HAL open science

Relation entre complexité et attention à la douleur dans une tâche de marche avec distraction chez le patient lombalgique chronique

Alexis Homs

▶ To cite this version:

Alexis Homs. Relation entre complexité et attention à la douleur dans une tâche de marche avec distraction chez le patient lombalgique chronique. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02770014

HAL Id: dumas-02770014

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02770014v1

Submitted on 9 Oct 2020

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

Alexis HOMS

le lundi 8 avril 2019

Relation entre complexité et attention à la douleur dans une tâche de marche avec distraction chez le patient lombalgique chronique

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Arnaud DUPEYRON

JURY

Président : Madame le Professeur Isabelle LAFFONT

Assesseurs : Monsieur le Professeur Arnaud DUPEYRON

Monsieur le Professeur Pascal KOUYOUMDJIAN

Madame le Docteur Isabel TAVARES FIGUEIREDO

UNIVERSITE DE MONTPELLIER

FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER-NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Alexis HOMS

le lundi 8 avril 2019

Relation entre complexité et attention à la douleur dans une tâche de marche avec distraction chez le patient lombalgique chronique

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Arnaud DUPEYRON

JURY

Président : Madame le Professeur Isabelle LAFFONT

Assesseurs : Monsieur le Professeur Arnaud DUPEYRON

Monsieur le Professeur Pascal KOUYOUMDJIAN

Madame le Docteur Isabel TAVARES FIGUEIREDO

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018 - 2019

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

ALLIEU Yves
ALRIC Robert
ARNAUD Bernard
ASTRUC Jacques
AUSSILLOUX Charles
AVEROUS Michel
AYRAL Guy
BAILLAT Xavier
BALDET Pierre
BALDY-MOULINIER Michel
BALMES Jean-Louis
BALMES Pierre
BANSARD Nicole
BAYLET René
BILLIARD Michel
BLARD Jean-Marie
BLAYAC Jean Pierre
BLOTMAN Francis
BONNEL François
BOUDET Charles
BOURGEOIS Jean-Marie
BRUEL Jean Michel
BUREAU Jean-Paul
BRUNEL Michel
CALLIS Albert
CANAUD Bernard
CASTELNAU Didier
CHAPTAL Paul-André
CIURANA Albert-Jean
CLOT Jacques
D'ATHIS Françoise
DEMAILLE Jacques
DESCOMPS Bernard
DIMEGLIO Alain
DUBOIS Jean Bernard
DUMAS Robert
DUMAZER Romain
ECHENNE Bernard
FABRE Serge
FREREBEAU Philippe
GALIFER René Benoît
GODLEWSKI Guilhem
GRASSET Daniel
GROLLEAU-RAOUX Robert
GUILHOU Jean-Jacques
HERTAULT Jean
HUMEAU Claude
JAFFIOL Claude
JANBON Charles
JANBON François
JARRY Daniel
JOYEUX Henri
LAFFARGUE François
LALLEMANT Jean Gabriel
LAMARQUE Jean-Louis
LAPEYRIE Henri
LESBROS Daniel
LOPEZ François Michel
LORIOT Jean
LOUBATIERES Marie Madeleine
MAGNAN DE BORNIER Bernard
MARY Henri
MATHIEU-DAUDE Pierre
MEYNADIER Jean
MICHEL François-Bernard
MICHEL Henri
MION Charles
MION Henri
MIRO Luis
NAVARRO Maurice
NAVRATIL Henri
OTHONIEL Jacques
PAGES Michel
PEGURET Claude
PELISSIER Jacques
POUGET Régis
PUECH Paul
PUJOL Henri
PUJOL Rémy
RABISCHONG Pierre
RAMUZ Michel
RIEU Daniel
RIOUX Jean-Antoine
ROCHEFORT Henri
ROSSI Michel
ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
SAINT AUBERT Bernard
SANCHO-GARNIER Hélène
SANY Jacques
SEGNARBIEUX François
SENAC Jean-Paul
SERRE Arlette
SIMON Lucien
SOLASSOL Claude
THEVENET André
VIDAL Jacques
VISIER Jean Pierre

Professeurs Emérites

ARTUS Jean-Claude
BLANC François
BOULENGER Jean-Philippe
BOURREL Gérard
BRINGER Jacques
CLAUSTRES Mireille
DAURES Jean-Pierre
DAUZAT Michel
DEDET Jean-Pierre
ELEDJAM Jean-Jacques
GUERRIER Bernard
JOURDAN Jacques
MARES Pierre
MAURY Michèle
MILLAT Bertrand
MAUDELONDE Thierry
MONNIER Louis
PREFAUT Christian
PUJOL Rémy
SULTAN Charles
TOUCHON Jacques
VOISIN Michel
ZANCA Michel

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALBAT Bernard - Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
ALRIC Pierre - Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric - Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick - Parasitologie et mycologie
BONAFE Alain - Radiologie et imagerie médicale
CAPDEVILA Xavier - Anesthésiologie-réanimation
COLSON Pascal – Anesthésie-réanimation
COMBE Bernard - Rhumatologie
COSTA Pierre - Urologie
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
DAVY Jean Marc - Cardiologie
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel - Anesthésiologie-réanimation
DELAPORTE Eric - Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal – Pneumologie, addictologie
DE WAZIERES Benoît - Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DOMERGUE Jacques - Chirurgie générale
DUFFAU Hugues - Neurochirurgie
DUJOLS Pierre - Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
ELIAOU Jean François - Immunologie
FABRE Jean Michel – Chirurgie générale
FRAPIER Jean-Marc – Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
GUILLOT Bernard - Dermato-vénéréologie
HAMAMAH Samir-Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HEDON Bernard-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
HERISSON Christian-Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir-Anesthésiologie-réanimation
JEANDEL Claude-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JONQUET Olivier-Réanimation ; médecine d'urgence
JORGENSEN Christian-Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier-Biophysique et médecine nucléaire
LANDAIS Paul-Epidémiologie, Economie de la santé et Prévention
LARREY Dominique-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
LEFRANT Jean-Yves-Anesthésiologie-réanimation
LE QUELLEC Alain-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
MARTY-ANE Charles - Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MERCIER Jacques - Physiologie
MESSNER Patrick – Cardiologie
MONDAIN Michel – Oto-rhino-laryngologie
PELISSIER Jacques-Médecine physique et de réadaptation
RENARD Eric-Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques-Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIBSTEIN Jean-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
RIPART Jacques-Anesthésiologie-réanimation
ROUANET Philippe-Cancérologie ; radiothérapie
SCHVED Jean François-Hématologie; Transfusion
TAOUREL Patrice-Radiologie et imagerie médicale
UZIEL Alain -Oto-rhino-laryngologie
VANDE PERRE Philippe-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YCHOU Marc-Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1re classe
AGUILAR MARTINEZ Patricia-Hématologie ; transfusion
AVIGNON Antoine-Nutrition
AZRIA David -Cancérologie ; radiothérapie
BAGHDADLI Amaria-Pédopsychiatrie ; addictologie
BEREGI Jean-Paul-Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BLANC Pierre-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BORIE Frédéric-Chirurgie digestive
BOULOT Pierre-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAMBONIE Gilles -Pédiatrie
CAMU William-Neurologie
CANOVAS François-Anatomie
CARTRON Guillaume-Hématologie ; transfusion
CHAMMAS Michel-Chirurgie orthopédique et traumatologique
CHANQUES Gérald – Anesthésie-réanimation
CORBEAU Pierre-Immunologie
COSTES Valérie-Anatomie et cytologie pathologiques
CYTEVAL Catherine-Radiologie et imagerie médicale
DADURE Christophe-Anesthésiologie-réanimation
DAUVILLIERS Yves-Physiologie
DE TAYRAC Renaud-Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale
DEMARIA Roland-Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier-Dermatologie – vénéréologie
DE VOS John – Cytologie et histologie
DROUPY Stéphane -Urologie
DUCROS Anne-Neurologie
GARREL Renaud – Oto-rhino-laryngologie
HAYOT Maurice - Physiologie
KLOUCHE Kada-Réanimation ; médecine d'urgence
KOENIG Michel-Génétique moléculaire
LABAUGE Pierre- Neurologie
LAFFONT Isabelle-Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry-Cytologie et histologie
LAVIGNE Jean-Philippe – Bactériologie – virologie, hygiène hospitalière
LECLERCQ Florence-Cardiologie
LEHMANN Sylvain-Biochimie et biologie moléculaire
LE MOING Vincent – Maladies infectieuses, maladies tropicales
LUMBROSO Serge-Biochimie et Biologie moléculaire
MARIANO-GOULART Denis-Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan -Physiologie
MEUNIER Laurent-Dermato-vénéréologie
MOREL Jacques - Rhumatologie
MORIN Denis-Pédiatrie
NAVARRO Francis-Chirurgie générale
PETIT Pierre-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PERNEY Pascal-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel - Anatomie
PUJOL Jean Louis-Pneumologie ; addictologie
PUJOL Pascal-Biologie cellulaire
PURPER-OUAKIL Diane-Pédopsychiatrie ; addictologie
QUERE Isabelle-Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
SOTTO Albert-Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TOUITOU Isabelle-Génétique
TRAN Tu-Anh-Pédiatrie
VERNHET Hélène-Radiologie et imagerie médicale

