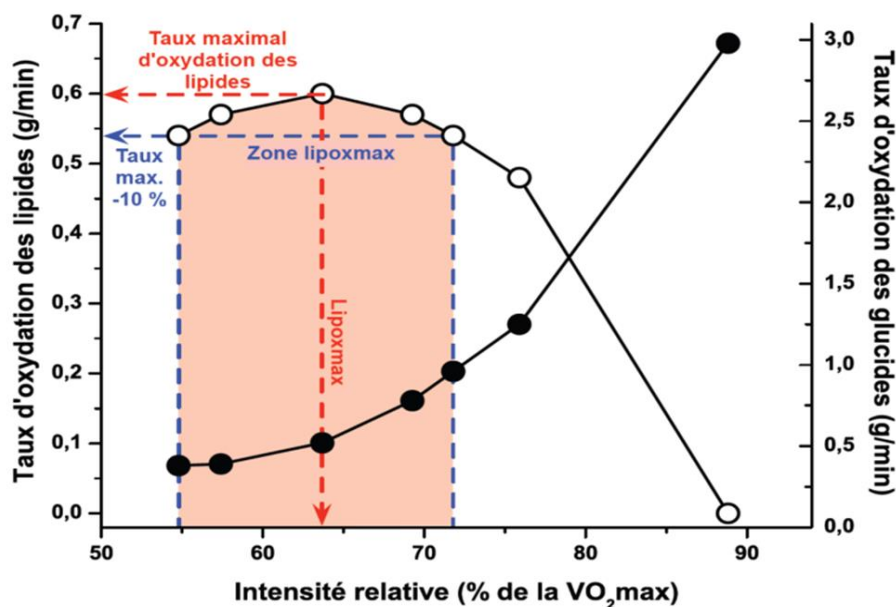


Figure 1 : concept de LIPOXmax ici en fonction du pourcentage de la VO<sub>2</sub> max (les valeurs indiquées ne correspondent pas à celles trouvées dans notre étude, ici population de cyclistes entraînés)

La calorimétrie d'effort est une mesure fiable de l'oxydation des substrats, Romijn et al. [5] ont montré qu'il existait une forte cohérence entre l'estimation des débits d'oxydation des substrats mesurés avec la calorimétrie et ceux mesurés par le biais de traceurs isotopiques pour des exercices intenses allant jusqu'à 85% VO<sub>2</sub>max.

### 1.3 La réalisation de la calorimétrie d'effort en pratique clinique

Elle se réalise le plus souvent dans une structure hospitalière, soit dans un service d'exploration métabolique au sein d'un centre hospitalier universitaire soit dans un service de médecine du sport. Elle peut être également réalisée en libéral à condition que le médecin possède le matériel nécessaire à sa mise en œuvre. Si cet examen est réalisé sur indication médicale, il est remboursé par les caisses d'assurance maladie et les mutuelles. Dans le cas contraire il y aura un reste à charge. La calorimétrie d'effort permet de cibler l'intensité de prise en charge par les activités physiques adaptées principalement chez des patients diabétiques (type 2) ou en situation d'obésité. Elle peut être également pratiquée chez tout patient désireux de connaître son LIPOXmax afin de cibler la meilleure activité physique en fonction de son objectif ici donc principalement la perte de graisse. De manière moins habituelle elle peut chez des patients présentant des troubles du comportement alimentaire permettre de calculer la dépense énergétique de base afin d'adapter la prise en charge nutritionnelle. Elle peut être également d'un apport contributif dans certaines pathologies du métabolisme dont nous ne traiterons pas le sujet ici. Concernant l'aspect pratico-pratique il est nécessaire de connaître le traitement

habituel et les antécédents médicaux de chaque patient, en effet certains médicaments [6] et certaines pathologies perturbent le métabolisme des glucides et lipides au repos et à l'effort. A titre d'exemple il a été montré que les personnes diabétiques avaient une capacité moindre à oxyder les lipides [7,8]. Il faudra signaler tout problème infectieux récent ou en cours et ne pas fumer deux heures avant et deux heures après le test. Ne pas réaliser d'effort intense ou être à jeun puisqu'un repas préalable modifie le résultat.

#### **1.4 Les données recueillies lors de la réalisation de la calorimétrie d'effort**

##### Paramètres anthropométriques :

Le sexe et l'âge vont bien évidemment être les premiers paramètres recueillis. Les paramètres anthropométriques tel que la taille, le poids et l'indice de masse corporel (IMC). La masse musculaire et la masse grasse par impédancemétrie. Le tour de taille et tour de hanche.

##### Paramètres respiratoires :

- VO2 maximale théorique ou consommation maximale d'oxygène : indique le débit d'oxygène maximal que l'organisme est capable d'absorber pour subvenir à ses besoins lors d'un effort physique.
- VO2 maximale Astrand (paramètre le plus ancien) : nomogramme permettant d'obtenir la valeur probable de la consommation d'oxygène maximale à partir d'une mesure de fréquence cardiaque réalisée au cours d'un travail musculaire sous-maximal.
- VO2max ACSM : L'American Collège of Sports Médecine (ACSM) a une équation pour déterminer le VO2 brut total d'une personne (le taux total de consommation d'oxygène pendant le repos et l'exercice), exprimée en unités  $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{Min}^{-1}$ . Il s'agit d'une extrapolation de la relation entre VO2 et fréquence cardiaque.
- VO2 au repos : en position allongée après 10 à 15 minutes de repos complet.

##### Paramètres cardiaques :

Mesure de la fréquence cardiaque aux différents niveaux d'intensité de l'exercice pratiqué sur cycloergomètre.

##### Paramètres lipidiques :

- LIPOXmax exprimé en puissance via les Watts.
- LIPOX VO2 indiquant à quel niveau de VO2 maximale, à convertir en pourcentage, se situe le LIPOXmax.
- Lipox exprimé en mg/min.
- Lipox/Muscle correspondant à l'oxydation lipidique dans le muscle exprimé en  $\text{mg/min/kg/masse musculaire}$

- Lipoxzero VO2 correspond à l'intensité à laquelle le sujet n'utilise plus comme substrat les lipides mais utilise uniquement les glucides.
- LIPOXZERO WATT en puissance.

#### Paramètres glucidiques :

- Oxydation glucidique sur les 5 paliers, GLUCox repos, 1, 2, 3 et 4.

**Coût glucidique en Watt** (mg/kg/min/watt), concept étudié par Ikram Aloulou et co [9], ont démontré que la moyenne du coût glucidique ( $\pm$ SEM) est de  $0,22 \pm 0,001 \text{ mg min}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ watt}^{-1}$  et que cette variable biologique semble être maintenue dans des limites homéostatiques étroites lors de l'exercice physique. GA Brooks et al [10] ont montré que l'utilisation du glycogène et du glucose évolue de manière exponentielle en fonction de la puissance d'exercice relative avec un gain de glycogène supérieur à celui de l'utilisation du glucose à haute puissance. C'est la pente de la relation linéaire entre oxydation des glucides et puissance développée.

#### Puissance

Exprimée comme les paramètres glucidiques sur les 4 paliers avec calcul du coût en oxygène du Watt exprimé en mg/min/watt.

#### Deux paramètres sont particulièrement importants :

- **Les oxydations mesurées (lipidique + glucidique)**
- **Le calcul du point de croisement ou crossover** (dont nous reviendrons ci-dessous à la partie d).

Voici un exemple de 2 tableaux clés dont nous pouvons tirer des données recueillies lors de la réalisation de la calorimétrie d'effort.

Le premier (figure 2), concerne l'oxydation des lipides et des glucides en fonction de la fréquence cardiaque, il pourrait donc nous indiquer à déterminer une fréquence cardiaque cible à donner au patient et qui pourrait servir de repère dans sa pratique d'activité physique à l'aide d'une montre connectée, par exemple :

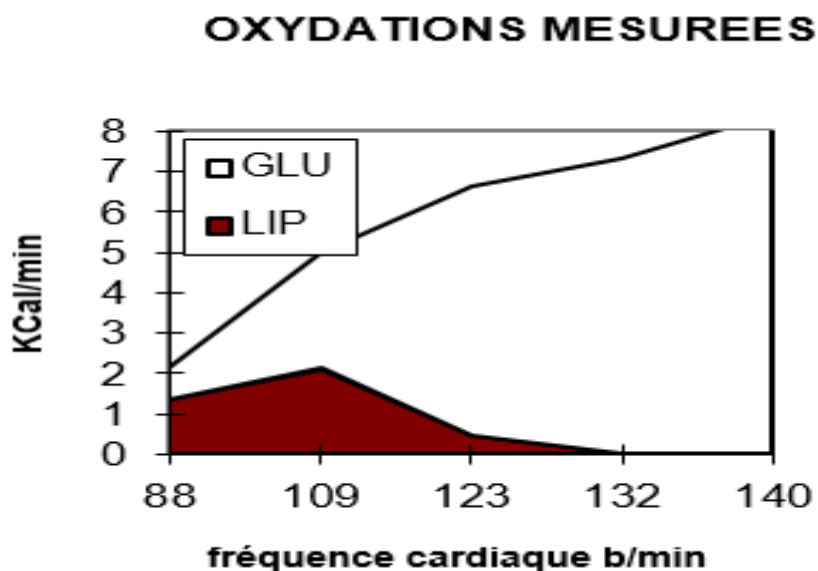


Figure 2 oxydation glucidique et lipidique, ici en fonction de la fréquence cardiaque, obtenue lors de la réalisation d'une calorimétrie d'effort au CERAMM de Montpellier.

Le deuxième (figure 3) nous montre la relation entre l'oxydation lipidique, le LIPOXmax et la puissance développée à l'exercice. Comme on a pu le voir précédemment, sur cet exemple plus l'intensité de l'exercice est élevée et moins l'oxydation des lipides est privilégiée.

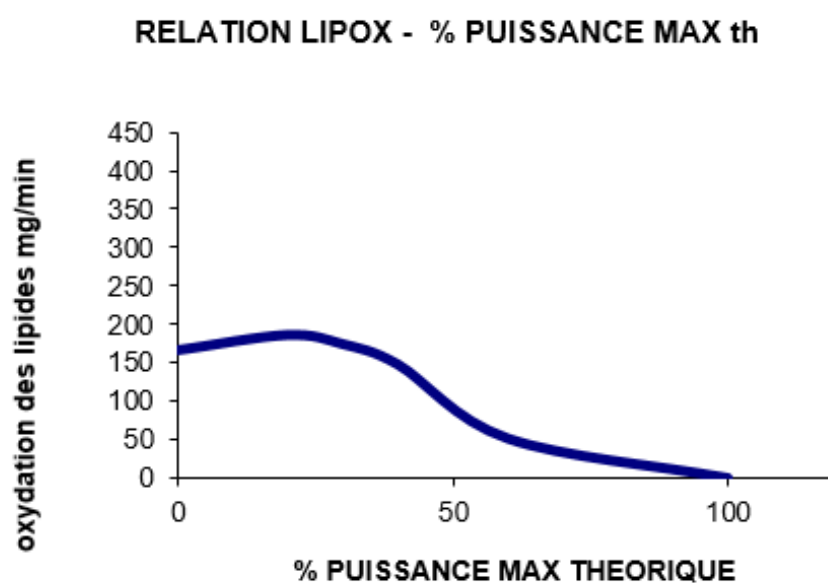


Figure 3 : oxydation des lipides en fonction de la puissance théorique.

En annexe 2 et 3 d'autres paramètres clés de la calorimétrie d'effort dont nous avons parlé plus haut, le premier concernant le calcul en puissance du cross-over et du LIPOXmax et le deuxième le LIPOXmax en fonction de la VO2.

### **1.5 Le concept de LIPOXmax et Cross-Over**

Le LIPOXmax correspond à l'intensité d'exercice pour laquelle l'oxydation des lipides est maximale. Cet indice métabolique est déterminé par calorimétrie d'effort lors d'une épreuve sur cycloergomètre comme décrit dans la partie a. Il s'agit du paramètre clé lors de la réalisation de la calorimétrie d'effort. Le LIPOXmax peut être utilisé comme cible d'entraînement dans différentes pathologies, dont l'obésité et le diabète [11]. Nous reviendrons dans la partie revue de littérature sur les différents résultats obtenus à ce jour et son efficacité dans les pathologies d'ordre métabolique comme l'obésité et le diabète. Le LIPOXmax est appelé FATmax par les équipes de Achten, Gleeson, & Jeukendrup [12] qui le mesurent avec une technique différente. Il découle de la cinétique de la balance de l'oxydation des substrats à l'exercice. Cette notion découle du concept de Crossover qui nous montre qu'à partir d'un certain niveau de dépense énergétique l'oxydation des lipides diminue en faveur de l'oxydation glucidique et au fur et à mesure que l'intensité de l'exercice augmente [13]. Selon Brooks, G.A, & Mercier, J. (1994), à environ 50% de la VO2 max se produit le point de croisement entre l'oxydation lipidique et glucidique. En se basant sur l'oxydation lipidique et glucidique, le point de croisement se situe à environ 30% pour l'oxydation lipidique et 70% pour l'oxydation glucidique comme l'illustre la figure 4 du Cross Over concept [13]. De cette étude nous pouvons en déduire que selon l'intensité de l'exercice l'utilisation des substrats sera différente. Nous y reviendrons également dans la partie revue de littérature qui s'est grandement intéressée à ce sujet. A partir d'un certain niveau de dépense énergétique l'oxydation des lipides diminue en faveur de l'oxydation glucidique et au fur et à mesure que l'intensité de l'exercice augmente.

## « CROSSOVER » CONCEPT

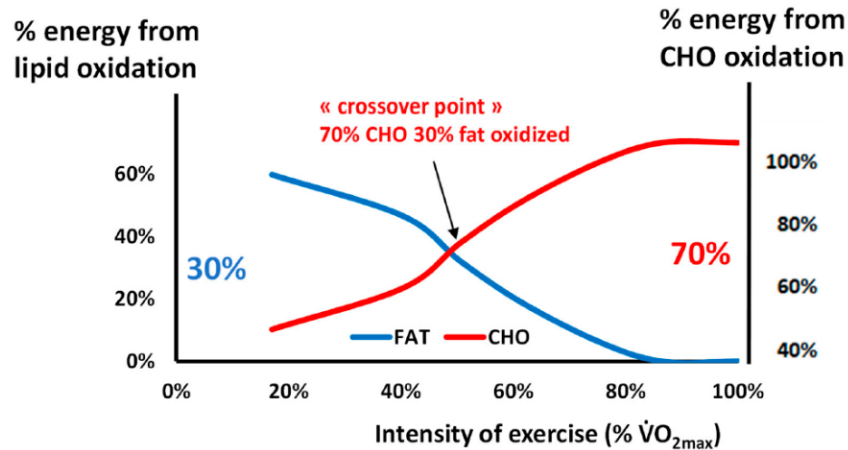


Figure 4 : concept de Cross Over [55]

### 1.6 Intérêt du LIPOMAX en pratique clinique

#### 1.6.1 chez la personne en surpoids

Une méta-analyse sur 15 études de 2012 confirme les effets bénéfiques d'un entraînement à LIPOXmax sur le poids [14]. Dans cette étude Il y avait 3 essais contrôlés randomisés, 2 essais contrôlés et 10 essais cliniques ou essais aléatoires. Au total, 279 sujets ont été recrutés dans le cadre des 15 études. Le nombre de séances d'entraînement par semaine variait de 2 séances de 45 minutes à 4 séances de 90 minutes par semaine. Cette méta-analyse a montré qu'un entraînement de très faible intensité ciblé au niveau de l'oxydation maximale des graisses diminue considérablement le poids corporel, la masse grasse, le tour de taille et le cholestérol total. Plus récemment Isaac A Chávez-Guevara et al ont montré en 2020 que l'entraînement physique effectué à l'intensité maximale d'oxydation des graisses à court et moyen terme (huit à vingt semaines) réduit le poids corporel et la graisse corporelle, augmentant ainsi la condition cardiovasculaire chez les personnes obèses à faible condition physique [15]. Dans cette méta-analyse, deux évaluateurs indépendants ont sélectionné 11 essais parmi 356 publications identifiées par des mots clés. Les résultats ont montré une réduction du poids corporel de 4,30 kg ( $p < 0,01$ ), de masse grasse de 4,03 kg ( $p < 0,01$ ) et de tour de taille 3,34 cm ( $p < 0,01$ ). La masse maigre restant inchangée quant à elle.

#### 1.6.2 chez la personne diabétique

Comme pour la personne en surpoids la littérature confirme l'intérêt de l'entraînement à faible intensité sur la prévention du diabète de type 2 et l'équilibre glycémique [16] et ces niveaux d'exercices correspondent approximativement à ceux du LIPOXmax. Au cours du suivi total, l'incidence du diabète de type 2 était de 4,3 et 7,4 pour 100 années-personnes dans le groupe



d'intervention et le groupe témoin, respectivement (test du log-rank  $p = 0,0001$ ), indiquant une réduction de 43 % du risque relatif. Néanmoins concernant le poids corporel il s'est avéré que le LIPOXmax avait un effet moindre sur ce dernier, en effet J-M Nguyen et al [17] ont montré qu'il restait plus difficile de faire maigrir des patients diabétiques de type 2 que des non diabétiques avec l'exercice physique, même à intensité LIPOXmax. Dans cette étude on constatait une reprise pondérale à 6 mois entre le groupe diabétique de type 2 et non diabétique. Le LIPOXmax apparaît donc comme un paramètre clé pour l'amélioration de la santé métabolique et quantifiable via la réalisation d'une calorimétrie d'effort.

### **1.7 les données pratico-pratiques, exemple du CERAMM de Montpellier**

Lors d'une calorimétrie d'effort réalisée au CERAMM de Montpellier, les conseils donnés au patient pour adapter son activité physique comprennent le point d'utilisation maximale des lipides en watts et sa correspondance en fréquence cardiaque (en battements par minute). De ce calcul découle le type d'activité physique permettant une oxydation lipidique maximale.

#### Exemple chez une femme de 25 ans en obésité grade 1 (cf annexes 1) :

*« Le point d'utilisation maximale des lipides se situe à 40 Watts (25 % de la puissance maximale théorique) et correspond à une fréquence cardiaque de 115 battements/minute »*

*« Les conseils ont été donnés pour pratiquer une activité physique d'endurance au LIPOXmax, soit à une charge de 40 Watts maximum, correspondant à une fréquence cardiaque  $\leq 115$  /min (plateau 110 – 120 /min) »*

*« Mme A est motivée pour poursuivre son activité physique, on lui conseille des séances d'au moins 45 minutes 3-4 /semaine plus variées (vélo, elliptique, marche rapide) tout en augmentant au maximum son activité physique dans sa vie quotidienne »*

De cette conclusion nous pouvons facilement conseiller le type d'activité et l'utilisation d'appareils type montre connectée pour y arriver. Il est également calculé le point où il n'y a plus d'oxydation des lipides. Et donc quel type d'activité physique éviter dans une optique de perte de poids.

## **PARTIE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE**

La littérature scientifique regorge d'articles ayant traité des sujets sur la calorimétrie et l'activité physique. Le service des explorations métaboliques de Montpellier appelé CERRAM a été pionnier dans la constitution d'études ayant trait à ce sujet.

### **2.1 Concept d'oxydation lipidique versus glucidique**

Début des années 90 JA Romijn et al [18] ont commencé à développer le concept d'oxydation lipidique et glucidique en fonction du type et de la durée de l'exercice. Article paru en 1993 dans le journal de physiologie, à l'aide d'exercice d'entraînement à intensité croissante chez 5 sujets, respectivement 25, 65 et 85% de la VO<sub>2</sub> max, ils ont montré une corrélation entre l'intensité de l'exercice et l'oxydation glucidique. A l'inverse l'oxydation des acides gras avait tendance à être privilégiée à basse intensité. De cette observation ont commencé à découler des applications chez les personnes obèses pour lesquelles l'oxydation des acides gras et donc la perte de poids avait tout son intérêt. En 1999 BC Bergman et al [19] appuient l'hypothèse selon laquelle l'entraînement en endurance améliore l'oxydation des lipides chez les hommes après un jeun nocturne de 12 heures à des intensités relatives faibles situées entre 22 et 40 % de pic de VO<sub>2</sub>. En 2002 Juul Achten et al [2] ont cherché à développer un protocole de test pour déterminer l'intensité d'exercice à laquelle le taux d'oxydation des graisses est maximal. 18 cyclistes modérément entraînés ont effectué un test d'effort gradué jusqu'à l'épuisement, avec des étapes de 5 minutes et des incréments de 35 Watts. La zone maximale d'oxydation des lipides était située entre 64 ±4 % de la VO<sub>2</sub> maximale et 74 ±3 % de la fréquence cardiaque maximale. La contribution de l'oxydation des graisses à la dépense énergétique est devenue négligeable au-dessus de 89 ±3% de la VO<sub>2</sub>maximale et 92 ±1% de la fréquence cardiaque maximale. Les résultats étaient identiques avec des étapes de 3 minutes et une puissance de 20 Watts. Dès lors, on peut comprendre aisément les applications que nous pouvons tirer en pratique par la calorimétrie chez certains profils de patients. Un an avant Perez-Martin A et al [3] proposaient des protocoles de 6 minutes.

En 2006 Anne Bach Stisen et al [20] démontraient et confirmaient que c'est l'intensité relative de l'exercice qui a provoqué le taux le plus élevé d'oxydation des graisses qui était de 56 ±3 % chez les femmes entraînées et de 53 ±2 % de VO<sub>2</sub>max chez les femmes non entraînées, bien que l'objectif principal de cette étude était de comparer un groupe de femmes entraînées versus non entraînées. Anne L Friedlander et al [21] ont confirmé ces résultats avec l'utilisation d'entraînement en endurance pendant 9 semaines, 5 jours/semaine, 1 h par jour à 75 % de la VO<sub>2</sub> maximale à l'aide de mesure des acides gras dans le sérum des patients.

## 2.2 Chez le patient obèse

De nombreuses études ont été réalisées chez le patient obèse étant donné que l'un des principaux objectifs du LIPOXmax est la perte de masse grasse (avec conservation de la masse maigre). C'est ainsi que Dumortier et al [22] ont montré que chez un groupe de 21 patients obèses, l'entraînement à intensité LIPOXmax définie par calorimétrie d'effort, à raison de 3 séances de 45 minutes par semaine, avait permis une perte de masse grasse en moyenne de 2.7kgs ( $p < 0.02$ ) et une perte de poids de 2.5kgs ( $p < 0.02$ ) sans retentissement sur la masse maigre. Le groupe témoins n'avait pas quant à lui eu de perte de poids. Chez l'enfant obèse, F Brandou et al [23] ont montré qu'un programme d'entraînement de 2 mois à LIPOXmax calculé au préalable via calorimétrie d'effort a permis non seulement une perte de poids mais aussi une amélioration de l'utilisation des graisses lors de l'exercice avec augmentation du LIPOXmax de 12.5% en moyenne et du point de croisement de 17% ( $p < 0.005$ ). Plus récemment en 2021 M.R Guedjati et al [24] ont évalué les effets d'un réentraînement dans la zone du LIPOXmax sur la composition corporelle de femmes obèses d'âge périménopausique. 61 femmes obèses avec un indice de masse corporel supérieur à 30 kg/m<sup>2</sup> ont participé au protocole de réentraînement individualisé dans la zone du LIPOXmax réalisé sur cycloergomètre. Le protocole s'est étalé sur trois semaines à raison de trois séances par semaine d'une heure. Le poids total et l'indice de masse corporel ont diminué de manière significative avec une perte de 3 kilos ( $p < 0,001$ ) et une perte de 1.1 points d'indice de masse corporelle ( $p = 0,002$ ). Il y a une diminution non significative de la masse grasse d'environ 1 kilo ( $p = 0,08$ ) mais une perte très significative de la graisse viscérale passant de 11,77 à 11,36 kilos ( $p = 0,005$ ) et une discrète diminution de la masse maigre. E.Drapier et al [25] se sont intéressés quant à eux à l'effet de l'entraînement à LIPOXmax spécifiquement chez une population ayant bénéficié d'une chirurgie bariatrique type Sleeve Gastrectomie. Deux groupes de patients obèses appariés pour l'IMC initial et l'âge ont été comparés. Le premier est constitué de sujets ne réalisant qu'une gastrectomie en manchon, le second de sujets réalisant en postopératoire un entraînement à intensité LIPOXmax. Le groupe sleeve + LIPOXmax a présenté une meilleure moyenne de perte de poids après 30 mois postopératoires, devançant l'autre groupe sleeve de +4,87 kg en moyenne. Jean Frederic Brun et al [26] ont confirmé l'intérêt du LIPOXmax chez les Sleeve Gastrectomie. Dans une étude longitudinale de Sleeve ayant duré 60 mois, 2 groupes différents ont été suivis, l'un sans activité physique et l'autre avec activité physique à raison de 3x45 min/semaine d'exercices d'endurance ciblés sur le niveau d'oxydation maximale des lipides. Il a été confirmé que l'entraînement

LIPOXmax associé à la Sleeve induit une perte de poids plus importante que la Sleeve seule ( $p = 0,001$ ).

### **2.3 Une perte de poids qui perdurerait dans le temps avec le LIPOXmax**

Fait important, cette perte de poids avait tendance à perdurer dans le temps. En 2018, Drapier et al [27] ont étudié l'effet à 3 ans de la pratique d'une activité physique à intensité LIPOXmax. A raison de 3 x 45 minutes chez 88 sujets comparé à une alimentation pauvre en matière grasse et un groupe contrôle sans activité physique ni alimentation pauvre en matière grasse. A 3 ans le maintien d'une perte de poids avait été objectivé chez 80% des sujets s'entraînant au LIPOXmax, alors qu'une reprise de poids avait été constaté à 2 ans et encore plus à 3 ans chez les patients sous régime seul ( $p < 0.01$ ). Il n'y avait bien évidemment pas de perte de poids chez le groupe contrôle sans activité physique ni régime pauvre en matière grasse. A noter que dans cette étude l'entraînement à LIPOXmax pouvait prédire la perte de poids à un an mais pas à 2 ans ni 3 ans. L.Hammoudi et al [28] ont quant à eux montré le maintien d'une perte de poids à 2 ans à entraînement LIPOXmax. Chez 45 sujets obèses dont 14 hommes et 31 femmes, toujours à l'aide de 3 séances de 45 minutes par semaine, on constatait à 2 ans le maintien d'une perte de poids intéressant la masse grasse en moyenne de 5 kilos. 6 kilos en ce qui concerne le poids total ( $p < 0.00001$ ). Pendant que le groupe contrôle gagnait en moyenne 0.85kg ( $p < 0.00001$ ). On pouvait aussi noter une capacité à oxyder les lipides augmentés chez le groupe entraîné. J.F Brun et al [29] ont même démontré tout récemment en 2022 que l'effet amaigrissant de l'entraînement d'endurance à faible intensité ciblé sur le niveau d'oxydation lipidique maximale se prolonge sur plus de 8 ans, et s'accompagne en plus d'améliorations de la composition corporelle et de la pression artérielle. Dans cette étude longitudinale non randomisée, les sujets ont été entraînés au LIPOXmax 3 x 45 minutes par semaine à domicile avec suivi régulier. Pour 8 des sujets de cette cohorte les résultats ont été prolongés à 8 ans. Sur les 8 années de suivi, les sujets ont perdu en moyenne un maximum de  $-13,73 \pm 2,63$  kg ( $P < 0,0002$ ) de poids corporel (soit  $-14,50 \pm 2,06$  du poids initial ou  $-69,81 \pm 9,53\%$  du surpoids) et à 96 mois leur poids est maintenu  $-9,08 \pm 2,31$  kg en dessous du poids initial (soit  $-9,53 \pm 1,86 \%$  du poids initial ou  $45,07 \pm 8,94 \%$  du surpoids). On notait également une capacité maximale à oxyder les lipides augmentée ainsi qu'un meilleur équilibre tensionnel. Il s'agit du plus long suivi ayant eu lieu ce jour.

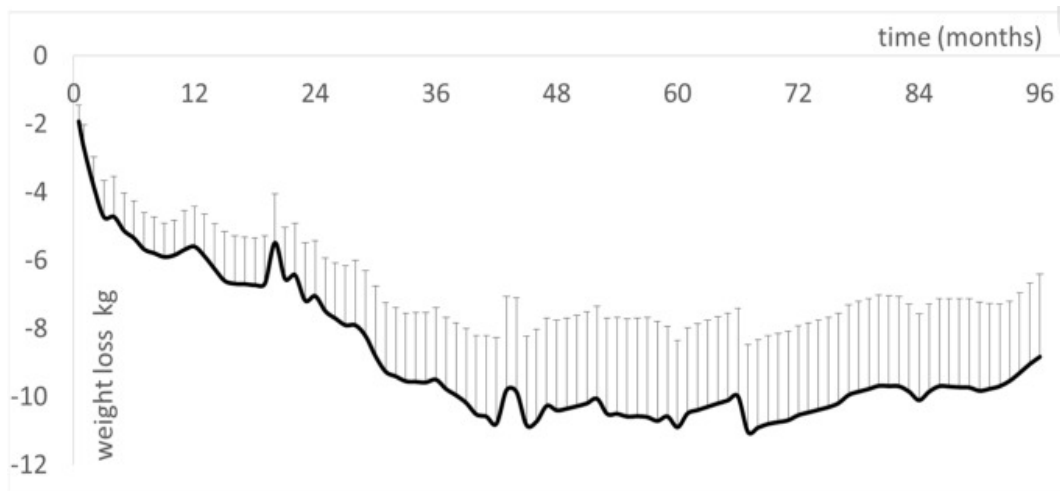


Figure 5 : la perte de poids perdue à 8 ans (96 mois) d'entraînement au LIPOXmax [29]

## 2.4 Ce que confirme les méta analyses

En 2011 A.J Romain et al publiaient une méta-analyse intervention versus contrôle portant sur 16 études publiées [30]. Les bases de données medline/pubmed et isi web of sciences ont été utilisées afin de sélectionner les études. Elles ont été retenues si elles utilisaient le LIPOXmax et avaient un groupe contrôle. 5/16 études avec un total de 185 sujets comportant 128 interventions et 57 contrôles, représentant 3 populations ont été incluses.

On retrouvait une perte de poids de -1,91kg [IC95 % : -3,90 ; -0,069] dans les groupes interventions. En 2020 une importante méta analyse d'essais cliniques randomisés a confirmé l'intérêt de l'entraînement à intensité LIPOXmax [31]. Il s'agissait d'une méta analyse comportant 11 essais cliniques sélectionnés sur 356 publications en utilisant diverses bases de données parmi lesquelles : PubMed, Scopus, EBSCOhost et ScienceDirect. Les résultats avaient alors montré une perte de poids en moyenne de 4.3kilos ( $p < 0.01$ ), de masse grasse de 4.03kilos ( $p < 0.01$ ) et une diminution du tour de taille de 3.34 centimètres ( $p < 0.01$ ) sur une durée de 8 à 28 semaines. La masse maigre quant à elle comme dans les précédentes études était inchangée.

## 2.5 Patients sous psychotropes

Les traitements psychotropes sont de nos jours de plus en plus prescrits et on sait aujourd'hui que ces derniers peuvent occasionner une prise de poids. Dans la majorité des cas, la prise de poids sous psychotropes est associée à une augmentation de l'appétit. Les psychotropes agissent sur différents neurotransmetteurs en perturbant des mécanismes neuroendocriniens [32], et pourraient également entraîner une diminution du métabolisme basal [33]. A-J Romain et al [34] ont voulu étudier l'effet d'un réentraînement en endurance ciblée au point d'oxydation maximale des lipides chez ces patients afin de déterminer si celui-ci présente un intérêt dans la prévention de cette prise de poids. 14 patients ont été entraînés pendant 3 mois. Chez les neuf

sujets dont le réentraînement a amélioré la VO<sub>2</sub>max, il a été constaté une perte de poids (83,57 kg à 80,67 kg ;  $p < 0,05$ ) et une réduction du tour de hanche ( $109,75 \pm 6,50$  cm à  $106,45 \pm 6,19$  cm). Chez les sujets dont la VO<sub>2</sub>max a diminué, on observe une augmentation de 5 kg de la masse grasse ( $23,82 \pm 1,06$  kg à  $28,8 \pm 1,31$  kg ;  $p < 0,02$ ). Un réentraînement à intensité LIPOXmax peut être efficace dans la prévention d'une prise de poids sous traitement psychotrope s'il s'accompagne d'une amélioration ergométrique traduisant sa bonne mise en œuvre et son efficacité.

## **2.6 De nombreux autres paramètres**

La littérature scientifique s'est également intéressée à de nombreux autres paramètres notamment l'étude entre les différentes populations avec par exemple la comparaison entre sexe, âge, poids et l'oxydation des substrats énergétiques. A titre d'exemple, Venables et al [35] ont montré que les hommes par rapport aux femmes avaient des taux plus faibles d'oxydation des graisses et un changement plus précoce vers l'utilisation des glucides comme carburant dominant. D'autres études ont porté sur des paramètres exogènes comme l'influence de l'alimentation au sens large (à jeun, polyphénols...) sur l'oxydation lipidique. Attalin et al [36] avait pu montrer qu'un petit déjeuner préalable diminue de 40% le débit maximal d'oxydation des lipides à l'exercice. Mais en dépit de l'augmentation de l'utilisation des glucides il persiste 60% de l'oxydation lipidique. Celle-ci se produit dans la même zone de puissance qu'à jeun.