PU-PH de 2ème classe
ASSENAT Éric-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BERTHET Jean-Philippe-Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BOURDIN Arnaud-Pneumologie ; addictologie
CANAUD Ludovic-Chirurgie vasculaire ; Médecine Vasculaire
CAPDEVIELLE Delphine-Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CAPTIER Guillaume-Anatomie
CAYLA Guillaume-Cardiologie
COLOMBO Pierre-Emmanuel-Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent-Radiologie et imagerie médicale
COULET Bertrand-Chirurgie orthopédique et traumatologique
CUVILLON Philippe-Anesthésiologie-réanimation
DAIEN Vincent-Ophtalmologie
DORANDEU Anne-Médecine légale -
DUPEYRON Arnaud-Médecine physique et de réadaptation
FAILLIE Jean-Luc – Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique, addictologie
FESLER Pierre-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GAUJOUX Viala Cécile-Rhumatologie
GENEVIEVE David-Génétique
GODREUIL Sylvain-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILLAUME Sébastien-Urgences et Post urgences psychiatriques -
GUILPAIN Philippe-Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
GUIU Boris-Radiologie et imagerie médicale
HERLIN Christian – Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
HOUEDE Nadine-Cancérologie ; radiothérapie
JACOT William-Cancérologie ; Radiothérapie
JUNG Boris-Réanimation ; médecine d'urgence
KALFA Nicolas-Chirurgie infantile
KOUYOUMDJIAN Pascal-Chirurgie orthopédique et traumatologique
LACHAUD Laurence-Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin-Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC Moglie - Néphrologie
LETOUZEY Vincent-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas - Neurologie
LOPEZ CASTROMAN Jorge-Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric-Rhumatologie
MAURY Philippe-Chirurgie orthopédique et traumatologique
MILLET Ingrid-Radiologie et imagerie médicale
MORANNE Olvier-Néphrologie
NAGOT Nicolas-Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NOCCA David-Chirurgie digestive
PANARO Fabrizio-Chirurgie générale
PARIS Françoise-Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PASQUIE Jean-Luc-Cardiologie
PEREZ MARTIN Antonia-Physiologie
POUDEROUX Philippe-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie-Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François-Pédiatrie
ROGER Pascal-Anatomie et cytologie pathologiques
ROSSI Jean François-Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François-Cardiologie
SEBBANE Mustapha-Anesthésiologie-réanimation
SIRVENT Nicolas-Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme-Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre – Dermato-vénéréologie
SULTAN Ariane-Nutrition
THOUVENOT Éric-Neurologie

THURET Rodolphe-Urologie
VENAIL Frédéric-Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max-Ophtalmologie
VINCENT Denis -Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry-Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne-Endocrinologie-diabétologie-nutrition

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

1re classe :
COLINGE Jacques - Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes

2ème classe :
LAOUDJ CHENIVESSE Dalila - Biochimie et biologie moléculaire
VISIER Laurent - Sociologie, démographie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

1re classe :
LAMBERT Philippe

2ème classe :
AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard
DAVID Michel

PROFESSEUR ASSOCIE - Médecine

BESSIS Didier - Dermato-vénéréologie
MEUNIER Isabelle – Ophtalmologie
MULLER Laurent – Anesthésiologie-réanimation
PERRIGAULT Pierre-François - Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
ROUBERTIE Agathe – Pédiatrie

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe
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
HILLAIRE-BUYS Dominique-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
GIANSILY-BLAIZOT Muriel – Hématologie, transfusion
PELLESTOR Franck-Cytologie et histologie
PUJOL Joseph-Anatomie
RICHARD Bruno-Thérapeutique ; addictologie
RISPAIL Philippe-Parasitologie et mycologie
SEGONDY Michel-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH de 1re classe
BADIOU Stéphanie-Biochimie et biologie moléculaire
BOUDOUSQ Vincent-Biophysique et médecine nucléaire
BOURGIER Céline-Cancérologie ; Radiothérapie
BRET Caroline - Hématologie biologique
COSSEE Mireille-Génétique Moléculaire
GABELLE DELOUSTAL Audrey-Neurologie

GIRARDET-BESSIS Anne-Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine-Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier – Médecine et santé au travail
MATHIEU Olivier-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas-Neuroradiologie
MOUZAT Kévin-Biochimie et biologie moléculaire
PANABIERES Catherine-Biologie cellulaire
PHILIBERT Pascal-Biologie et médecine du développement et de la reproduction
RAVEL Christophe - Parasitologie et mycologie
SCHUSTER-BECK Iris-Physiologie
STERKERS Yvon-Parasitologie et mycologie
TUAILLON Edouard-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YACHOUH Jacques-Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