## **2.7 Et l'oxydation glucidique ?**

Comparé à l'oxydation lipidique, son homologue l'oxydation glucidique a moins été étudiée. On peut citer une étude de 2018 réalisée par Brun JF et al [37] sur des sujets souffrant d'hypothyroïdie substituée par la lévothyroxine et ayant des difficultés à perdre du poids. Il avait été démontré que ce profil de patients présentaient une augmentation globale de la dépense énergétique pendant l'exercice, oxydant plus de lipides à des intensités légères à modérées et plus de glucides à des intensités élevées.

## **Partie 3 : MATERIEL ET METHODE**

### **3.1 Généralités**

Il s'agit d'une étude basée sur la plus grande base de données de calorimétrie du monde. L'objectif de cette étude était de quantifier et d'étudier l'oxydation lipidique et glucidique sur un large échantillon de population jamais encore atteint dans une étude. La plupart des études réalisées sur ce sujet ont utilisé un nombre limité de participants. Notre base de données, utilisée pour cette étude, apparaît donc comme son principal atout, aucune étude à ce sujet ne comporte autant de participants. De plus l'oxydation glucidique a moins été étudiée, ce large échantillon de population nous permettra de mieux comprendre cette dernière. 6467 sujets soit 4558 femmes et 1909 hommes d'âge et d'IMC appariés ont réalisé le matin à jeun une calorimétrie d'effort prescrite pour cibler une activité physique régulière dans le cadre d'une obésité et en vue d'une perte de poids. Les données ont été recueillies sur le site du CHU de Lapeyronie au sein du service des explorations métaboliques de Montpellier appelé CERAMM de 2005 à 2022. Après chaque calorimétrie, les principales caractéristiques recueillies étaient stockées dans une base de données. C'est cette base de données qui constitue la structure de notre étude.

### **3.2 Statistiques utilisées**

L'écart type (ET) mesure le degré de variabilité, ou de dispersion, des valeurs de données individuelles à la moyenne, tandis que l'erreur standard de la moyenne (SEM) mesure dans quelle mesure la moyenne de l'échantillon (moyenne) des données est susceptible d'être à partir de la vraie moyenne de la population. Dans cette étude nous avons privilégié l'utilisation du SEM car nous n'étions pas certains d'une distribution Gaussienne et cette dernière était donc plus adaptée. Le coefficient de corrélation est la mesure spécifique qui quantifie la force de la relation linéaire entre deux variables d'une analyse de corrélation. Le coefficient est noté  $r$  dans un rapport de corrélation. Le test-t de Student est un test statistique permettant de comparer les moyennes de deux groupes d'échantillons. Il s'agit donc de savoir si les moyennes des deux groupes sont significativement différentes au point de vue statistique.

Nos résultats étaient tous significatifs avec une plus-value ( $p$ ) inférieure à 0.001 ou 0.0001 avec un seuil retenu comme significatif inférieur  $p < 0.05$ .

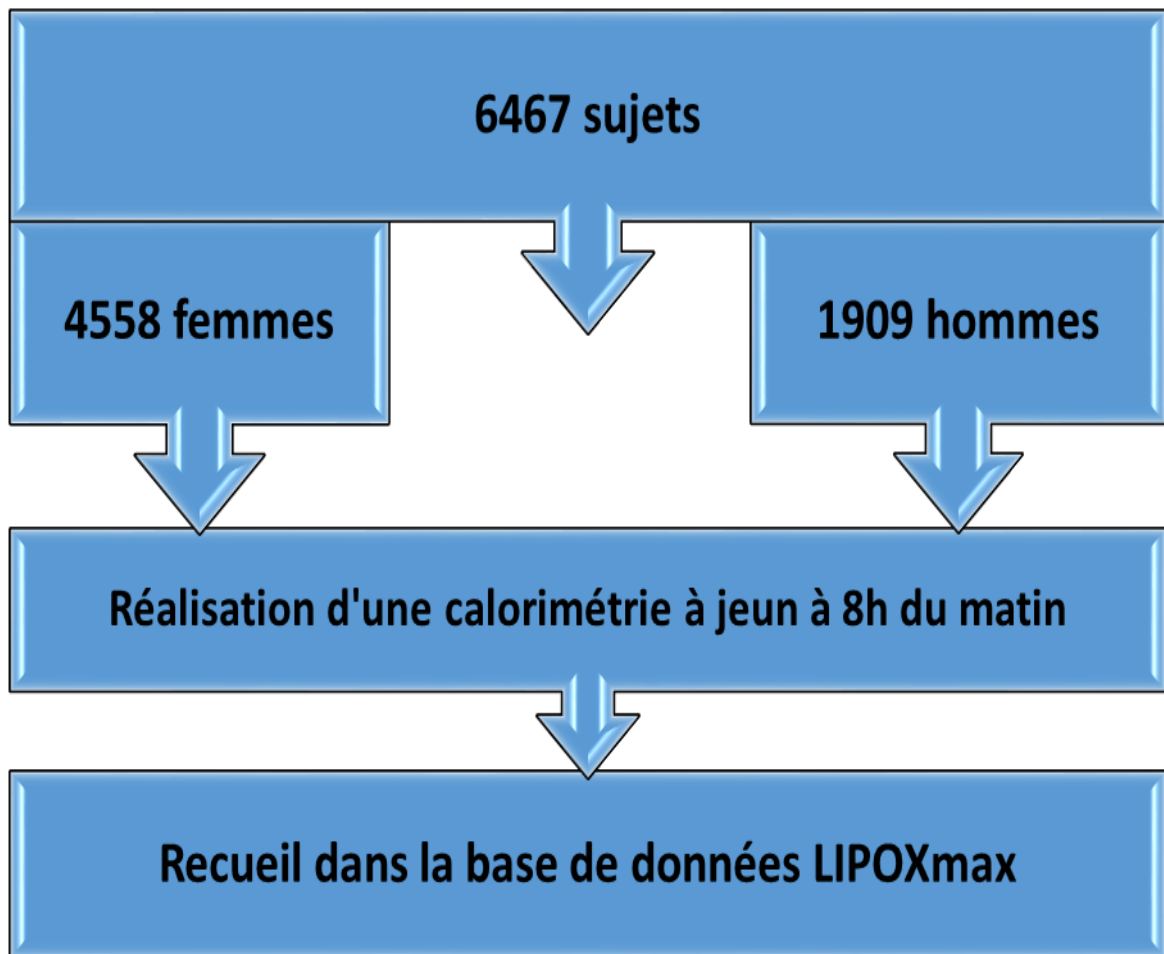


## **Partie 4 : RESULTATS**

### **4.1 Caractéristiques de base des patients**

Parmi les patients ayant réalisés des calorimétries d'effort durant la période sus citée, nous pouvions compter une majorité de femmes puisqu'elles représentaient 72% des participants alors que les hommes représentaient 30.1%. Dans ce large échantillon de population on comptait donc 4558 femmes et 1909 hommes. L'âge moyen des participants était un paramètre quasiment semblable dans les 2 sexes, à savoir une moyenne de 45.67 ans ( $\pm 0.676$ ) pour les femmes et une moyenne de 48.30 ans ( $\pm 1.105$ ) pour les hommes, on notait donc une différence de 2.63 ans entre les hommes et les femmes ( $P < 0.001$ ). Le participant le plus jeune était une femme âgée de 8 ans et le participant le plus vieux était un homme âgé de 92 ans.

En ce qui concerne les données morphologiques des patients on note bien évidemment une différence entre les 2 sexes, notamment au niveau de la taille, de la masse musculaire, de la masse maigre, de la masse grasse et de l'indice de masse corporel (IMC). La moyenne de la taille pour les femmes était de 162.73cm ( $\pm 2.41$ ) et pour les hommes elle était de 174.98cm ( $\pm 4.04$ ) avec une différence de 12.25cm ( $p < 0.001$ ). La masse maigre était en moyenne de 49.62 kg ( $\pm 0.767$ ) pour les femmes alors qu'on notait une masse maigre de 66.15 kg ( $\pm 1.613$ ) pour les hommes avec une différence de 16.53 kg ( $p < 0.001$ ). Quant à la masse musculaire elle était de 21.36 kg ( $\pm 0.343$ ) pour les femmes et de 31.93 kg ( $\pm 0.829$ ) pour les hommes avec une différence de 10.57 kg ( $p < 0.001$ ). Le pourcentage de masse grasse était significativement plus élevé chez la femme avec une moyenne à 43.91% ( $\pm 0.678$ ) alors que chez les hommes elle était de 34.16% ( $\pm 0.832$ ) ce qui nous faisait une différence de 9.75% ( $p < 0.001$ ). Pour l'indice de masse corporel (IMC) on notait par contre une relative similarité entre les 2 sexes avec un IMC moyen pour les femmes à 33.77kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 0.5$ ) et 33.11kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 0.758$ ) pour les hommes soit une différence de 0.66kg/m<sup>2</sup>, le rapport entre le poids et la taille était donc plutôt similaire entre les 2 sexes ce qui paraît logique ( $p < 0.001$ ).



*Graphique 1 : protocole de recueil des données*

	FEMMES	Erreur standard	HOMMES	Erreur standard	MOYENNE	Erreur standard
Nombre de participants	4558	NC	1908	NC	6332	NC
Age moyen en années	45.67	±0.676	48.30	±1.105	47.23	±0.583
Taille moyenne en cm	162.76	±2.410	174.98	±4.004	168.87	±2.088
Poids en kilos (kg)	89.36	±1.321	101.43	±2.319	95.395	±1.164
IMC moyen en kg/m <sup>2</sup>	33.77	±0.500	33.11	±0.758	33.44	±0.421
Masse maigre en kg	49.62	±0.767	66.15	±1.613	57.885	±0.712
Masse musculaire en kg	21.36	±0.343	31.93	±0.826	26.645	±0.332
Masse grasse en %	43.91	±0.678	34.16	±0.832	39.035	±0.541
Vo <sub>2</sub> max théorique	1605.98	±23.782	2400.9	±54.907	1829.44	±22.979

*Table 1 : principales caractéristiques anthropométriques et morphologiques des patients.*

## 4.2 Paramètres cardio-respiratoires

Principaux paramètres cardio-respiratoire recueillis lors d'une calorimétrie d'effort

Paramètres	Femmes	SEM	Hommes	SEM	Moyenne	SEM
Vo2 repos*	300.28	±4.446	345.15	±7.893	312.08	±3.919
VCo2 repos	245.72	±3.640	311.98	±7.134	263.86	±3.315
Vo2 max astrand**	23.99	±0.355	28.89	±0.661	25.42	±0.319
Vo2 max ACSM **	23.99	±0.355	28.89	±0.661	25.42	±0.319
Vo2 pallier 1	711.4	±10.533	704.19	±19.206	746.78	±9.379
Pallier 2	897.54	±13.289	948.86	±24.675	948.48	±11.912
Pallier 3	1094.98	±16.213	1262.59	±31.024	1169.15	±14.684
Pallier 4	1323.77	±19.601	1668.83	±38.588	1427.08	±17.924
Fréquence cardiaque repos**	77.98	±1.154	76.20	±1.742	77.21	±0.969
Pallier 1	94.18	±1.394	89.35	±2.043	92.57	±1.162
Pallier 2	105.34	±1.560	98.88	±2.261	103.29	±1.297
Pallier 3	118.47	±1.754	110.98	±2.538	116.15	±1.459
Pallier 4	134.92	±1.997	127.20	±2.910	132.60	±1.665

\*Valeur de Vo2/Co2 exprimées en ml/min

\*\*VO2 maximale Astrand : nomogramme permettant d'obtenir la valeur probable de la consommation d'oxygène maximale à partir d'une mesure de fréquence cardiaque réalisée au cours d'un travail musculaire sous-maximal. Exprimée en unités ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.

VO2max ACSM : L' American Collège of Sports Médecine (ACSM) a une équation pour déterminer le VO2 brut total d'une personne (le taux total de consommation d'oxygène pendant le repos et l'exercice), exprimée en unités ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>

\*\*\*Fréquence cardiaque exprimée en battements par minute (bpm)

Table 2 : paramètres cardio-respiratoires

Concernant les paramètres cardio-respiratoires, la VO<sub>2</sub> de repos semble plus élevée chez l'homme que chez la femme. Chez l'homme elle est de 345.15ml/min ( $\pm 7.89$ ) et 300.28ml/min ( $\pm 4.46$ ) chez la femme ( $P < 0.001$ ). La VCO<sub>2</sub> de repos est quant à elle de 311.98ml/min ( $\pm 7.134$ ) chez l'homme et de 245.72ml/min chez la femme ( $\pm 3.64$ ) ( $P < 0.001$ ). De manière très logique, la fréquence cardiaque augmente de manière parallèle avec l'intensité de l'effort et donc de la VO<sub>2</sub>. Ce qui signifie une bonne adaptation cardio-respiratoire au cours de l'exercice chez les 2 sexes. Contrairement aux paramètres purement respiratoires, la fréquence cardiaque semble très légèrement moins élevée au départ chez les sujets de sexe masculin. Au repos elle est de 76.20bpm ( $\pm 1.742$ ) chez l'homme contre 77.98bpm ( $\pm 1.154$ ) chez la femme ( $p < 0.001$ ). Elle est maximale au palier 4 chez la femme avec 134.92 bpm ( $\pm 1.997$ ) et elle est de 127.20 bpm ( $\pm 2.91$ ) chez l'homme ( $p < 0.01$ ).

### 4.3 L'oxydation lipidique

Paramètres lipidiques	Femmes	SEM	Hommes	SEM	Moyenne	SEM
	<i>Principaux paramètres*</i>					
LIPOX repos	134.92	±1.782	136.91	±3.131	135.915	±1.569
LIPOX pallier 1	199.86	±2.959	225.04	±5.146	212.45	±2.604
LIPOX pallier 2	177.71	±2.631	211.57	±4.838	199.64	±2.356
LIPOX pallier 3	123.91	±1.834	155.66	±3.560	139.785	±1.671
LIPOX pallier 4	45.02	±0.666	56.69	±1.365	50.855	±0.616
	<i>Autres paramètres**</i>					
LIPOX watt	40.57	±0.600	53.92	±1.233	47.245	±0.558
LIPOX Vo2	930.71	±13.782	1132.31	±25.895	1031.5	±12.4
LIPO2max %	45.62	±0.68	41.76	±0.96	43.69	±0.005
LIPOX mg/min	210.35	±3.114	238.46	±5.453	224.45	±2.741
LIPOX/Muscle	10.10	±0.162	7.79	±0.201	8.945	±0.129
LIPOX/kg de poids	1.38	±0.020	1.38	±0.031	1.38	±0.017
DMOL	210.35	nc	238.46	nc	224.4	nc

\*LIPOX repos + pallier 1 à 4 : oxydation lipidique de repos et aux principaux paliers lors du test sur ergocyclomètre. L'oxydation lipidique est exprimée en mg/min.

\*\*LIPOX watt qui correspond à l'oxydation lipidique exprimé en puissance (watts)

LIPOX Vo2 correspond à quel niveau de VO2 maximal se situe le LIPOXmax. Résultats en ml/min.

LIPO2max indiquant à quel niveau de VO2 maximale se situe le LIPOXmax. Résultats en % de Vo2.

LIPOX mg/min = débit du LIPOXmax, LIPOX/Muscle exprimé en débit à type de mg/min

LIPOX/kg de poids correspond à l'oxydation lipidique sous forme de rapport par kilos de poids corporel.

DMOL : débit maximal oxydation lipidique exprimé en mg/min.

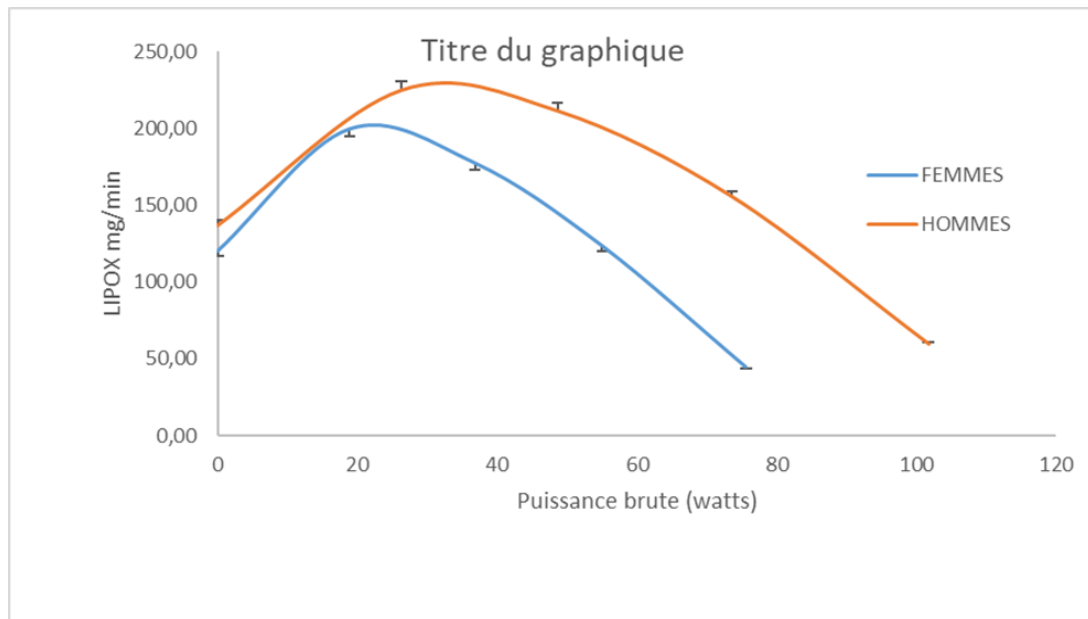
Table 3 : paramètres oxydation lipidique

#### 4.3.1 Oxydation lipidique de repos et aux principaux paliers

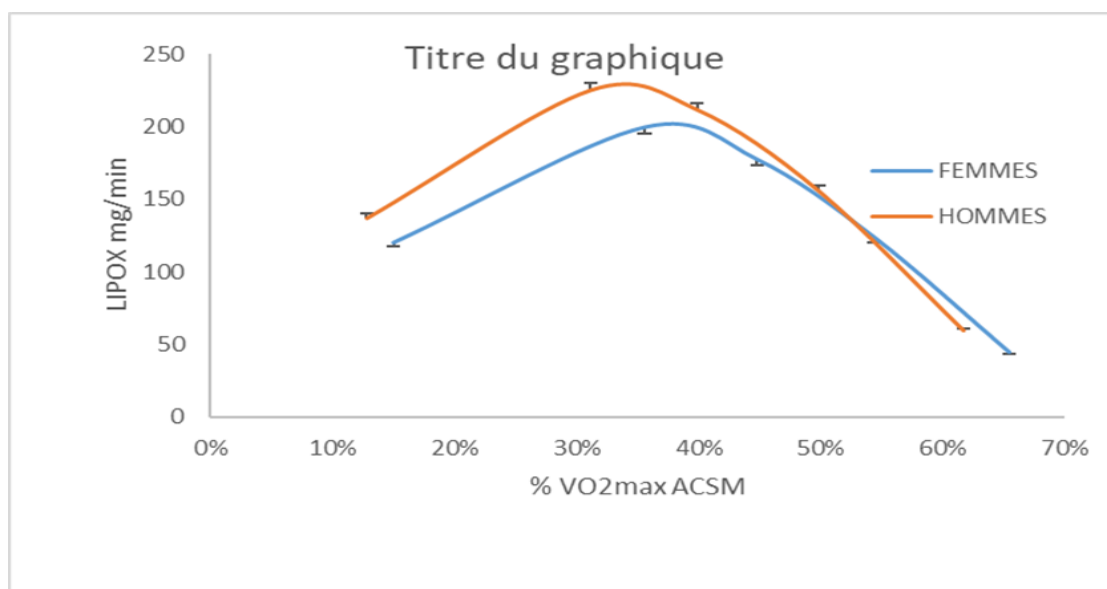
L'oxydation lipidique de repos semble légèrement plus élevée chez l'homme à 136.91mg/min ( $\pm 3.131$ ) que chez la femme à 134.92mg/min ( $\pm 1.569$ ,  $p < 0.001$ ). L'oxydation lipidique semble maximale pour les 2 sexes à hauteur du palier 1 de l'épreuve d'effort sur cycloergomètre. Chez la femme elle est de 199.86mg/min ( $\pm 2.959$ ) au palier 1 et est de 225.04mg/min ( $\pm 5.146$ ) chez les hommes ( $p < 0.001$ ). Le palier 1 correspond à environ 45.62% ( $\pm 0.68$ ) de la VO<sub>2</sub> max chez la femme et 41.76% ( $\pm 0.96$ ) de la VO<sub>2</sub> max chez l'homme ( $p < 0.001$ ). Si l'on inclut la fréquence cardiaque à ses résultats on peut dire que le LIPOXmax est atteint chez la femme à 45.62% ( $\pm 0.68$ ) de la VO<sub>2</sub> max et correspond à une fréquence cardiaque de 94.18bpm ( $\pm 1.394$ ), chez l'homme le LIPOXmax est atteint à 41.76% ( $\pm 0.96$ ) de la VO<sub>2</sub> max soit une fréquence cardiaque de 89.35bpm ( $\pm 2.043$ ) ( $p < 0.001$ ). Dès le palier 2 l'oxydation lipidique commence à décroître dans les 2 sexes. 177.71mg/min chez la femme ( $\pm 2.631$ ) et 211.57mg/min chez l'homme ( $\pm 4.838$ ,  $p < 0.001$ ). Au palier 3 on note une oxydation lipidique à 123.91mg/min ( $\pm 1.834$ ) chez la femme et 155.66mg/min ( $\pm 3.56$ ) chez l'homme ( $p < 0.001$ ). Le LIPOXmax atteint son point le plus bas dans les 2 sexes à hauteur du palier 4 et correspond à une oxydation des lipides à hauteur de 45.02mg/min ( $\pm 0.666$ ) chez la femme et 56.69mg/min ( $\pm 1.365$ ) chez l'homme ( $p < 0.001$ ).

L'oxydation lipidique présente donc une courbe en cloche avec un LIPOXmax au tout premier palier. Concernant l'oxydation des lipides en fonction de la puissance développée à l'exercice, celle-ci suit également une courbe en cloche avec un LIPOXmax atteint chez la femme à 18.87watts ( $\pm 0.28$ ) et chez l'homme à 22.94watts ( $\pm 0.524$ ,  $p < 0.001$ ) comme l'illustre la figure 6 ci-dessous. Après correction des données anthropométriques l'oxydation des lipides présente sa courbe en cloche bien connue légèrement décalée plus haut chez les femmes comme l'illustre la figure 7 ci-dessous.

La figure 6 : l'oxydation des lipides en fonction de la puissance développée, celle-ci suit une courbe en cloche avec un LIPOXmax atteint chez la femme à 18.87watts ( $\pm 0.28$ ) et chez l'homme à 22.94watts ( $\pm 0.524$ ,  $p < 0.001$ )



La figure 7 : l'oxydation des lipides présente sa courbe en cloche bien connue légèrement décalée plus haut chez les femmes (+9,2% de l'aptitude maximale aérobie soit 45,62% $\pm 0,68$  contre 41,76% $\pm 0,96$   $p < 0.001$ ).



Dans notre étude nous nous sommes également intéressés à l'oxydation des lipides en fonction de l'âge et de l'IMC. Il s'est avéré que plus l'IMC est important et moins l'oxydation des lipides est efficace, avec une diminution de l'oxydation des lipides proportionnelle avec le poids. On



note également des résultats similaires si l'on regarde l'âge des patients, à savoir une diminution de l'oxydation lipidique à mesure que l'on avance en âge.

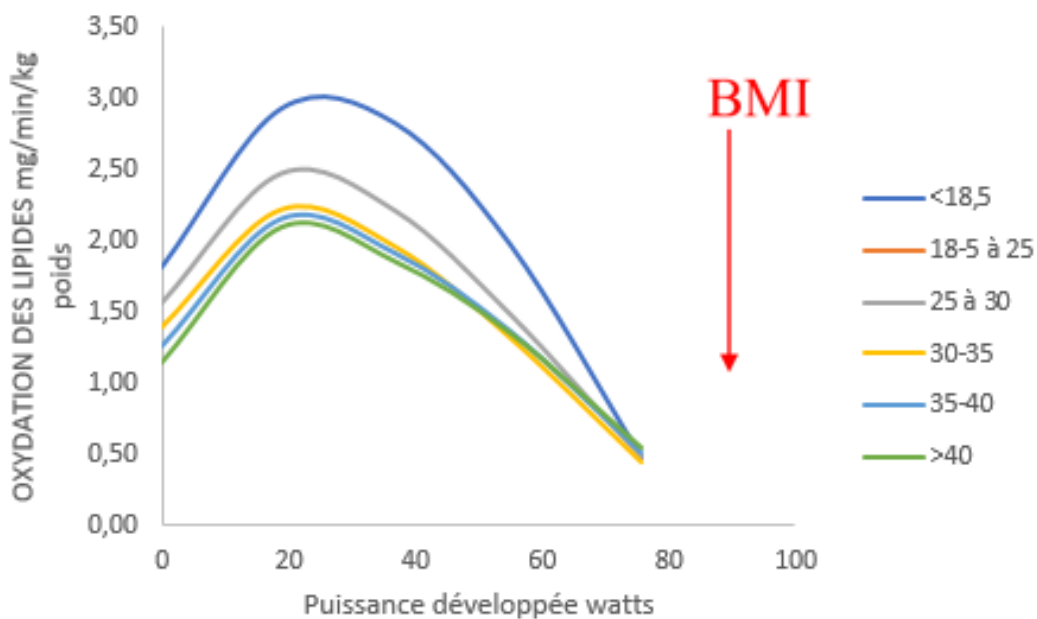


Figure 8 : L'oxydation des lipides est plus faible chez les personnes en surpoids ou obèse

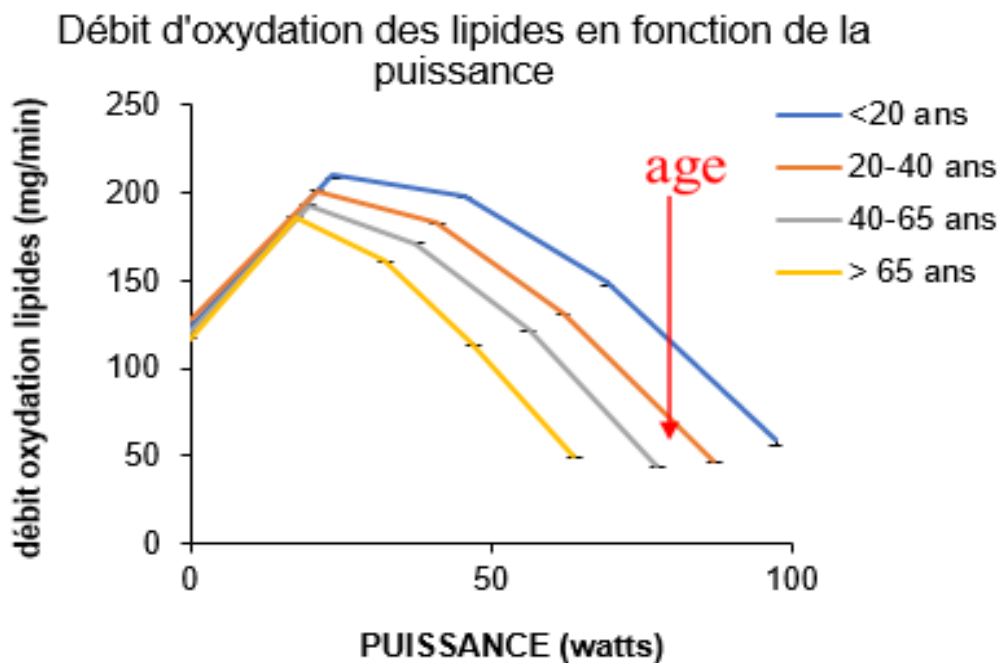


Figure 9 : A mesure que l'on avance en âge l'oxydation des lipides diminue

#### 4.3.2 autres paramètres lipidiques

Intéressons-nous maintenant à d'autres paramètres lipidiques clés permettant de mieux étudier l'oxydation lipidique. Parmi eux nous pouvons évoquer la densité maximale d'oxydation lipidique (DMOL) qui culmine pour les femmes à 210.35mg/min ( $p < 0.0001$ ) et 238,46mg/min ( $p < 0.0001$ ) chez l'homme. Ces données nous montrent donc que la DMOL est plus élevée chez l'homme.

Fait intéressant si nous exprimons la DMOL en mg/min/kg/muscle, celle-ci est plus importante chez la femme avec une moyenne à 10.10mg/min/kg/muscle ( $p < 0.0001$ ) contre 7.79mg/min/kg/muscle chez l'homme.

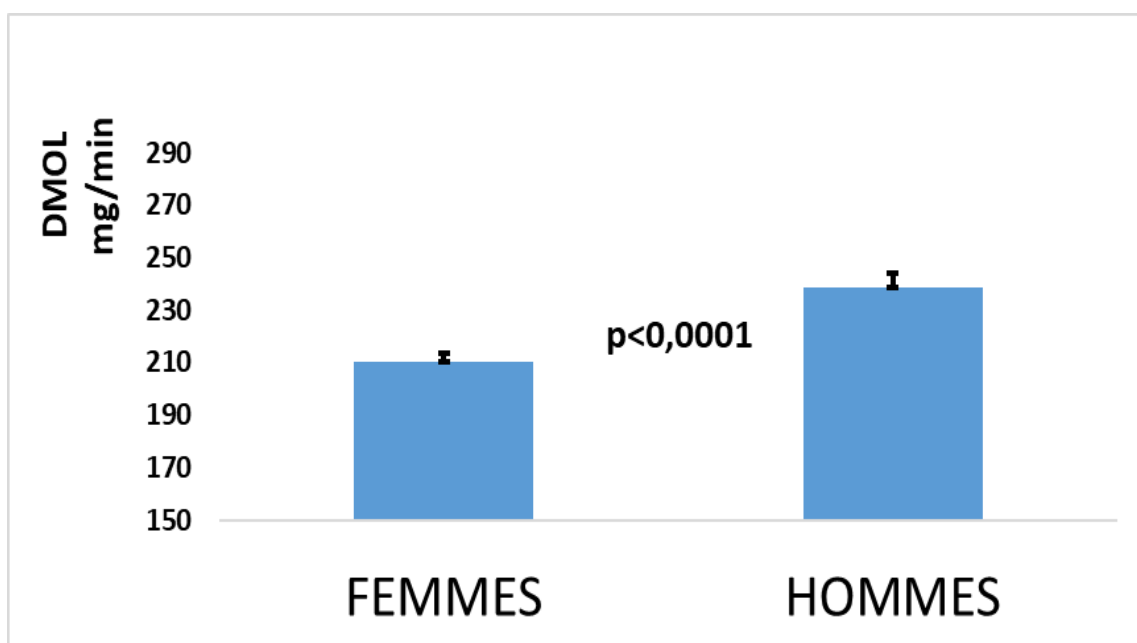


Figure : a

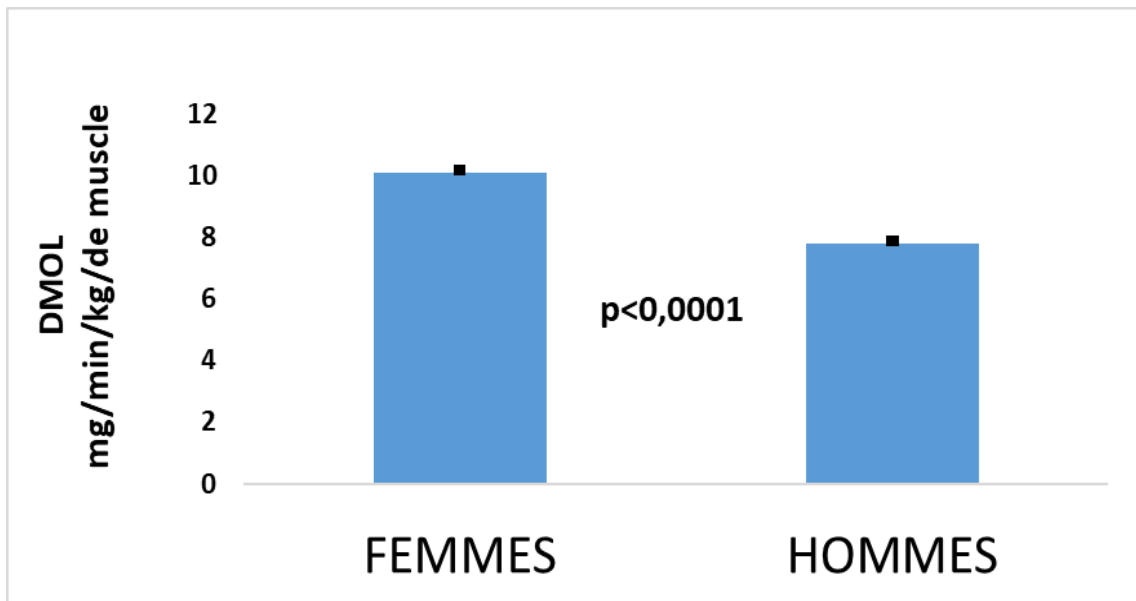


Figure : b

Figure 10: (a et b) densité maximale d'oxydation lipidique en mg/min et en mg/min/kg/de muscle.

#### 4.4 Oxydation glucidique

Paramètres glucidiques	Femmes	SEM	Hommes	SEM	Moyenne	SEM
	<i>Principaux paramètres Glucidiques</i>					
Glucosé repos	151.27	±2.240	208.62	±4.77	179.95	±2.092
Glucosé pallier 1	405.28	±6.001	519.47	±11.88	462.37	±5.47
Glucosé pallier 2	729.26	±10.798	869.77	±19.89	799.52	±9.635
Glucosé pallier 3	1150.39	±17.033	1412.6	±32.30	1281.48	±15.372
Glucosé pallier 4	1739.30	±25.754	2208.2	±50.50	1973.76	±23.527
	<i>Autres paramètres*</i>					
Coût glucidique en w	0.25	±0.004	0.21	±0.005	0.23	±0.003
Coût glucidique en w/poids	21.48	±0.318	20.76	±0.474	21.12	±0.267
Glucosé/kg de poids	1.74	±0.026	2.11	±0.048	1.92	±0.023

Oxydation glucidique au repos et au principaux pallier 1, 2, 3 et 4 exprimée comme l'oxydation lipidique en mg/min.