MCU-PH de 2éme classe
BERTRAND Martin-Anatomie
DE JONG Audrey – Anesthésie-réanimation
DU THANH Aurélie-Dermato-vénéréologie
GALANAUD Jean Philippe-Médecine Vasculaire
GOUZI Farès-Physiologie
HERRERO Astrid – Chirurgie générale
JEZIORSKI Éric-Pédiatrie
KUSTER Nils-Biochimie et biologie moléculaire
MAKINSON Alain-Maladies infectieuses, Maladies tropicales
MURA Thibault-Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie-Psychiatrie d'adultes ; addictologie
PANTEL Alix – Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
PERS Yves-Marie – Thérapeutique, addictologie
SABLEWSKI Vanessa – Anatomie et cytologie pathologiques
THEVENIN-RENE Céline-Immunologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - Médecine Générale

Maîtres de conférence de 1ère classe
COSTA David

Maîtres de conférence de 2ème classe
FOLCO-LOGNOS Béatrice
OUDE-ENGBERINK Agnès

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES - Médecine Générale

GARCIA Marc
MILLION Elodie
PAVAGEAU Sylvain
REBOUL Marie-Catherine
SERAYET Philippe

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Maîtres de Conférences hors classe
BADIA Eric - Sciences biologiques fondamentales et cliniques

Maîtres de Conférences de classe normale
BECAMEL Carine - Neurosciences
BERNEX Florence - Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine - Sciences du médicament et des autres produits de santé
CHAZAL Nathalie - Biologie cellulaire
DELABY Constance - Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence - Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent - Sciences biologiques fondamentales et cliniques

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
TAULAN Magali - Biologie Cellulaire

PRATICIENS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES

DAIEN Claire-Rhumatologie
BASTIDE Sophie-Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GATINOIS Vincent-Histologie, embryologie et cytogénétique
PINETON DE CHAMBRUN Guillaume-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
SOUCHE François-Régis – Chirurgie générale
TORRE Antoine-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

Au Professeur Isabelle Laffont, présidente du jury. Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de juger ce travail, et de vous être rendue disponible malgré vos nombreux engagements. Pour votre humanité, et pour l'importance que vous attachez à la transmission des connaissances, notamment au lit du patient. J'avais déjà pu bénéficier de ces moments précieux en tant qu'externe de passage dans le service, ce qui m'a permis de mieux connaître la médecine physique, et qui a forcément influencé mon choix de spécialité.

Au Professeur Pascal Kouyoumdjian, je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse, pour un sujet à la fois proche, mais légèrement différent de votre cœur de spécialité. La vision concertée médico-chirurgicale est très utile et stimulante dans notre pratique, comme j'ai pu l'expérimenter au cours de plusieurs stages d'internat. J'espère pouvoir participer à la poursuite de ces collaborations dans notre hôpital dans les années à venir.

Au Professeur Arnaud Dupeyron, un grand merci pour m'avoir accompagné en tant que directeur de thèse, et m'avoir permis de croiser notre regard clinique avec celui de scientifiques fondamentaux. Mais surtout un grand merci pour m'avoir accompagné durant tout l'internat, depuis le premier stage où j'ai découvert le CHU de Nîmes avec plaisir. Ton dynamisme, ta capacité à assumer de nombreux projets et responsabilités, tout en restant abordable, forcent le respect. Merci de me faire confiance à partir du mois de mai, j'espère répondre aux attentes du mieux possible.

Au Docteur Isabel Tavares, je tiens à te remercier d'avoir accepté de participer au jugement de ce travail. Ta connaissance pratique et scientifique de la lombalgie, dans toutes ses dimensions, faisaient de toi la personne idéale pour compléter le jury à mon sens. J'espère pouvoir continuer à bénéficier de tes conseils et de ton expertise dans le futur, dans le cadre des collaborations entre Montpellier et Nîmes.

À ceux qui m’ont permis de réaliser ce travail

Aux patients et aux sujets sains qui ont accepté de participer, toujours avec sympathie, à ce travail.

À **Kjerstin Torre**, un très grand merci d’avoir accepté de co-encadrer ce travail, de m’avoir aidé à mieux comprendre les concepts théoriques qui étaient indispensables à la réalisation de cette étude, ainsi que pour m’avoir aidé à maîtriser les outils nécessaires à la réalisation de ce protocole. Pour m’avoir écouté et aiguillé avec bienveillance, et pour tes remarques toujours très pertinentes concernant les aspects oraux ou écrits de ce travail.

À **Simon Pla,** qui a pris du temps pour m’aider dans la mise en place initiale du dispositif expérimental, et qui a su être d’une disponibilité et surtout d’une efficacité sans faille en cas de problème technique, le tout avec une modestie et une gentillesse totales.

A **Dominique** et **Magali**, qui ont su me comprendre et m’aider pour la coordination et l’organisation pratique des sessions de recueil de données, le tout dans la bonne humeur

À ma famille

À mes parents, merci pour m'avoir toujours soutenu, et aussi toujours supporté (dans les deux significations du mot) ! Parfois ce n'était pas facile, comme lors de certains entraînements de tennis bien nonchalants, ou encore lors des visites à l'appartement de Proby le jeudi. J'espère quand même vous avoir aussi apporté quelques satisfactions ! Merci de m'avoir poussé à donner le meilleur de moi-même dans la bienveillance, je mesure la chance que j'ai eue de vous avoir. A mon tour de m'inspirer de vous en devenant parent.

À mes grands-parents, au bon souvenir (même si déjà lointain) des mercredis à Saint-Estève avec Papi **Marcel** et Mamie **Josette**, mais aussi des repas chez Mamie **Anna** et de son bon gâteau maillard. Une pensée pour **François**, le grand-père que je n'ai pas connu. À **Manou**, **Domi, Patrick**, pour votre gentillesse, les bons souvenirs de week-ends, de repas en famille, ou de vacances à Prats. À **Thomas**, on a bien grandi depuis le temps des matchs de rugby à un contre un, au rincon ou dans le magasin, mais tu n'as pas changé et tu as gardé ton humour. À **Virginie**, pour ta sympathie. À **Christine**, avec une pensée pour **Bernard** ; à **François**, **Christine**, **Marie**-**Laure**, **Aurélie**, **Guilhem**.

À mes beaux-parents, **Gilles** et **Dominique**, merci de m'avoir accueilli et de nous soutenir ; pour vos talents respectifs de bricoleur et de jardinière, et pour votre nouveau rôle de grand-parent ! À ma belle-sœur, **Stéphanie**, pour tes inspirations artistiques variées et toujours bien senties et ta gentillesse. À la famille de l'île de Ré, **Tony** et **Brigitte**, pour votre sympathie, nos discussions, votre accueil pendant les vacances, à **Lucas**, **Damien** et **Thaïs** (super marraine), tous adorables et si différents. À **Jacques** et **Suzanne** pour les beaux souvenirs et les tranches de vie. À **Pierre** et **Renée**, un peu loin à Quimper, mais vous nous recevez toujours aussi bien.

À **Flavie**, mon épouse, merci d’être dans ma vie. Nos caractères se complètent tellement bien, la vie me paraît simple avec toi. Tu as toujours été présente à mes côtés depuis notre rencontre, je ne l’oublierai pas. Nous avons partagé beaucoup de très beaux moments, et parfois eu des coups durs, mais chaque jour qui passe est une confirmation du bonheur que j’ai de vivre avec toi. Tout simplement, je t’aime.