\*Coût glucidique exprimé en puissance (Watt) et en puissance par poids (W/kg).

GLUCox par kilos de poids corporelle au repos exprimé en mg/kilos/minute

Table 4 : paramètres oxydation des glucides

#### 4.4.1 Oxydation glucidique de repos et aux principaux paliers

Concernant l'oxydation glucidique de repos et aux principaux paliers, celle-ci se comporte de manière totalement différente de l'oxydation lipidique, en effet alors que le palier correspondant au LIPOXmax est le palier 1 pour les femmes comme les hommes, pour l'oxydation glucidique il semble que cette dernière augmente de manière proportionnelle à l'intensité. Au palier repos, l'oxydation glucidique débute à 151.27mg/min ( $\pm 2.240$ ) chez la femme contre 208.62mg/min chez l'homme ( $\pm 4.77$ ,  $p < 0.001$ ). Au palier 1 elles oxydent 405.28mg/min ( $\pm 6.001$ ) de glucose contre 519.47mg/min pour leurs homologues masculins ( $\pm 11.88$ ,  $p < 0.001$ ). Comme l'oxydation glucidique augmente de manière proportionnelle à l'intensité, on note logiquement une oxydation glucidique maximale pour les femmes comme pour les hommes au palier 4, avec 1739.30mg/min ( $\pm 25.754$ ) chez la femme et 2208.23mg/min ( $\pm 50.50$ ) chez l'homme ( $p < 0.001$ ). Rapportée à la fréquence cardiaque et la VO<sub>2</sub> maximale comme nous l'avons fait pour l'oxydation lipidique, on peut dire que plus la VO<sub>2</sub> maximale et la fréquence cardiaque à l'effort sont élevées, plus l'oxydation glucidique est importante. Il n'existe donc pas vraiment de courbe en cloche comme l'oxydation lipidique, l'oxydation glucidique suit une courbe ascendante comme illustré ci-dessous, et ce de manière linéaire chez l'homme comme chez la femme avec une ascension plus prononcée à partir de 40% de VO<sub>2</sub> maximale. Chez la femme le palier 4 d'oxydation maximale des glucides correspondait à une VO<sub>2</sub> max de 65% ( $\pm 0.01$ ) alors que chez l'homme elle correspondait à une VO<sub>2</sub> max de 62% ( $\pm 0.014$ ,  $p < 0.001$ ). Au palier 1, soit le palier d'oxydation le plus faible chez la femme, la VO<sub>2</sub> max était de 36% ( $\pm 0.005$ ) alors que chez l'homme elle était de 31% ( $\pm 0.007$ ,  $p < 0.001$ ). Au palier 2 chez la femme, la VO<sub>2</sub> max correspondait à 45% ( $\pm 0.0066$ ), au palier 3 à 54% ( $\pm 0.008$ ). Chez l'homme au palier 2, on note une VO<sub>2</sub> max à 40% ( $\pm 0.009$ ) et au palier 3 la VO<sub>2</sub> max était à 50% ( $\pm 0.011$ ) ( $p < 0.001$ ).

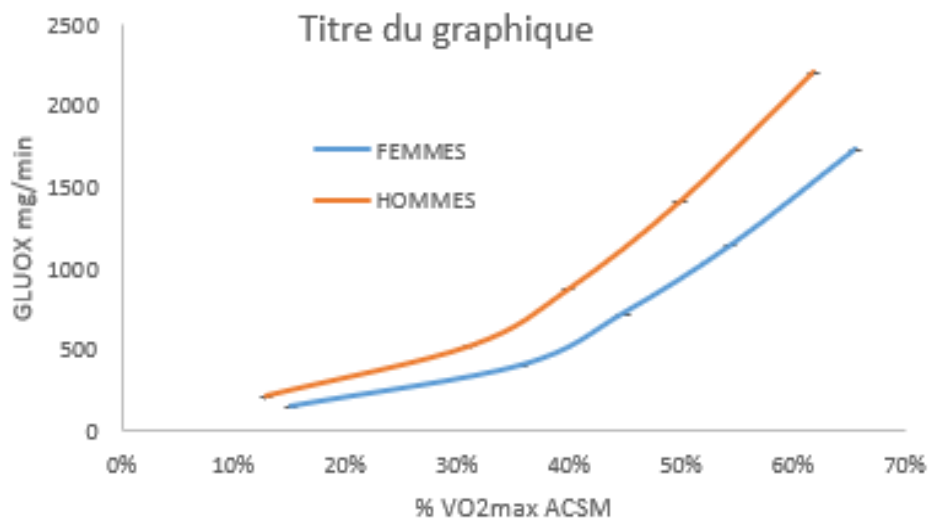


Figure 11 : courbe ascendante de l'oxydation glucidique.

#### 4.4.2 Coût glucidique du watt

Un des paramètres clés en dehors de l'oxydation des glucides aux principaux paliers est le coût glucidique du watt. Il peut s'interpréter comme une quantité de glucide qui va être métabolisée et nécessaire à l'organisme en fonction d'une puissance d'exercice. Il s'agit de la relation linéaire entre puissance et oxydation des glucides ramenée au poids corporel. Plus celui-ci est élevé et plus l'oxydation de glucides va être nécessaire pour maintenir une puissance donnée. L'oxydation des glucides augmente progressivement en fonction de la puissance dans les deux sexes et cette augmentation est approximativement linéaire dans la zone de puissance considérée. Chez les femmes cette augmentation est de 21,48 mg/min/watt ( $\pm 0,32$ ) contre 20,76 mg/min/watt ( $\pm 0,47$ ) chez les hommes. Lorsqu'on corrige ce paramètre par l'anthropométrie, les femmes ont un coût glucidique du watt supérieur de 17,70% ( $0,25 \pm 0,04$  contre  $0,21 \pm 0,005$  mg/min/kg/watt,  $p < 0,001$ ) comme le montre le graphique ci-dessous.

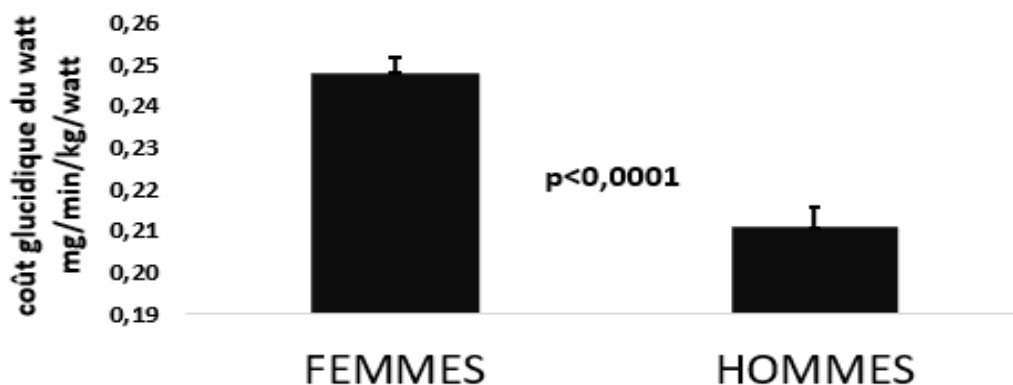


Figure 12 : coût glucidique femmes versus hommes.

La limite du quartile supérieur est de 0,255 mg/min/kg/watt chez les hommes et de 0,292 mg/min/kg/watt chez les femmes. Ce coût glucidique corrigé par le poids, est positivement corrélé au pourcentage de masse grasse ( $r=+0,211$ ). Il est négativement corrélé à la masse maigre ( $r=-0,506$   $p<0.001$ ), à la masse musculaire ( $r=-0,397$   $p<0.001$ ), et à l'ensemble des paramètres d'oxydation lipidique

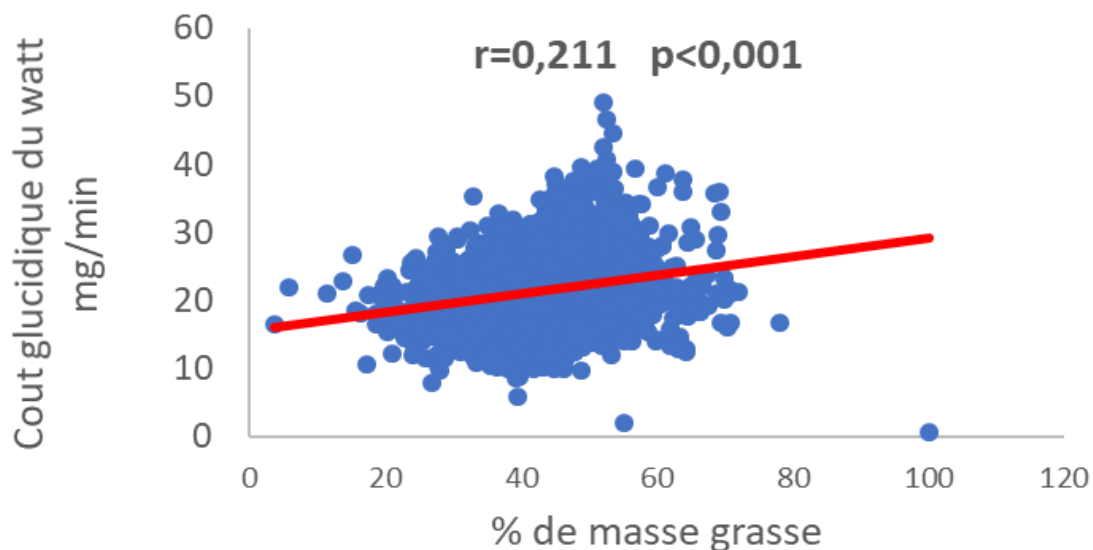


Figure A

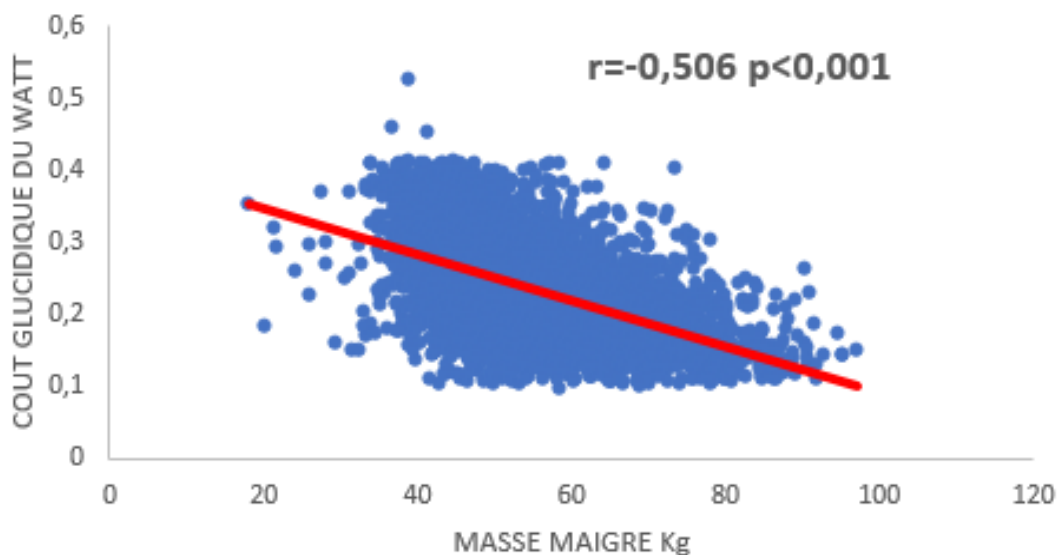


Figure B

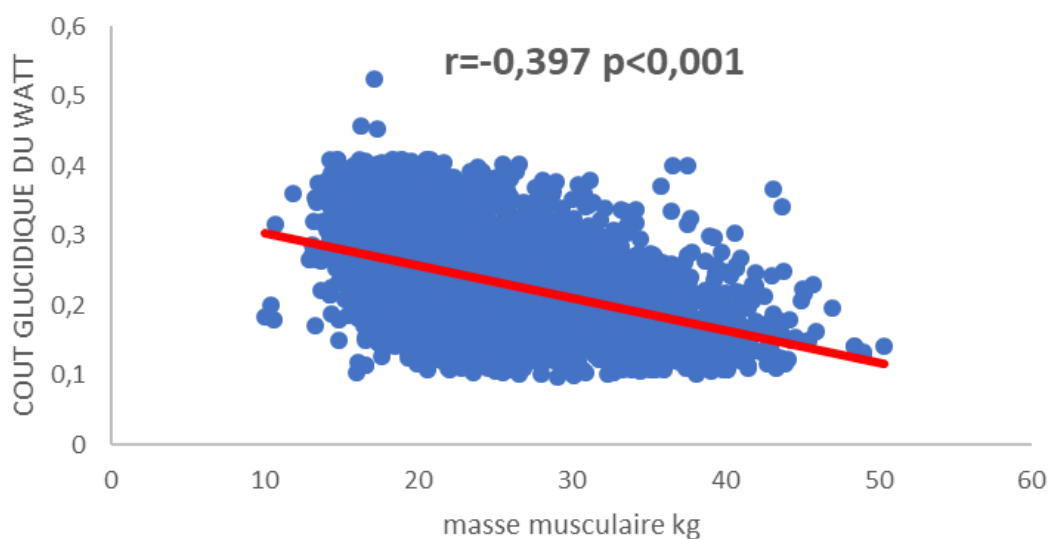


Figure C

*Figure 13 : coefficient de corrélation coût glucidique et masse grasse/masse maigre/masse musculaire :*

*A : coefficient r de Pearson entre le coût glucidique et le pourcentage de masse grasse, corrélation positive, le coût glucidique du watt semble corrélé au pourcentage de masse grasse ( $r=-0.211$ ).*

*B : coefficient r de Pearson entre le coût glucidique du watt et la masse maigre, corrélation négative, ( $r=-0.506$ ).*

*C : coefficient r de Pearson entre le coût glucidique du watt et la masse maigre, corrélation négative, ( $r=-0.397$ ).*

Plus le coût glucidique du watt est élevé et plus le point auquel les glucides représentent 100% des substrats oxydés (LIPOXzéro) est bas ( $r=-0,590$   $p<0.001$ ) comme le montre le figure 14 ci-dessous :



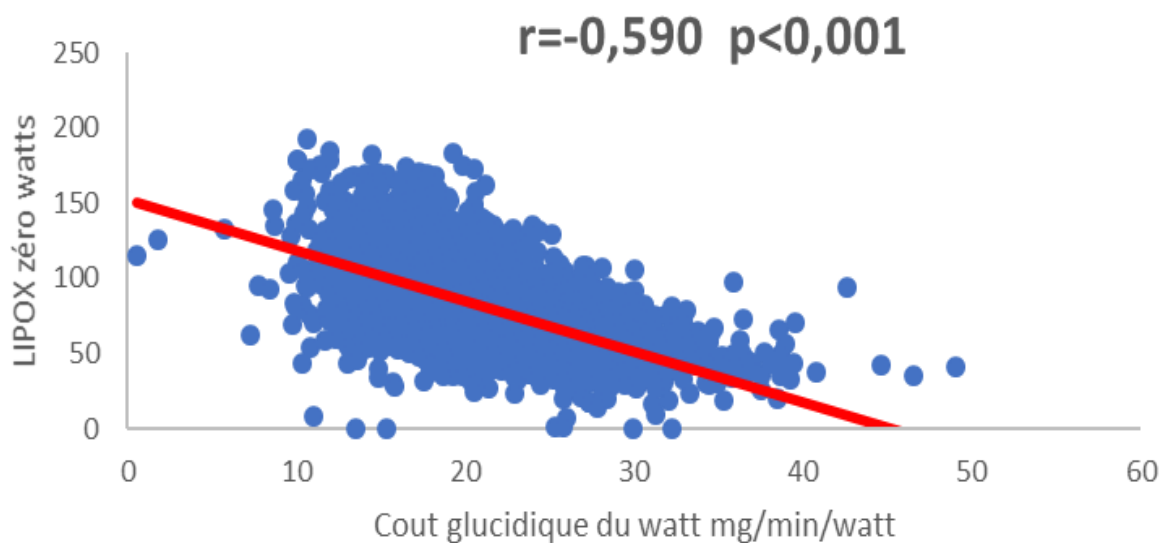


Figure 14 : coefficient de corrélation LIPOXmax en watts et coût glucidique, corrélation négative,  $r = -0.590$

Le coût glucidique du watt est négativement corrélé au LIPOXmax comme l'illustre la figure 15 ci-dessous :

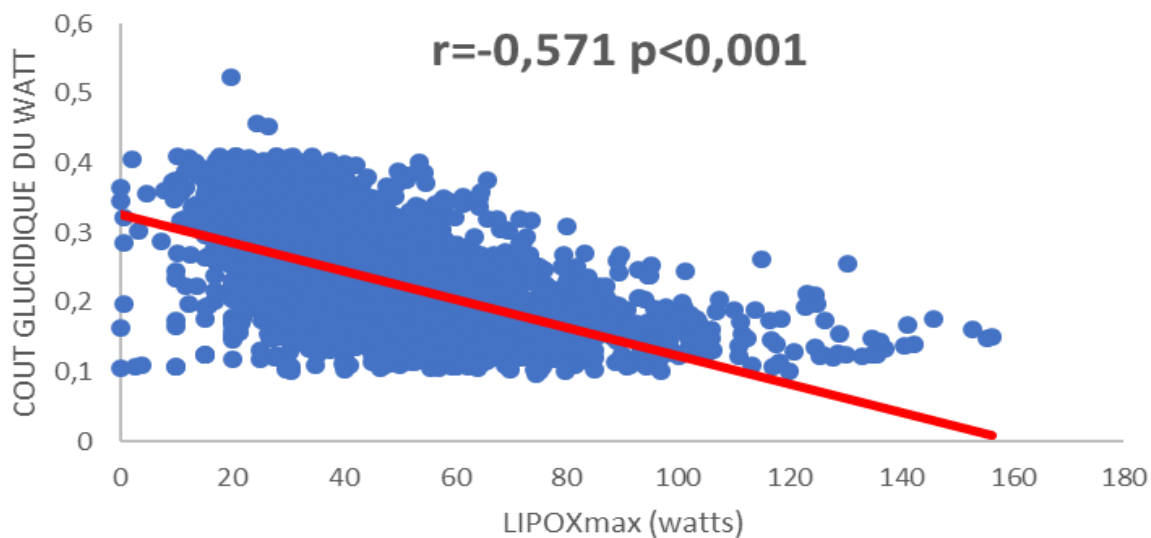


Figure 15 : coefficient de corrélation coût glucidique et LIPOXmax, corrélation négative,  $r = -0.571$

Le coût glucidique est négativement corrélé au débit maximal d'oxydation des lipides à l'exercice comme l'illustre la figure 16 ci-dessous.

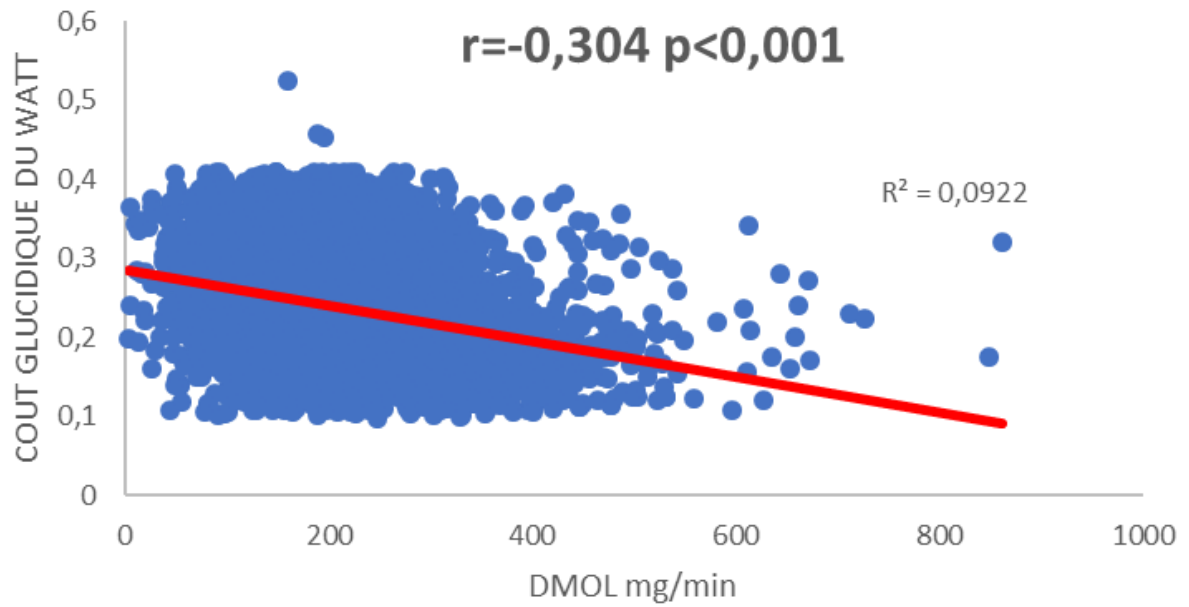


Figure 16 : coefficient de corrélation coût glucidique et débit maximal d'oxydation des lipides, corrélation négative,  $r = -0.304$

## **Partie 5 : DISCUSSION**

### **5.1 La mitochondrie, un organite clé dans l'oxydation des substrats**

Une des principales questions pertinentes, n'ayant pas été évoquée jusqu'à présent est : Par quel mécanisme physiopathologique l'entraînement à basse intensité permet de solliciter préférentiellement la voie de l'oxydation lipidique ?

Il semblerait que l'entraînement à intensité LIPOXmax soit naturellement ancré dans nos gènes et correspondrait à l'activité physique que réalisaient naturellement nos ancêtres les chasseurs-cueilleurs. On peut en effet supposer qu'à l'époque, ces derniers passaient en moyenne plusieurs heures par jour lors de leurs déplacements à oxyder en priorité les lipides. Ils gardaient les réserves de glycogène en cas de besoin seulement s'il y avait nécessité de réaliser un effort court et intense pour fuir un prédateur par exemple. Ce concept appelé génotype économe a été pour la première fois proposé par James V. Neel en 1962 [38]. De plus les aliments consommés à l'époque avaient un profil majoritairement riche en protéine et en lipide ce qui favorisait également l'oxydation lipidique. Il existe même des preuves archéologiques de la théorie du génotype économe [39]. La fonction mitochondriale semble être en première ligne pour expliquer l'oxydation des lipides et des glucides. Bordenave S et al [40] en ont pour la première fois rapporté la preuve sur des biopsies de tissus musculaires. Ils avaient pu rapporter le rôle de la citrate synthase, une enzyme mitochondriale qui se trouvait augmentée en cas d'activité physique à intensité LIPOXmax et qui était corrélée à l'amélioration de la respiration mitochondriale et l'oxydation maximale des graisses. Plus récemment Bader F et al [41] ont confirmé le rôle de la citrate synthase en démontrant des corrélations entre l'oxydation maximale des lipides, l'activité citrate synthase du vaste latéral et l'abondance de la translocase d'acide gras CD36. Sahlin et al ont aussi démontré que la mitochondrie semble être un organite intra cellulaire clé dans la physiopathologie de l'oxydation des graisses [42]. Lors d'exercices de faible intensité (35 % VO<sub>2</sub>max) il existe une corrélation entre l'oxydation des graisses au niveau mitochondrial et de tout le corps en entier.

### **5.2 Une forte intrication entre oxydation lipidique et glucidique**

Fait très important, Coyle EF et al [43] ont pu fournir des preuves claires que la disponibilité des glucides régule directement à la baisse l'oxydation des lipides pendant l'activité musculaire. A l'aide d'une perfusion intraveineuse d'acides gras à longue chaîne marqués, pendant 40 min de cycle à un état stable à 50% de VO<sub>2</sub>, ils ont engendré un flux glycolytique ayant in vivo directement inhibé l'oxydation des lipides. Inversement une diminution de la disponibilité des glucides, associée à une déplétion en glycogène a augmenté l'oxydation des lipides. Ces travaux

suggèrent donc une forte interdépendance et intrication entre les voies d'oxydation des différents substrats énergétiques dans l'organisme. D'autres auteurs ont démontré que certains enzymes mitochondriaux sensibles à l'oxydation des glucides entraînaient par ce fait une diminution de l'oxydation des lipides [44].

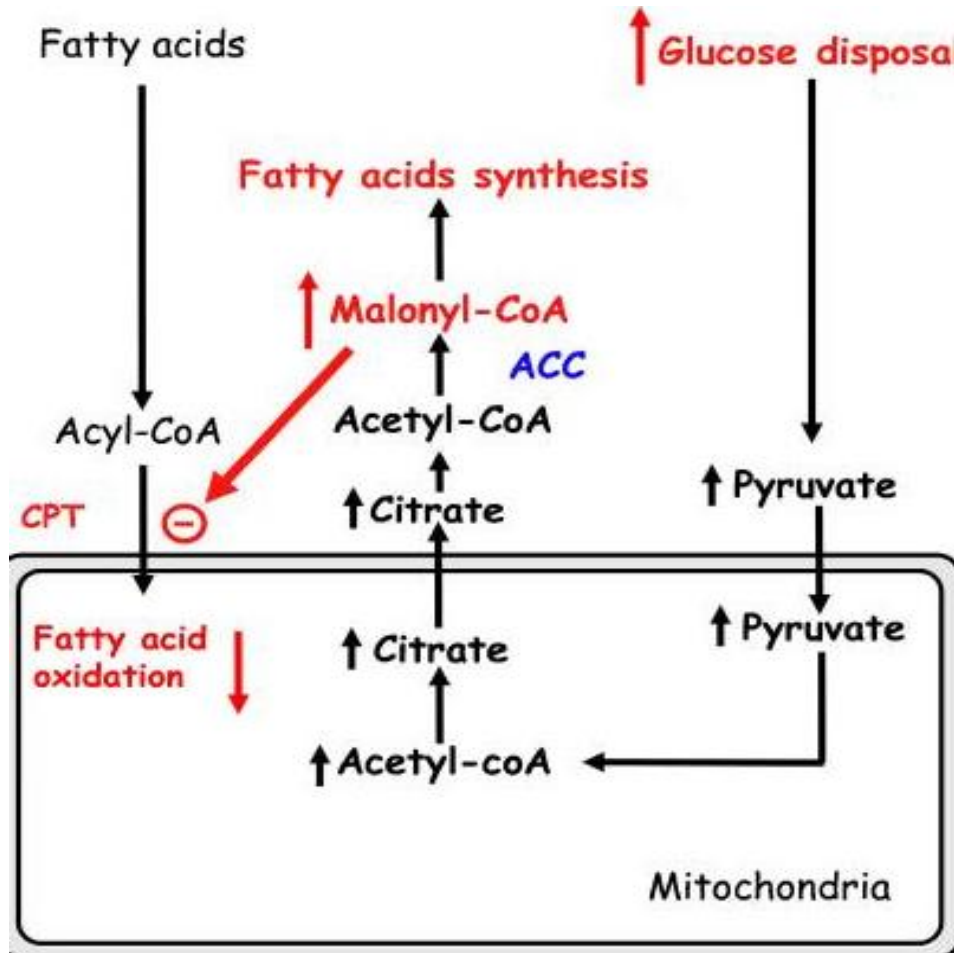


Figure 17 : Intrication et l'interdépendance des différentes voies d'oxydation des substrats énergétiques, ici la hausse de la disponibilité des glucides inhibe l'oxydation lipidique via la synthèse de différents enzymes comme le Malonyl-Coa [55]

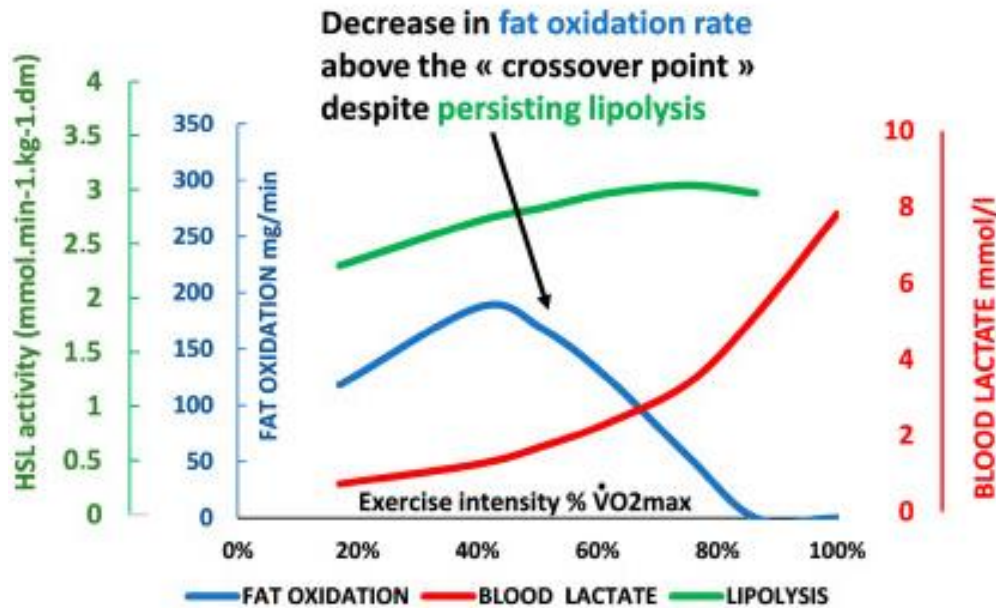


Figure 18 : courbe en cloche montrant que l'oxydation glucidique génère un métabolite connu appelé lactate ayant pour conséquence une inhibition de l'oxydation lipidique, qui confirme comme ci-dessus l'intrication et l'interdépendance des différents substrats énergétiques [55]

Quoiqu'il en soit toutes les voies métaboliques ne sont pas encore connues et de nombreuses découvertes restent à venir notamment sur l'existence d'enzymes clés ou encore de voies de dépendance.

### 5.3 Effet du LIPOXmax sur le comportement alimentaire

Il existe également un mécanisme indirect de maintien de poids à long terme qui n'est pas directement expliqué par l'entrainement   intensité LIPOXmax mais par un mécanisme indirect de régulation des apports alimentaires. La question a été largement étudiée par l'équipe de J Blundell et al [45]. Dans cette étude 58 hommes et femmes en surpoids et obèses ont effectué de l'activité physique à faible intensité. Dépense en moyenne de 2500 kcal/semaine. Les sensations d'appétit subjectives et l'efficacité rassasiant d'un petit déjeuner ont été comparées au départ à la semaine 0 avant le début de l'entrainement et à la semaine 12 à la fin du programme d'entrainement. Un système d'évaluation de l'appétit par questionnaire électronique a été utilisé pour mesurer les sensations d'appétit subjectives immédiatement avant et après le petit déjeuner, dans la période postprandiale immédiate et à travers toute la journée. Un quotient de satiété lors de la prise du petit-déjeuner a été déterminé en calculant l'évolution des scores d'appétit par rapport aux calories contenues dans le petit-déjeuner.

L'étude a montré qu'une réduction du poids corporel et de la composition corporelle s'accompagnaient d'une augmentation de la faim à jeun et de la faim moyenne tout au long de la journée. Le quotient de satiété immédiate et différée du petit-déjeuner a également augmenté significativement ( $P < 0,05$ ), ce qui démontrait que l'exercice physique à cette intensité avait un impact sur la régulation de l'appétit. JF Brun et al [46] ont confirmé cet effet indirect de l'entraînement au LIPOXmax en étudiant sur une étude de 25 sujets en surpoids l'effet de ce type d'entraînement sur la satiété. Les participants ont suivi un programme de 12 semaines d'exercice supervisé et ont été invités à maintenir leur régime alimentaire normal tout au long de l'étude. Plusieurs mesures ont été effectuées avant et après l'intervention incluant la composition et le poids corporel, l'enquête alimentaire, et le recueil du questionnaire de Hill qui est un questionnaire de la satiété (cf annexe 4). La ration alimentaire des sujets après 8 semaines d'entraînement au LIPOXmax a baissé en moyenne de  $362,71 \pm 91,20$  kcal/jour. Dans cette étude l'augmentation de la faim avait diminué ainsi que le désir de manger, les patients pensaient également moins à la nourriture. On peut donc supposer d'un potentiel intérêt de l'entraînement à intensité LIPOXmax. Néanmoins les études qui se sont intéressées à l'effet orexigène de ce type d'activité physique comprenaient dans leur protocole peu de patients et il serait nécessaire de réaliser de nouvelles études avec plus de patients afin de mieux comprendre le mécanisme sous-jacent d'autant qu'il semblerait exister des patients répondeurs et d'autres non répondeurs. Si cet effet était confirmé il constituerait un argument supplémentaire en faveur de l'entraînement au LIPOXmax chez les personnes en surpoids. Certains auteurs comme Gonzalez-Gil et al [47] ont avancé l'hypothèse que des molécules comme les myokines, myostatines et hépatokines modulées par l'exercice physique pourraient agir directement sur les contrôles de la satiété (cf annexe 5).