À **Lucie**, tu es trop petite pour comprendre ce que dit papa, mais sache que tu me rends déjà si fier et comblé, et que tes sourires nous illuminent de joie.

À mes amis

À **Stéphan**, nous nous sommes suivis de la maternelle au lycée, et j'ai toujours autant de plaisir à te voir, et à discuter de tout et de rien, même si c'est plus rare que lors des énormes après-midi Olympiades quotidiennes lors des vacances scolaires ! Je suis ravi que tu aies accepté d'être le parrain de Lucie. Pour que le tableau soit parfait, il ne manque plus que l'USAP gagne des matchs. À **Laurent**, mon autre compère depuis tout petit, vaillant coéquipier de rugby piscine, et autres joyeusetés, mais aussi co-habitant du Vallespir, merci pour tous ces souvenirs partagés, ta gentillesse et j'espère que ça continuera per molts anys. À **Charlotte**, en montant à Montpellier, tu as aussi eu la chance d'habiter dans ces bons vieux appartements de Proby. Merci pour ta sympathie, ton ouverture d'esprit, et bravo pour ton parcours !

À **Julien**, compère des années médecine, depuis le tutorat physique où tu brillais de mille feux en séance et en soirées, en passant par l'externat et enfin les révisions de l'internat, merci pour ton humour, pour ces bonnes vieilles parties de squash ; au plaisir de se revoir sur Perpi rapidement. À **Jean-Baptiste**, toi aussi du tuto jusqu'à l'internat, nous avons partagé de bons souvenirs ensemble ; ton engagement pour les autres force le respect. À **Maxime**, j'ai commencé à te connaître en P1, et c'était un plaisir déjà de parler sport entre deux cours ou TD ; que de chemin parcouru ensuite, avec beaucoup de bons souvenirs, spéciale dédicace à Chris et ses Maximust, l'équipe que tu as géré avec passion comme tout ce que tu fais. J'espère qu'on pourra continuer à vivre de bons moments ensemble. À **Arthur**, quelle belle rencontre, le hasard d'Erasmus faisant bien les choses, je suis ravi d'avoir pu te connaître : merci pour ta profonde gentillesse, ton intérêt pour les autres, et j'espère que nous serons plus proches géographiquement dans les années à venir, tu sais ce que je te souhaite ! À l'équipe de rugby, notamment **Pierre**, notre capitaine frérot, à l'ancienne : que de grands souvenirs avec toi, notamment un sprint gagnant dans une rue de Montpellier, tard, très tard… je te sais très occupé et te souhaite le meilleur pour la suite. Mais aussi **Olivier**, pour ton humour, tes talents de beach tennisman que je vais devoir expérimenter bientôt. Et encore **Rémy**, **Simon**, **Karim**, **Arthur**… et les autres, pour les grandes épopées notamment les tournois amicaux dans la ville rose.

À **Claire**, pour les nombreuses heures passées au tennis et ailleurs, ta prise coup droit peut-être un peu fermée, mais quel niveau ! Puis pour les covoiturages vers Montpellier du dimanche soir, c'était toujours un plaisir. À **Suzanne** et **Bernard**, pour votre gentillesse et votre générosité. À **Marie**, pratéenne et à la famille Moly : pour nos talents de comédiens, ainsi que ceux de Jean-Michel pour défendre le thermalisme local !

À **Laure** et **Aurélien**, toujours un plaisir de vous voir, à Alrance, à Nîmes, ou ailleurs, et à très bientôt pour partager nos expériences de parents d'une petite fille ! À **Delphine** et **Alex**, et votre super petite famille, toujours partant pour un petit ventriglisse improvisé quitte à s'arracher une côte ; un grand merci d'avoir pu faire les gros travaux chez nous, tu nous as sauvé la mise ! À **Loïc**, pour ta sympathie, ta disponibilité quand il le faut malgré un emploi du temps bien chargé. À **Sandy** et **Papo**, maintenant partis bien loin, mais je suis sûr que vous reviendrez et que nous partagerons encore de bons moments. À **Anne-ma, Matt, Bastien**, **Tommy**, **Marion**, **Serpos**, **Alix**, **Aladdin**… j'ai appris à vous connaître et c'est toujours un plaisir de vous voir. À **Julie** et **Aymane**, pour la Marmarita, et pour l'accueil que vous avez su me réserver à chaque fois que j'en avais besoin à Marseille, trop sympas ! À **Gaëlle** et **Jean-Charles**, pour m'avoir si bien accueilli, en tant que marrain du petit **Victor** déjà devenu si grand ! À votre tour de regarder grandir notre petite, dans le sillon d'**Eléonore**.

À **Hector**, tu es devenu un ami bien plus qu'un co-interne, merci pour tous ces moments de discussions diverses et variées, pour ta volonté d'expliquer et de transmettre le savoir acquis auprès d'autres. Merci aussi pour ces stages d'internat passés ensemble, avec une mention spéciale pour celui au Grau-du-Roi dans une ambiance décontractée. À **Marion**, pour ta sympathie et ton ouverture d'esprit. Bon vent à vous deux, je vous souhaite le meilleur et qu'on puisse se voir de temps en temps ! À **Valérie**, pour ton accueil lors de mon stage d'internat, nos nombreuses discussions depuis le service jusqu'au self, ton humour, pour ton énergie et ta capacité de partir à l'autre bout du monde ; c'est toujours un plaisir de te revoir.

À la **famille Jalabert**, vous êtes évidemment bien plus que des voisins pour moi. Merci « **Maman Jalabert** » de m'avoir toujours accompagné, écouté lors de mes révisions de leçons, pour ta gentillesse, à « **Papa Jalabert** », pour ton humour, tes talents de bricoleur, de musicien. À **Céline**, **Brice** et **Vincent**, pour m'avoir accueilli comme un membre de la famille, pour tous les bons souvenirs de l'enfance jusqu'à l'adolescence ; je vous souhaite tout le meilleur ainsi qu'à **Corentin**, le petit dernier déjà grand.

À mes cointernes de MPR ou d'ailleurs

À **Benjamin** pour ton expérience de (double) papa, mais surtout ton humour et tes compétences d'EMGiste que tu me permets de partager une fois par semaine. À **Célia** pour ta bienveillance et tes bons conseils avant le choix de spé, et pour nos futurs moments de co-chef. À **Clarisse**, pour ton énergie et ta gentillesse, ce sera aussi un plaisir de travailler à tes côtés. À **Juliette**, tout aussi sympathique, pour ton humour et ces excellents moments passés à Propara notamment. À **François**, pour notre soutien mutuel en préparation du Master 2, pour ton ultra-dynamisme qui te pousse à courir tous les sommets, multiplier les projets : je te souhaite le meilleur dans ta vie de famille également (la bise à Isaac et Karolina). À **Clémence**, pour les moments partagés en stage à Lapeyronie, **Matthias**, pour ta passion du roller qui a failli te jouer des tours. À **Andrès** pour son aménité et son ouverture d'esprit incroyable, mais aussi pour être venu voir la fête de l'ours depuis Cerbère. À **Marion**, pour ta compétence, ton exigence, et ta grande sympathie.