#### **5.4 Pathologies pouvant modifier la capacité à oxyder les lipides et les glucides**

Comme nous l'avons démontré précédemment, l'entraînement à intensité LIPOXmax permet à une grande majorité de patients de perdre du poids via l'oxydation des lipides et la perte de graisse corporelle. Néanmoins il semblerait exister certains états pathologiques ou maladies pouvant interférer avec cette capacité à oxyder les lipides. JF Brun et al [48] ont ainsi montré que chez les patients diabétiques de type 1 la calorimétrie d'effort chez les patients insulinés montre un défaut d'utilisation des lipides avec utilisation préférentielle des glucides. Dans cette étude trente-cinq patients souffrant de diabète de type 1 traités par pompe à insuline (13 femmes et 22 hommes) appariés avec 25 témoins ont réalisé une calorimétrie d'effort. Celle-ci a montré une diminution de l'aptitude à oxyder les lipides à l'effort chez les diabétiques de type 1 (déplacement

à gauche du point de croisement et du LIPOXmax,  $p < 0,001$ ), corrélativement à la durée du diabète et à l'excrétion urinaire d'albumine. Il semblerait que chez l'enfant cette baisse de la capacité à oxyder les lipides en cas de diabète de type 1 soit aussi le cas comme l'ont montré Fel S et al [49]. E.Soriano et al [50] ont montré que l'oxydation des glucides à l'exercice est un peu plus basse chez les anorexiques mentaux. Le niveau d'oxydation maximale des lipides est survenu à une puissance brute plus faible en raison d'une amyotrophie importante. Le syndrome d'apnée du sommeil semble lui aussi influencer la capacité à oxyder les lipides, comme l'ont démontré Desplan M et al [51], néanmoins l'entraînement améliorerait à la fois l'indice d'apnée et l'oxydation des lipides pendant l'exercice. L'entraînement au LIPOXmax pourrait montrer certaines limites en fonction des pathologies acquises. Il est probable que d'autres pathologies puissent elles aussi interagir avec la capacité à oxyder les lipides et les glucides. D'autres pathologies pourraient donc aussi être étudiées afin de compléter les études sus-citées et de cibler ou non plus spécifiquement certains types de patients en fonction de leur degré de réponse à l'entraînement LIPOXmax. Et au-delà des pathologies en général il peut être aussi question des patients prenant des médicaments spécifiques et pouvant eux aussi influencer la capacité à oxyder les lipides et les glucides. Il existe de nombreux médicaments d'usage courant en pratique clinique et probablement que nombre d'entre eux pourraient avoir un impact sur le métabolisme énergétique.

### **5.5 Quels paramètres retenir en pratique clinique courante ?**

La prédiction du LIPOXmax via calorimétrie d'effort nécessite des moyens matériels ainsi qu'un personnel qualifié et de ce fait une accessibilité pouvant constituer un obstacle dans certains cas. JF et al [52] ont donc cherché à savoir s'il était possible de déterminer le LIPOXmax sans réaliser d'épreuve d'effort en se basant uniquement sur les puissances, fréquences cardiaques et VO2max théoriques. L'objectif de cette étude était de déterminer s'il était possible de prédire le LIPOXmax sans faire de calorimétrie en se basant uniquement sur des paramètres comme la fréquence cardiaque. Dans cette étude 759 sujets ont réalisé une calorimétrie d'effort à 4 paliers de 6 minutes avec détermination du LIPOXmax et du point de Croisement. Il s'est avéré que 60-70 % des sujets ne seraient pas entraînés au niveau désiré si l'on s'était basé uniquement sur des données anthropométriques. La calorimétrie d'effort restait indispensable pour déterminer le LIPOXmax des différents individus qui sont distribués sur une vaste plage de puissances, et ce dernier n'est pas prédictible via les 3 paramètres sus-cités. Des auteurs ont tenté d'autres paramètres comme la prédictivité via l'échelle de Borg mais là aussi le résultat ne s'est pas avéré concluant. Une autre grande question concerne l'utilisation de certains paramètres comme la

fréquence cardiaque ou la VO2 max comme correspondance avec le LIPOXmax. Actuellement au CERRAM de Montpellier après obtention du LIPOXmax et sa conversion en puissance il est indiqué au patient la fréquence cardiaque cible correspondante à la plage de puissance du LIPOXmax. La fréquence cardiaque peut-elle être un paramètre fiable et utilisable en pratique clinique afin de se rapprocher au mieux de l'intensité LIPOXmax ? De même une VO2 max pourrait-elle être un reflet fiable du LIPOXmax ? Croci et al [53] ont étudié la corrélation entre la VO2 max et le LIPOXmax chez douze hommes en surpoids entraînés de manière récréative et 12 hommes maigres à l'aide d'une épreuve d'effort sur cycloergomètre. Dans cette étude le LIPOXmax et la VO2 max ont été déterminés par calorimétrie puis par modèle mathématique. Il a été retrouvé une corrélation entre les 2 modèles pour le LIPOXmax et la VO2 max, la fréquence cardiaque n'a pas été étudiée dans cette étude. Mais à l'avenir d'autres paramètres pourraient être étudiés et comparés, utilisables en pratique clinique et pertinente dans le contexte.

### **5.6 Utilisation des paliers de 3 minutes ?**

Dans cette étude concernant 6467 patients, ces derniers ont réalisé une calorimétrie avec 4 paliers de 6 minutes chacun. Néanmoins comme cité dans l'introduction certains auteurs ont avancé l'hypothèse d'une possibilité de réaliser une calorimétrie avec des paliers de 3 minutes seulement. Juul Achten et al [2] avaient pu démontrer la reproductibilité des résultats de calorimétrie sur des paliers de 3 minutes chez des cyclistes entraînés. Chrzanowski-Smith et al [53] ont étudié les variations interindividuelles à l'aide de palier de 2, 4 et 5 minutes. Chez 99 sujets sains ils ont montré qu'il existait un coefficient de variation intra-sujet de 21 % pour le LIPOXmax et de 26 % exprimés en pourcentage de la VO2. Croci et al [54] ont confirmé ce manque de fiabilité sur des paliers de 5 minutes. Dans une revue systématique Maunder et al [55] ont confirmé l'intérêt d'une utilisation de paliers appropriés pour obtenir une bonne reproductibilité et donc de préférence, de 6 minutes. Il semble donc exister un consensus assez net sur l'utilisation des paliers de 6 minutes pour garantir une bonne reproductibilité et le moins possible de variabilité inter-individuelle.

### **5.7 Concernant les caractéristiques de base des patients inclus dans cette étude**

On ne peut que constater la prédominance féminine de ce large échantillon de patients, en effet les femmes représentent 72% des patientes ayant réalisé une calorimétrie. L'une des premières hypothèses à cette prédominance féminine serait que les femmes sont plus soucieuses de leur santé que les hommes. Notamment en ce qui concerne les questions de poids. Elles seraient donc plus à même de venir réaliser une calorimétrie d'effort dans cette optique, car pour rappel une grande partie de notre échantillon provient de personnes en surpoids ou en situation d'obésité.



A l'inverse les hommes semblent moins préoccupés par les problématiques de poids. Ce large échantillon objectiverait une certaine réalité quant à la différence d'attrait entre les 2 sexes concernant la perte de poids.

Une autre caractéristique notable de ce large échantillon concerne l'indice de masse corporelle, la moyenne de notre étude se situe à 33.56kg/m<sup>2</sup> (+/-0.421). Cette caractéristique pourrait-elle biaiser le résultat de notre étude et ne pas représenter la population générale ? Il semblerait qu'au vu des précédentes études citées, incluant toute catégorie de patients allant de l'obésité au sportif professionnel, la courbe en cloche soit une constante stable et reproductible dans le temps peu importe les caractéristiques physiques des patients. Quant à l'oxydation glucidique, sur ce large échantillon, cette dernière semble également confirmer la tendance ascendante.

### **5.8 Force et faiblesse de cette étude**

La principale force de cette étude réside dans la taille de son échantillon, en effet elle ne compte pas moins de 6467 sujets ce qui est considérable, apportant une puissance statistique conséquente. Elle représente d'ailleurs à ce jour l'étude avec la plus grande base de données de calorimétrie dans le monde. Concernant le recueil de données, les sujets qui ont réalisé les calorimétries ont bénéficié de technologie de pointe avec une analyse précise sur un ensemble de paramètres préétablis et pertinents d'un point de vue physiologique et clinique. Le nombre de paramètres recueillis constitue lui aussi une force certaine de l'étude, permettant à la fois l'étude de l'oxydation des lipides et des glucides sur la gamme des principaux paliers. La première faiblesse de cette étude est bien évidemment l'absence d'aveugle, en effet il n'est pas possible de passer en aveugle une calorimétrie et le traitement des données n'a également pas été réalisé en aveugle. L'ensemble de l'étude a été réalisée en ouvert. Enfin la majorité des patients étaient en surpoids ou en obésité et représentait des sujets de sexes féminins pour les 3 quarts.

## **Partie 6 : CONCLUSION**

Nous pouvons donc conclure que sur un échantillon de 6467 sujets, 4558 femmes et 1909 hommes, l'oxydation des lipides a montré sa courbe en cloche bien connue avec un LIPOXmax à 45.62% ( $\pm 0.68$ ) de la VO2 max chez la femme et 41.76% ( $\pm 0.96$ ) chez l'homme. Concernant l'oxydation glucidique, moins étudiée auparavant, cette dernière a montré une courbe ascendante avec chez la femme un coût glucidique supérieur de 17%.

**L'oxydation lipidique culmine donc un peu plus haut chez les femmes, celles-ci oxydent également plus massivement les glucides dans les puissances élevées (après correction des données anthropométriques).**

## **Références bibliographiques**

[1] <https://www.chu-montpellier.fr/fileadmin/medias/Publications/Equipe-d-Exploration-Metabolique-CERAMM.pdf>

[2] Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE (2002) Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.*

[3] Perez-Martin A, Dumortier M, Raynaud E, Brun JF, Fedou C, Bringer J, Mercier J (2001) Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes Metab* 27: 466–74.

[4] Bordenave S, Flavier S, Fedou C, Brun JF, Mercier J (2007) Exercise calorimetry in sedentary patients: procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate oxidation and overestimate lipid oxidation. *Diabetes Metab* 33: 379–84.

[5] [www.académie.médecine.fr](http://www.académie.médecine.fr) (version 2023)

[6] Malin S.K., Stephens B.R., Sharoff C.G., Hagobian T.A., Chipkin S.R., Braun B. Metformin's effect on exercise and postexercise substrate oxidation. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2010;20:63–71. doi: 10.1123/ijsnem.20.1.63.

[7] Ghanassia E., Brun J.F., Fedou C., Raynaud E., Mercier J. Substrate oxidation during exercise: Type 2 diabetes is associated with a decrease in lipid oxidation and an earlier shift towards carbohydrate utilization. *Diabetes Metab.* 2006;32:604–610. doi: 10.1016/S1262-3636(07)70315-4.

[8] Mogensen M., Vind B.F., Højlund K., Beck-Nielsen H., Sahlin K. Maximal lipid oxidation in patients with type 2 diabetes is normal and shows an adequate increase in response to aerobic training. *Diabetes Obes. Metab.* 2009;11:874–883. doi: 10.1111/j.1463-1326.2009.01063.

[9] Aloulou I. Le coût glucidique du watt sur ergocycle : Une constante biologique ? Coût glucidique du watt sur ergocycle : Un paramètre biologique reproductible ? *Sci. Sport.* 2002 ; 17 : 315–317. doi : 10.1016/S0765-1597(02)00174-0.

[10] Brooks GA Importance du concept de « croisement » dans le accéléré de l'exercice. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 1997 ; 24 :889–895. doi : 10.1111/j.1440-1681.1997.tb02712.x.

- [11] Monique Mendelson, Michel Guinot, Anne Favre-Juvin, Bernard Wuyam, et Patrice Flore : Aspects méthodologiques de la mesure du lipoxmax : conditions d'application pour les personnes atteintes de pathologies métaboliques.
- [12] Achten, J., Gleeson, M., & Jeukendrup, A.E. (2002). Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (1), 92–97.
- [13] Brooks, G.A., & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the “crossover” concept. *Journal of Applied Physiology*, 76 (6), 2253–2261.
- [14] Romain, A.J., Carayol, M., Desplan, M., Fedou, C., Ninot, G., Mercier, J., Avignon, A, Brun, J.F. (2012). Physical activity targeted at maximal lipid oxidation: a meta-analysis. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 285–395.
- [15] Isaac A Chávez-Guevara 1, René Urquidez-Romero 1, Jorge A Pérez-León 1, Everardo González-Rodríguez 2, Verónica Moreno-Brito 2, Arnulfo Ramos-Jiménez. Chronic Effect of Fatmax Training on Body Weight, Fat Mass, and Cardiorespiratory Fitness in Obese Subjects: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials.
- [16] Lindstrom, J., Ilanne-Parikka, P., Peltonen, M., Aunola, S., Eriksson, J. G., Hämäläinen, K., Finnish Diabetes Prevention Study group (2006). Sustained reduction in the incidence of type 2 diabetes by lifestyle intervention: follow-up of the Finnish Diabetes Prevention Study. *Lancet*, 368 (9548), 1673–1679.
- [17] Nguyen JM, Richou M., Bughin F., Mercier J., de Mauverger ER, Brun JF Effet à 3 ans sur le poids et l'équilibre glycémique de l'exercice en endurance ciblé sur l'oxydation des lipides (LIPOXmax) chez des diabétiques de type 2 comparés à des non-diabétiques. *Nutr. Clin. Métab.* 2019 ; 33 : 55-56. doi : 10.1016/j.nupar.2019.01.322.
- [18] Romijn, J.A.; Coyle, E.F.; Sidossis, L.S.; Gastaldelli, A.; Horowitz, J.F.; Endert, E. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol.* 1993, 265, E380–E391.
- [19] B C Bergman 1, G A Brooks Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men, 1999.
- [20] Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women Anne Bach Stisen 1, Ole Stougaard, Josef Langfort, Jørn Wulff Helge, Kent Sahlin, Klavs Madsen, 2006.

[21] Friedlander, A.L.; Jacobs, K.A.; Fattor, J.A.; Horning, M.A.; Hagobian, T.A.; Bauer, T.A. Contributions of working muscle to wholebody lipid metabolism are altered by exercise intensity and training. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab*

[22] Dumortier, M.; Pérez-Martin, A.; Pierrisnard, E.; Mercier, J.; Brun, J.F. Regular exercise (3 × 45 min/wk) decreases plasma viscosity in sedentary obese, insulin resistant patients parallel to an improvement in fitness and a shift in substrate oxidation balance. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2002, 26, 219–229.

[23] Brandou, F.; Dumortier, M.; Garandea, P.; Mercier, J.; Brun, J.F. Effects of a two-month rehabilitation program on substrateutilization during exercise in obese adolescents. *Diabetes Metab.* 2003.

[24] The effects of training in LIPOXmax zone on body composition in middle-age obese women, M.R.Guedjatia S.Silinib, 2021, science et sport.

[25] Drapier E., Fédou C., Ghanassia E., Nocca D., Mercier J. L'exercice en endurance à faible intensité renforce-t-il l'efficacité amaigrissante d'une gastrectomie en manchon? *Sci. Sports.* 2016;31:162–165. doi: 10.1016/j.scispo.2016.02.003.

[26] Brun J.F., Lasteyrie V., Hammoudi L., Nocca D., Ghanassia E. Exercise targeted at the level of maximal lipid oxidation (LIPOXmax) improves weight loss, decreases orexigenic pulsions and increases satiety after sleeve gastrectomy. *Glob. J. Obes. Diabetes Metab. Syndr.* 2019;6:017–021.

[27] Drapier, E.; Cherif, A.; Richou, M.; Bughin, F.; Fedou, C.; Mercier, J.; Avignon, A.; Brun, J.F. Long term (3 years) weight loss after low-intensity endurance training targeted at the level of maximal muscular lipid oxidation. *Integr. Obes. Diabetes* 2018, 4, 1–6.

[28] Hammoudi, L.; Brun, J.F.; Noirez, P.; Bui, G.; Chevalier, C.; Gimet, F.; Mercier, J.; de Mauverger, E.R. Effects of 2 years endurance training targeted at the level of maximal lipid oxidation on body composition. *Sci. Sports* 2020, 35, 350–357.

[29] The weight-lowering effect of low-intensity endurance training targeted at the level of maximal lipid oxidation (LIPOX max) lasts for more than 8 years, and is associated with improvements in body composition and blood pressure J.-F.Bruna J.Myziaa E.Varlet-Marieb J.Mercier E.Raynaud de Mauvergera. *Sci. Sports* 2022.

[30] L'activité physique ciblée au LIPOXmax : une méta-analyse intervention versus contrôle Doi : 10.1016/S1262-3636(11)70631-0

[31] Chronic Effect of Fatmax Training on Body Weight, Fat Mass, and Cardiorespiratory Fitness in Obese Subjects: A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials 2020 Oct 28;17(21):7888. doi: 10.3390/ijerph17217888.

[32] Baptista T. Body weight gain induced by antipsychotic drugs: mechanisms and management, *Acta Psychiatr Scand* 1999;100:3-16.

[33] Ruetsch O, Viala A, Bardou H, et al. Prise de poids pharmaco-induite par les psychotropes et sa prise en charge: revue des données de la littérature. *L'Encéphale* 2005;31:507-16.