À **Fanny**, pour le sacerdoce que tu as accompli pour être référente de spé, mais surtout pour le Bowling de Rodez et autres moments joyeux en DES ou congrès. À **Adel** pour ta palette d'humour extrêmement variée, ta bonne humeur et tes connaissances en rasoir manuels. À **Minh** pour ton dynamisme, ta maîtrise des sports de combat (y compris la médecine manuelle), mais aussi ton côté chasseur d'appartement. À **Sylvain**, pour ton humour, tes connaissances en technologie diverses et variées, et pour la côte Ouest que nous avons un peu en commun. À **Justine**, pour les nombreux moments de début d'internat en commun, et les prochains qui arrivent au pavillon 3. À **Hélène**, nous serons chefs à quelques mètres à vol d'oiseau à partir de mai, j'espère que nous continuerons à travailler en commun, ce sera en tout cas un plaisir ; bon courage pour ton étude en attendant. À **Orianne**, pour ta combativité à toute épreuve et les moments passés en Master.

À **Sébastien**, pour ton sens de l'humour, je te souhaite le meilleur et la Champions' pour le LOSC (essaie de ne pas trop fêter ça aux Coulisses). À **Claire** pour ce semestre à Propara, les nombreuses discussions, et ta passion pour la bouffe (j'ai pas dit pour la gastronomie, nuance). À l'équipe du DU de médecine manuelle (**Jérémy** le trusteur, **Maxime**, **Julien**, **Guillaume**, **Clément**, **Lucille**, **Carole**, **Eva**…).

À **Paulina** pour les bons moments lors du semestre à Lapeyronie notamment, et ce fameux DU de podo, **Sylvain** pour sa sympathie et son envie de transmettre. À **Jan**, j'ai pu te côtoyer depuis la première année, et c'était vraiment super de pouvoir être interne ensemble sur le même stage, où tu as pu me montrer comment tu aimes bien mêler le sérieux et l'humour au travail. Je te souhaite tout le meilleur pour la suite.

Aux équipes médicales et paramédicales rencontrées au cours de mon internat

À l'équipe nîmoise :

À ***Monique***, pour m'avoir si bien accueilli lors de ce premier stage. Un grand merci pour ton humanité, ta grande expérience dans de nombreux champs de notre spécialité, et ton ouverture d'esprit. Je te souhaite tout le meilleur pour la suite. À **Matthieu**, pour tes nombreux enseignements, la façon de te comporter et d'aborder les patients. À **Emilie Viollet** pour ton dynamisme, ta bonne humeur, ta capacité à travailler en équipe est très inspirante. À **Frédéric** et **Emilie Galano**, avec qui j'aurai plaisir à travailler très bientôt, et profiter de votre expérience. À ***Jean***, pour sa grande culture, médicale évidemment mais aussi rugbystique.

À l'équipe de rééducation cardiaque pour l'ambiance plaisante qui a contribué à me sentir bien accueilli : je pense notamment à **Nathalie** qui gère ce secteur à la perfection, **Pierre**, pour ton humour qui n'a d'égal que ta gentillesse, **Jeanne**, ton dynamisme et ton sourire. Au Dr Ledermann pour sa compétence et son contact avec les patients. Aux secrétaires, ***Antoinette, Nathalie, Viviane, Sylviane, Mylène, Florence,*** merci pour votre efficacité et au plaisir de travailler avec vous bientôt, j'espère que ce sera réciproque. À l'équipe paramédicale du pavillon 3, ***Christophe***, pour ces nombreux moments joyeux, ton humour, ***Yolande***, ton dynamisme à toute épreuve, ta passion pour les pansements, à bientôt sur Hademop ! **Rémi** pour le sourire permanent, **Elodie** pour ta sympathie, **Julie** pour ta folie et la bataille de Fresubin. ***Nana***, ***Jeannette***, ***Grace***, ***Stéphane*** pour votre grande sympathie, et les nombreux moments passés ensemble, avec toujours un grand plaisir À ***Michèle*** qui coordonne l'hôpital de jour avec sympathie et compétence, et qui m'a aidé pour la recherche de patients. A l'équipe de rééducateurs, ***Franck***, **Benjamin**, ***Odile F, Odile V, Jackie, Sandrine, Joel***, **Calypso**, ***Sophie***, ***Flora...*** et ceux que j'oublie, avec qui j'ai eu ou j'aurai plaisir à travailler très prochainement.

À l'équipe du service de RRN du Grau-du-Roi :

À Jérôme et Huei-Yune, merci pour votre accueil, j'ai apprécié travailler à cheval sur vos secteurs, et apprendre de vos deux expériences, au cours d'un semestre très enrichissant, dans un cadre magnifique.

Merci aux secrétaires **Claudie** et **Gaëlle** pour votre extrême efficacité, le tout

dans une bonne ambiance, et avec des pauses café de grande qualité. Aux rééducateurs avec une pensée particulière pour **Claire** et **Philippe** dans l'équipe d'ergothérapie. À l'équipe paramédicale, pour la bonne atmosphère de travail et nous avoir intégré rapidement. À **Anne**, assistante sociale de choc pour ton expérience et ta grande sympathie.

À l'équipe du Centre d'Evaluation et Traitement de la Douleur de Nîmes :

À l'équipe médicale qui m'a permis d'explorer les différents aspects de la douleur chronique. Au **Professeur Viel**, merci pour votre accueil chaleureux et pour permettre cette collaboration fructueuse entre MPR et médecine de la douleur. À **Olivier Bredeau**, pour votre expérience, vos nombreuses anecdotes et votre prise en compte de l'humain dans le soin. À **Nathalie Licata, Olivier Chaix, Alain Ramos**, pour avoir partagé leurs expériences et connaissances. À l'équipe d'infirmières de choc, pour leur humanité, leur implication sans faille, leur sympathie.

À l'équipe du service de MPR du CHU Lapeyronie :

À **Camille**, pour ton énergie débordante, ta bonne humeur, pour avoir été présente quand cela était nécessaire. À **Claire Palayer**, pour ta rigueur dans le travail qui n'a d'égal que ta gentillesse, pour les nombreuses connaissances transmises, et pour avoir continué égale à toi-même à Propara. À **Claire Jourdan**, pour sa compétence, son ouverture d'esprit, et sa pédagogie notamment lors des fameux staffs du mardi. À **Marc** pour avoir pu participer à plusieurs consultations, pour son haut niveau de pratique mais aussi de chambrage, et pour avoir ramené quasiment à lui seul l'USAP en Top 14 (avec la réussite que l'on sait). À **Patrick Aboukrat**, pour avoir eu la chance de participer à votre DU, vos qualités d'enseignant et de praticien sont inspirantes.

À l'équipe du centre Propara :

À **Anthony Gélis**, pour sa volonté de transmettre, son expérience et ses connaissances variées, mais aussi pour son humour lors des pauses repas et ses références youtubesques et culturelles extrêmement variées. À **Hélène Rouays**, pour

m’avoir bien accueilli au Centre, d’abord pour les gardes puis dans son unité, pour son bon sens clinique, sa bienveillance, sa mémoire infaillible… tout simplement merci ! À **Cécile Mauri** et **Christine Vérollet** pour les moments passés durant ce stage.

À l’équipe paramédicale du rez-de-chaussée et d’ailleurs (**Michel, Guillaume, Coline, Elodie et Amandine** les Gazelles**, Mike, Bernard**…) pour les connaissances du blessé médullaire que vous m’avez transmises, pour votre sympathie de tous les instants. À l’équipe de l’hôpital de jour, en particulier **Franck** pour ton organisation dans le travail, la réflexion que tu portes sur chaque geste, mais surtout pour ton humour de tous les instants et tes talents de bricoleur ; à **Jean-Luc**, pour ta compétence dans la kinésithérapie du blessé médullaire mais pas seulement, pour les nombreuses séances testing, ou encore les discussions animées autour d’un café.

À l’équipe du service d’EFSN du CHU de Nîmes :

À **Corinne**, pour tes nombreuses connaissances, pour me faire confiance, et pour l’accueil excellent dans le service, qui m’ont poussé à progresser. À **Marie-Laure** pour ton apprentissage de l’examen neurologique en tant qu’externe, et maintenant de l’EMG, comme on se retrouve ! Mais aussi pour tes anecdotes parentales bien sûr. À **Sarah**, pour m’accueillir de temps en temps sur tes vacations, pour tes compétences techniques impressionnantes.

À l’équipe de manips de choc : **Greg** l’homme et demi, **Paul** el valenciano, **Fabrice** (le bonjour à Peppa the Pig), **Peggy** pour ton humour bien senti, **Nicole**, **Odile**, **Christiane**, pour votre sympathie et m’avoir accueilli dès le premier jour. C’est un réel plaisir de travailler avec vous.

SOMMAIRE

1 MISE EN CONTEXTE 1

1.1 LOMBALGIE COMMUNE CHRONIQUE : UN PROBLEME DE SANTE A L'ECHELLE MONDIALE 1

1.1.1 Définitions 1

1.1.2 Epidémiologie et évolution 2

1.1.3 Conséquences 4

1.1.3.1 Limitation d'activité 4

1.1.3.2 Restriction de participation 5

1.1.3.3 Incidences socio-économiques 6

1.2 MODELE PEUR-EVITEMENT : LIMITATION D'ACTIVITE DANS LA DOULEUR CHRONIQUE 8

1.2.1 Présentation 8

1.2.2 Recherches associées au modèle 9

1.2.2.1 Catastrophisme 10

1.2.2.2 Peur de la douleur et aspects attentionnels 10

1.2.2.3 Evitement, déconditionnement et perte de fonction 10

2 ETUDE PILOTE : RELATION ENTRE COMPLEXITE ET ATTENTION A LA DOULEUR DANS UNE TACHE DE MARCHE AVEC DISTRACTION CHEZ LE PATIENT LOMBALGIQUE CHRONIQUE 12

2.1 INTRODUCTION 12

2.1.1 Lombalgie commune chronique : contexte et enjeux 12

2.1.2 Problématique translationnelle 13

2.1.3 Les propriétés fractales de la variabilité comme marqueurs de complexité et adaptabilité du système 15

2.1.4 Objectif et hypothèses 20

2.2 METHODE 22

2.2.1 Participants 22

2.2.2 Procédure et tâche expérimentale 23

2.2.3 Matériel et recueil des données 24

2.2.4 Analyse des données 27

2.2.4.1 Temps de réaction 27

2.2.4.2 Pattern de marche 27

2.2.5 Analyses statistiques 30

2.3 RESULTATS 31

2.3.1 Caractéristiques des participants 31

2.3.2 Moyenne et coefficient de variation des séries de durées de foulées 33
2.3.3 Propriétés fractales de la variabilité des durées de foulées 34
2.3.4 Contrôles : temps de réaction, Igroup Presence Questionnaire, EVA.....37
2.3.5 Analyses de corrélation entre la variation d'exposant fractal et les questionnaires fonctionnels de lombalgie chronique.....38
2.4 DISCUSSION 40
2.4.1 Sur un plan fondamental 41
2.4.2 Sur un plan clinique.....42
2.4.3 Limites méthodologiques.....43
2.5 CONCLUSION 45

3 REFERENCES 46

1 MISE EN CONTEXTE

1.1 LOMBALGIE COMMUNE CHRONIQUE : UN PROBLEME DE SANTE A L'ECHELLE MONDIALE

1.1.1 Définitions

La lombalgie est définie par la présence d'une douleur localisée entre le bord inférieur de la dernière côte et le pli inter-fessier (Dionne et al., 2008), pouvant éventuellement irradier dans un membre inférieur, sans que cette douleur ne soit prédominante.

Il existe un consensus pour répartir les lombalgies en deux groupes.

D'un côté, les lombalgies symptomatiques, qui sont la manifestation d'une pathologie systémique sous-jacente : infectieuse (e.g. spondylodiscite), tumorale, inflammatoire (e.g. spondyloarthropathies), fracturaire…

De l'autre, les lombalgies communes (en anglais non-specific low back pain), pour lesquelles une pathologie systémique n'a pas été mise en évidence.

Les lombalgies sont aussi classées en fonction de leur durée d'évolution :

- moins de 6 semaines : lombalgies aiguës
- entre 6 semaines et 3 mois : lombalgies sub-aiguës
- au-delà de 3 mois : lombalgies chroniques

1.1.2 Epidémiologie et évolution

La lombalgie est souvent qualifiée de « mal du siècle », étant donné que la plupart des individus présenteront un épisode de douleur lombaire au cours de leur vie (Hartvigsen et al., 2018).

Concernant des données récentes de prévalence rapportée sur une période d'un an, la moyenne est de 37 % : si la proportion de lombalgies dans la première décennie est négligeable, elle atteint les 30 % durant l'adolescence, est à son pic entre 40 et 70 ans, avec une proportion légèrement plus importante de femmes (*Figure 1*).

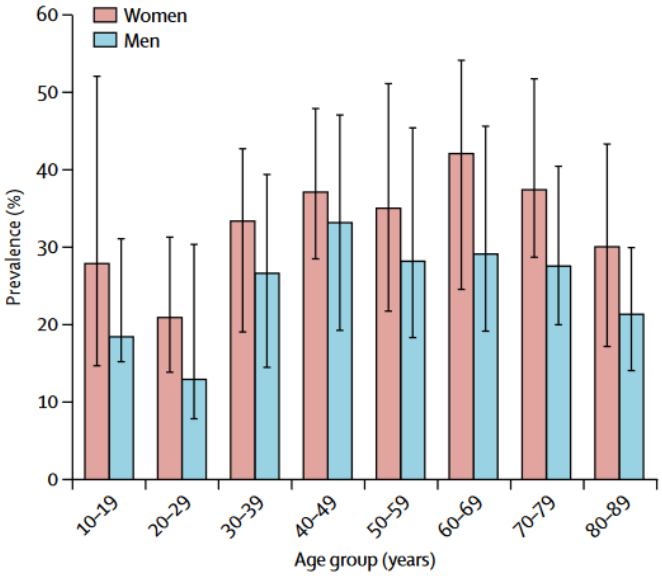

Figure 1 : Prévalence moyenne de lombalgies en fonction du sexe (femmes : rose, hommes : bleu) et de la tranche d'âge, issu des données de Hoy et al.