[34] Romain A.J., Attal J., Hermès A., Capdevielle D., Raimondi R., Boulenger J. Effets d'un réentraînement en endurance au LIPOXmax chez des patients psychiatriques traités par psychotropes. *Sci. Sports*. 2009;24:265–268. doi: 10.1016/j.scispo.2009.01.006.

[35] Venables, M.C.; Achten, J.; Jeukendrup, A.E. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: Across-sectional study. *J. Appl. Physiol.* 2005, 98, 160–167.

[36] Attalin, V.; Romain, J.; Desplan, M.; Carayol, M.; Ninot, G.; Fédou, C.; Brun, J.F. Effet d'un petit déjeuner sur le LIPOXmax. *Diabetes Metab.* 2011, 37, A19.

[37] Brun J.F., Metrat S., Nguyen J.M., Richou M., Rabta F.M. Les sujets atteints d'hypothyroïdie substituée oxydent plus de lipides et de glucides pendant l'exercice. *Ann. Musculoskelet. Med.* 2018; 2:013-016.

[38] Neel JV Diabète sucré : un génotype « économe » rendu préjudiciable par le « progrès » ? *Un m. J. Hum. Genet.* 1962 ; 14 : 353–362.

[39] O'Keefe JH, Vogel R., Lavie CJ, Cordain L. Exercice comme un chasseur-cueilleur : Une prescription pour la forme physique organique. *Programme. Cardiovasculaire. Dis.* 2011 ; 53 : 471–479. doi : 10.1016/j.pcad.2011.03.009.

[40] Bordenave S., Metz L., Flavier S., Lambert K., Ghanassia E., Dupuy A. L'amélioration induite par l'entraînement de l'oxydation des lipides dans le diabète sucré de type 2 est liée à des altérations de l'activité mitochondriale musculaire. Effet de l'entraînement d'endurance dans le diabète de type 2. *Diabète Metab.* 2008 ; 34 :162–168. doi : 10.1016/j.diabet.2007.11.006.

- [41] Curtis J.P., Selter J.G., Wang Y., Rathore S.S., Jovin I.S., Jadbabaie F., Kosiborod M., Portnay E.L., Sokol S.I., Bader F., et al. The obesity paradox: Body mass index and outcomes in patients with heart failure. *Arch. Intern. Med.* 2005;165:55–61. doi: 10.1001/archinte.165.1.55
- [42] Sahlin K., Mogensen M., Bagger M., Fernström M., Pedersen P.K. The potential for mitochondrial fat oxidation in human skeletal muscle influences whole body fat oxidation during low-intensity exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2007;292:E223–E230. doi: 10.1152/ajpendo.00266.2006.
- [43] Coyle E.F., Jeukendrup A.E., Wagenmakers A.J., Saris W.H. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *Am. J. Physiol.* 1997;273:E268–E275. doi: 10.1152/ajpendo.1997.273.2.E268.
- [44] Starritt E.C., Howlett R.A., Heigenhauser G.J., Spriet L.L. Sensitivity of CPT I to malonyl-CoA in trained and untrained human skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2000;278:E462–E468. doi: 10.1152/ajpendo.2000.278.3.E462.
- [45] King NA, Caudwell PP, Hopkins M., Stubbs JR, Naslund E., Blundell JE Action à double processus de l'exercice sur le contrôle de l'appétit : augmentation de la pulsion orexigène mais amélioration de la satiété induite par les repas. *Suis. J.Clin. Nutr.* 2009 ; 90 :921-927. doi : 10.3945/ajcn.2009.27706.
- [46] Guiraudou M., Romain AJ, Mawunu M., Bedjih K., Fédou C., Brun JF Effets chroniques de l'exercice ciblé au niveau d'oxydation maximale des lipides (LIPOXmax) sur le comportement alimentaire des sujets obèses sédentaires. *Sci. Des sports.* 2016 ; 31 : 13-18. doi : 10.1016/j.scispo.2015.09.001.
- [47] Gonzalez-Gil AM, Elizondo-Montemayor L. Le rôle de l'exercice dans l'interaction entre les myokines, les hépatokines, les ostéokines, les adipokines et la modulation de l'inflammation pour la redistribution du substrat énergétique et la perte de masse grasse : une revue. *Nutriments.* 2020 ; 12 :1899. doi : 10.3390/nu12061899.
- [48] Brun JF, Fedou C., Grubka E., Karafiat M., Varlet-Marie E., Mercier J. Moindre utilisation des lipides à l'exercice chez le diabétique de type 1. *Sci. Des sports.* 2008 ; 23 :198-200. doi : 10.1016/j.scispo.2007.12.016.

- [49] Fel S., Rochette E., Walther G., Echaubard S., Pereira B., Merlin E., Terral D., Duché P. L'oxydation maximale des graisses pendant l'exercice est déjà altérée chez les enfants prépubères atteints de diabète sucré de type 1. 2021; h 664211. doi : 10.3389/fphys.2021.664211. ]
- [50] Soriano E., Pascual O., Fédou C., Brun JF Oxydation des substrats énergétiques à l'effort dans l'anorexie mentale. Diabète Metab. 2011 ; 37 :A36. doi : 10.1016/S1262-3636(11)70630-9.
- [51] Desplan M., Avignon A., Mestéjanot C., Outters M., Sardinoux M., Fedou C. Capacité altérée à oxyder les lipides à l'exercice dans les cas d'apnée du sommeil sévère vs légère à modérée/syndrome obstructif du sommeil (SAOS ) . Clin. Pharmacol. 2010.
- [52] Le LIPOXmax (niveau d'oxydation maximal des lipides à l'exercice) peut-il être déterminé sans effectuer de calorimétrie d'effort ? Author links open overlay panelJ.F. Brun 1, C. Halbeher 2, C. Fédou 2, J. Mercier 2 [https://doi.org/10.1016/S1262-3636\(09\)72047-6](https://doi.org/10.1016/S1262-3636(09)72047-6).
- [53] Chrzanowski-Smith O.J., Edinburgh R.M., Thomas M.P., Haralabidis N., Williams S., Betts J.A., Gonzalez J.T. La fiabilité quotidienne de l'oxydation maximale des graisses et de FATMAX. Eur. J. Appl. Physiol. 2020; 120:1745-1759. doi : 10.1007/s00421-020-04397-3.
- [54] Croci I., Borrani F., Byrne N.M., Wood R.E., Hickman I.J., Chenevière X., Malatesta D. Reproducibility of Fatmax and fat oxidation rates during exercise in recreationally trained males. PLoS ONE. 2014; 9:e97930. doi: 10.1371/journal.pone.0097930.
- [55] Beyond the Calorie Paradigm: Taking into Account in Practice the Balance of Fat and Carbohydrate Oxidation during Exercise? Jean-Frédéric Brun , Justine Myzia , Emmanuelle Varlet-Marie, Eric Raynaud de Mauverger and Jacques Mercier.



## Annexes :

### 1) exemple de compte rendu de calorimétrie d'effort lors d'un HDJ obésité

**EXPLORATION FONCTIONNELLE METABOLIQUE  
ET MUSCULAIRE**

NOM : [REDACTED]      PRENOM : MATHILDE  
 IEP : 012000673      Sexe : Féminin  
 M(e) le : [REDACTED]      N° séjour : 708210618  
 Séjour CHU du 06/07/2020 Au 08/07/2020  
 Mode d'entrée CHU : Domicile      Mode de sortie CHU :  
 Montpellier, le mercredi 8 juillet 2020

Médecin demandeur : Dr [REDACTED]

**Calorimétrie d'effort réalisée le 06/07/2020**

Motif : Prise en charge d'une obésité de grade 1 par l'activité physique.

Test d'effort déjà réalisé en 2017 et en 2018, depuis le dernier test perte de 5 kgs. Madame Agre a mis en place une activité physique adaptée à type de vélo 45 minutes 2 à 3/semaine en contrôlant sa fréquence cardiaque.

Poids (kg) : 93.5      Taille (cm) : 164  
 IMC (kg/m²) : 34.8

- L'analyse de la part respective des substrats énergétiques oxydés à l'exercice montre que les glucides deviennent prédominant à partir de 55 Watts (soit 33 % de la puissance maximale théorique) ce qui correspond à une fréquence cardiaque de 128 puls/minute.

- Le point d'utilisation maximale des lipides se situe à 42 Watts (25 % de la puissance maximale théorique) et correspond à une fréquence cardiaque de 115 puls/minute.

- Le débit d'oxydation lipidique est de 151 mg/min au LIPOX max.

- Le point où il n'y a plus d'oxydation des lipides se situe à 83 Watts et correspond à une fréquence cardiaque de 158 puls/minute.

**En conclusion :**

Bon potentiel d'oxydation lipidique.  
 Index de masse musculaire perfectible.

Les conseils ont été donnés pour pratiquer une activité physique d'endurance au lipoxmax, soit à une charge de 40 Watts maximum, correspondant à une fréquence cardiaque à 115 /min (plateau 110 - 120 /min).

Mme Agre est motivée pour poursuivre son activité physique, on lui conseille des séances d'au moins 45 minutes 2-4 semaines plus variées (vélo, elliptique, marche rapide) tout en augmentant au maximum son activité physique dans sa vie quotidienne.

### 2) calcul en puissance du cross-over et du LIPOXmax et le deuxième le LIPOXmax en fonction de la VO2

PARAMETRES DE CALORIMETRIE D'EFFORT				
Point de croisement (30%Lipides - 70%Glucides) =	<b>29</b>	<b>watts</b>		
soit un rythme cardiaque de	<b>114</b>	<b>batt/min</b>	41%	Pmaxth (N>40%)
Point d'utilisation maximale des lipides (LIPOXmax) =	<b>25</b>	<b>watts</b>		
soit un rythme cardiaque de	<b>110</b>	<b>batt/min</b>	34%	Pmaxth (N>40%)
Débit maximal d'oxydation lipidique=	<b>308</b>	<b>mg/min</b>	(N>140)	

3) calcul du LIPOXmax en fonction de la VO2

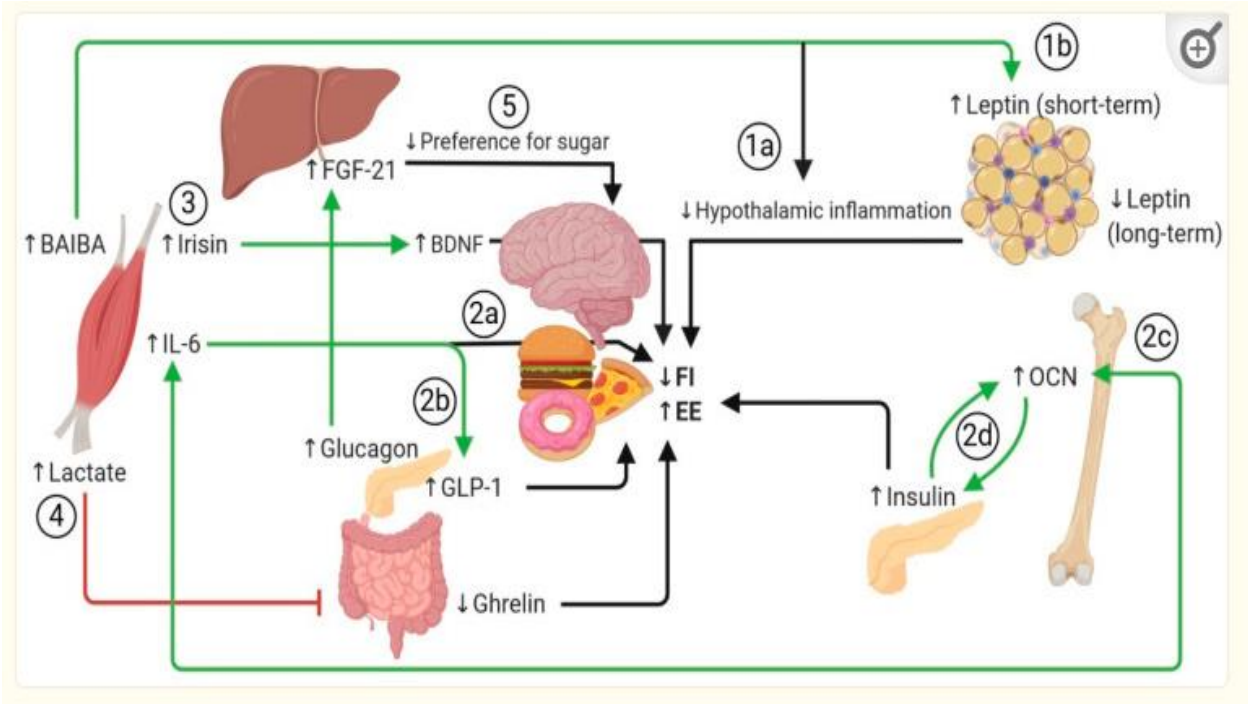
Point d'utilisation maximale des lipides (LIPOXmax) =				75%	% VO2max théorique
VO2 LIPOXmax=	854	53%	% VO2max ACSM	31%	% VO2max Borg
Point 0% Lipides/100% Glucides =					
VO2 LIPOzéro =	1299	81%	% VO2max ACSM	49	watts
			FC lipox zéro=	131	bpm
1607,89	VO2 PCX =	96%	% VO2max théorique		
	VO2 Lipoxmax =	75%	% VO2max théorique		
	VO2 LIPOzéro =	114%	% VO2max théorique		

4)Echelle de Hill de la satiété

Annexe 1. Échelle de Hill [11] utilisée dans ce travail (le dernier item a été rajouté pour ce travail et ne figure pas dans l'échelle initiale).

Quelle est votre faim Pas du tout faim	-----	Je n'ai jamais eu aussi faim
Comment vous sentez-vous rassasié ? Pas du tout rassasié	-----	Rassasié comme je ne l'ai jamais été
Quelle est l'intensité de votre envie de manger ? Très faible	-----	Très forte
Combien pensez-vous que vous pourriez manger maintenant ? Absolument rien	-----	Une grande quantité
Envie de manger Aucune envie de manger	-----	Très forte envie de manger Insupportable de ne pas manger
Pensez vous à la nourriture Vraiment pas du tout	-----	Il m'est très difficile de penser à autre chose
Au cours de cette séance d'exercice physique mon envie de manger a : Diminué	-----	Augmenté

5) Effets des facteurs inductibles par l'exercice sur le contrôle de l'appétit



## **SERMENT D'HIPPOCRATE**

« Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité »

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque."

## Résumé

La calorimétrie d'effort évalue l'oxydation des lipides et des glucides à différents niveaux d'exercice. L'aptitude à oxyder les lipides a été largement étudiée mais l'oxydation des glucides a moins été étudiée. 6467 sujets soit 4558 femmes et 1909 hommes d'âge et d'IMC appariés ont réalisé le matin à jeun une calorimétrie d'effort prescrite pour cibler une activité physique régulière. L'oxydation des lipides présente sa courbe en cloche bien connue légèrement décalée plus haut chez les femmes (+9,2% de l'aptitude maximale aérobie soit  $45,62\pm 0,68$  contre  $41,76\pm 0,96$ ,  $p<0.001$ ). L'oxydation des glucides augmente progressivement en fonction de la puissance dans les deux sexes et cette augmentation est approximativement linéaire dans la zone de puissances considérées. Chez les femmes cette augmentation est de  $21,48\pm 0,32$  contre  $20,76 \pm 0,47$  mg/min/watt chez les hommes, et lorsqu'on corrige ce paramètre par l'anthropométrie les femmes ont un coût glucidique du watt (CGW) supérieur de 17,70% ( $0,25\pm 0,04$  contre  $0,21\pm 0,005$  mg/min/kg/watt chez l'homme,  $p<0.001$ ). La limite du quartile supérieur est de 0,255 mg/min/kg/watt chez les hommes et de 0,292 mg/min/kg/watt chez les femmes. Ce CGW corrigé par le poids reste négativement corrélé au pourcentage de masse grasse ( $r=-0,388$ ), à la masse maigre ( $r=-0,506$   $p<0.001$ ) et à la masse musculaire ( $r=-0,397$   $p<0.001$ ), et à l'ensemble des paramètres d'oxydation lipidique (LIPOXmax  $r=-0,547$   $p<0.001$ ; Point de Croisement  $r=-0,546$   $p<0,001$ ). Plus le CGW est élevé, plus le point auquel les glucides représentent 100% des substrats oxydés (LIPOXzéro) est bas ( $r=-0,590$   $p<0.001$ ). Ces données obtenues sur un très large échantillon montrent donc que si l'oxydation lipidique culmine effectivement en moyenne un peu plus haut chez les femmes lorsque ce paramètre est corrigé pour l'anthropométrie et l'aptitude aérobie, celles-ci oxydent également plus massivement les glucides dans les puissances élevées.

**Mots clés** : calorimétrie d'effort, oxydation des lipides, oxydation des glucides, coût glucidique, LIPOXmax, Point de croisement, LIPOXzéro, puissance.