Les données d'une revue de littérature de 2012 confirment le caractère mondial de l'atteinte, même si la prévalence semble être légèrement plus importante dans les pays à haut revenu que dans les pays à revenu intermédiaire ou bas (Hoy et al., 2012).

Ainsi, en France, une enquête observationnelle auprès d'adultes âgés de 30 à 64 ans (Gourmelen et al., 2007) s'est intéressée aux chiffres de prévalence sur une

période d'un an : 54 % des hommes et 57,2 % des femmes avaient présenté au moins un jour de douleurs lombaires, et 15,4 % des hommes et 18,9 % des femmes avaient souffert de lombalgies pendant au moins trente jours.

S'il est communément admis que 90 % des épisodes de lombalgie commune aiguë sont résolus en 4 à 6 semaines (Waddel et al., 2001), il semble nécessaire de nuancer ces chiffres en rappelant les résultats de revues systématiques regroupant de nombreuses études de cohortes : celles-ci rapportent un taux de récurrence douloureuse d'au moins un tiers dans l'année suivant un épisode de lombalgie aiguë (da Silva et al., 2017), voire de plus de la moitié de patients toujours douloureux à un an de leur épisode de lombalgie (Itz et al., 2013).

La définition des critères d'amélioration (seuil de variation du niveau d'intensité douloureux, limitation d'activité, retour au travail…) semble jouer un rôle important dans cette imprécision de l'estimation, ce qui pousse de nombreux auteurs à conclure que le taux de passage à la chronicité ou à la récurrence douloureuse est sous-estimé.

Ainsi, la séparation entre lombalgies aiguës et chroniques peut être considérée comme simpliste, et la prise en compte de trajectoires d'évolution plus variées, intégrant le caractère récurrent et/ou durable des douleurs, pourrait permettre de mieux appréhender le parcours du patient dans le système de soins (Kongsted et al., 2016). De même, la période entre 6 et 12 semaines suite à un épisode douloureux aigu semble être importante pour comprendre le risque de chronicisation, et devrait être étudiée avec plus d'attention selon ces auteurs.

1.1.3 Conséquences

1.1.3.1 Limitation d'activité

Les nouvelles méthodes d'analyse de données telles que le *big data* permettent de mieux estimer l'impact des lombalgies à l'échelle mondiale en termes de limitation d'activité. Ainsi, l'étude Global Burden of Disease (GBD), débutée en 1990 et actualisée en 2015, s'intéresse à plusieurs centaines de pathologies à travers le monde afin d'estimer l'impact de celles-ci sur la fonction des patients. En 2015, les douleurs lombaires étaient responsables de 60,1 millions d'années vécues avec une incapacité (*years lived with disability*), et représentaient la première cause de limitation d'activité dans le monde. Ce chiffre est en augmentation de 54 % entre 1990 et 2015.

De manière similaire, une mesure proche est celle des années de vie ajustées sur l'incapacité (*disability adjusted life years*), qui permet de prendre en compte à la fois la mortalité et l'aspect fonctionnel d'une pathologie, et qui est un des principaux outils d'évaluation utilisés par l'OMS pour appréhender le « niveau de santé général d'une population ». La *Figure 2* confirme l'augmentation importante de l'impact fonctionnel des lombalgies dans les 20 dernières années, notamment sur les générations en âge de travailler.

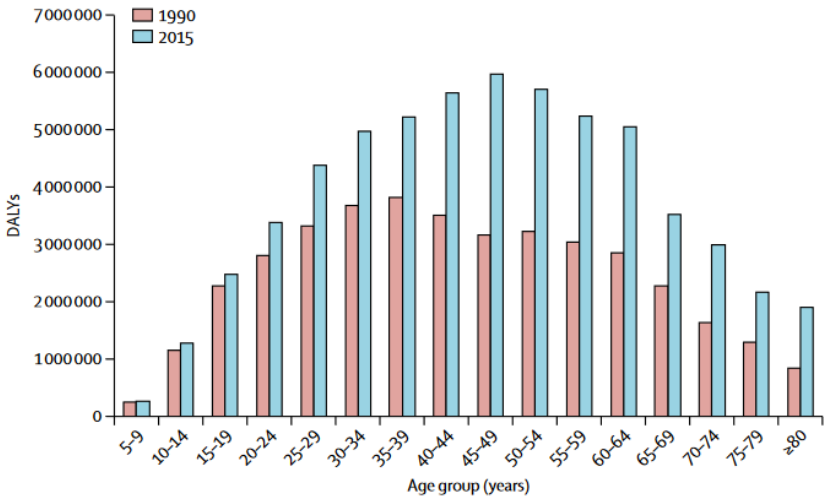

Figure 2 : Impact de la lombalgie en années de vie ajustées sur l'incapacité, en fonction de la tranche d'âge (rose : 1990, bleu : 2015), données issues du GBD

Il est important de noter que les cas les plus chroniques et les plus sévères, sont aussi ceux responsables de la majorité des limitations fonctionnelles : ainsi l'étude GBD montrait qu'un quart de la population atteinte était responsable de plus de 75 % de l'ensemble de l'incapacité causée par les lombalgies en 2015.

1.1.3.2 Restriction de participation

Comme nous pouvons le voir sur le graphique précédent, les limitations d'activités causées par les douleurs lombaires sont particulièrement prégnantes dans les tranches d'âge actif. Ainsi, en Europe, la lombalgie commune est la première cause d'arrêt de travail, et de départ à la retraite anticipé (Bevan et al., 2009). En France, une lombalgie sur cinq entraîne un arrêt de travail, 20 % des accidents du travail sont dûs à ce motif, de même que 7 % des maladies professionnelles. Surtout, les douleurs lombaires chroniques sont responsables de 30 % des arrêts de travail durant plus de 6 mois, durée à partir de laquelle la probabilité de reprendre le travail est inférieure à 50 % (Cherin et al., 2011). Il s'agit ainsi de la troisième cause d'invalidité pour le régime général.

Outre la sphère professionnelle, la vie sociale et personnelle est particulièrement touchée chez les patients lombalgiques, surtout d'évolution chronique. Des revues d'études qualitatives (Froud et al., 2014 ; MacNeela et al., 2015) montrent l'inquiétude des patients face aux conséquences redoutées de la douleur chronique : isolement social, perte du travail, appauvrissement, sentiment de désespoir… De nombreux patients pensent ainsi qu'il est impossible d'avoir les mêmes attentes concernant leur vie sociale depuis l'apparition de leurs douleurs, et s'adaptent en réduisant leurs participations en société.

1.1.3.3 Incidences socio-économiques

Parmi les coûts associés à la lombalgie, nous pouvons noter les dépenses directes - traitements, consultations médicales et hospitalisations – qui pèsent sur sur le système de soins, et les dépenses indirectes – perte de productivité par absentéisme notamment, indemnités journalières et pensions d'invalidité -, les deux ayant été largement étudiées dans les pays industrialisés.

Concernant les coûts directs, en France, l'Assurance Maladie estimait dans les années 2000 que la lombalgie était responsable de 6 millions de consultations, dont 90 % chez le médecin généraliste (troisième cause de consultation chez les hommes et sixième chez les femmes). Par ailleurs, elle représentait le tiers des actes de kinésithérapie et 5 à 10 % des actes de radiologie (Plénet et al., 2010).

Les coûts indirects semblent être plus importants que les coûts directs (Lafuma et al., 1998), en grande partie du fait des indemnités journalières.

Les auteurs rapportent de façon consensuelle le fait que 85 % des dépenses directes ou indirectes sont induites par les 8 à 10 % de patients lombalgiques chroniques (Véron et al, 2008).

Malgré la sophistication des moyens diagnostiques et thérapeutiques, l'impact socio-économique de la lombalgie n'a cessé de grandir lors des dernières décennies (Edwards et al., 2008). Comme nous l'avons vu, les limitations d'activité et les restrictions de participation observées touchent principalement les patients lombalgiques chroniques. Il semble nécessaire de mieux prévenir le passage à la chronicité, mais aussi proposer de nouvelles prises en charge à ces patients.

Les facteurs contribuant à la douleur deviennent alors souvent multiples, avec les facteurs environnementaux, souvent socio-professionnels, psychologiques… Ces observations émergent du modèle biopsychosocial (Waddell, 2004). Concernant la limitation de fonction associée aux lombalgies chroniques, les facteurs cognitivo-comportementaux semblent notamment jouer un rôle important : le modèle peur-évitement propose un paradigme pour rendre compte de cet état.

1.2 MODELE PEUR-EVITEMENT : LIMITATION D'ACTIVITE DANS LA DOULEUR CHRONIQUE

1.2.1 Présentation

Si le modèle peur-évitement a été développé initialement pour expliquer les mécanismes de transition entre douleur aiguë et chronique (Vlaeyen et al, 2000 ; *Figure 3*), il s'est aussi imposé comme un paradigme permettant de comprendre les limitations de fonction en contexte de douleur chronique.

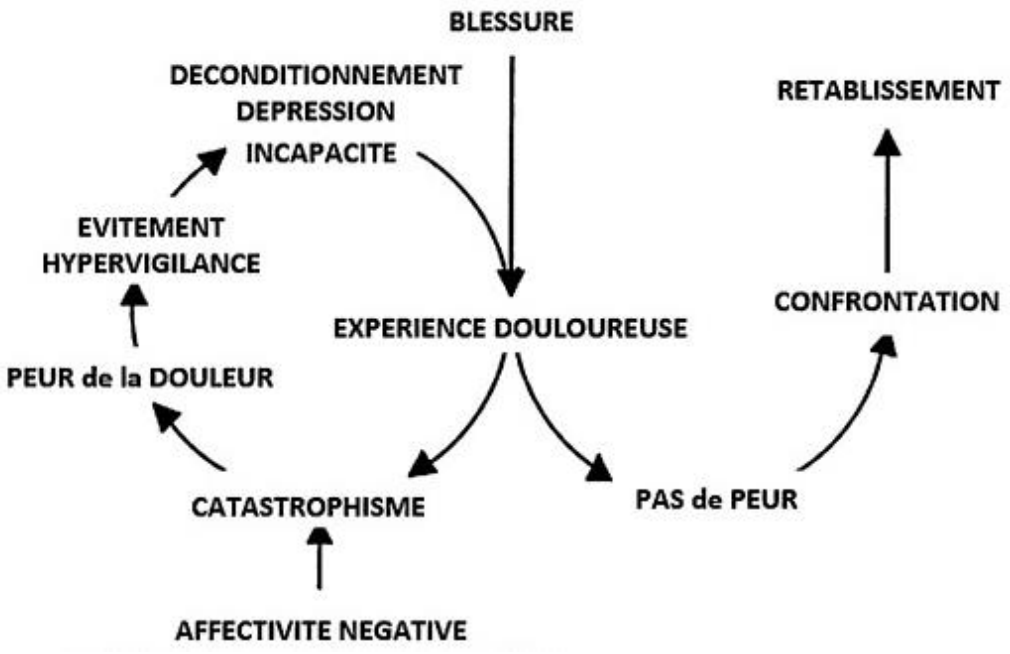

Figure 3 : Traduction en langue française du modèle peur-évitement dans la douleur chronique, issu de Vlaeyen et al (2000)

La base du modèle réside dans la possibilité d'interpréter différemment un même message douloureux, qui va aboutir à deux voies distinctes sur le plan comportemental. Quand la douleur n'est pas perçue comme menaçante, les patients sont capables de maintenir leur engagement dans les activités quotidiennes, facilitant une récupération fonctionnelle.

Inversement, si le message douloureux est interprété de façon excessive, notamment par le biais de pensées catastrophistes, il peut conduire à un cercle vicieux aboutissant à limiter la fonction, dont nous allons détailler rapidement les différents éléments.

Tout d'abord, le terme de catastrophisme (premièrement décrit par Ellis, 1962), décrit le processus par lequel les patients anxieux interprètent la douleur comme étant extrêmement menaçante (Crombez et al., 1999), et se concentrent sur ses aspects les plus aversifs, tout en évaluant de façon négative ses propres capacités.

Toujours selon le modèle, cette focalisation induit une peur anticipatoire de la douleur, mais aussi du mouvement qui est anticipé comme potentielle source de nouvelles douleurs : c'est la notion de kinésiophobie (Roelofs et al., 2005).

Le mouvement, conçu de façon inappropriée comme menaçant par le patient, va le conduire à adopter des stratégies comportementales d'évitement.

Ces stratégies, qui peuvent être adaptées dans un contexte de douleur aiguë, vont paradoxalement aggraver le problème dans le contexte d'une douleur qui dure, avec pour conséquences à long terme une perte de fonction liée à une sous-utilisation et un déconditionnement, qui abaisseraient le seuil à partir duquel la douleur serait ressentie (Vlaeyen et al., 2000).

1.2.2 Recherches associées au modèle

Depuis l'élaboration du modèle, de nombreuses recherches ont été menées pour en montrer la validité, en montrant notamment comment les différents éléments cognitivo-comportementaux étaient liés et conduisaient à une perte de fonction (Leeuw et al., 2007). Nous allons brièvement citer quelques exemples à propos de certains de ces aspects.

1.2.2.1 Catastrophisme

De nombreuses études ont d'abord montré que des pensées catastrophistes étaient liées à une intensité douloureuse perçue comme plus importante (Sullivan et al., 2004), dans différents contextes : expérimentaux, post-opératoires, mais aussi dans le contexte de douleurs chroniques. Leeuw et al. (2007b) ont par ailleurs retrouvé une corrélation entre le niveau de catastrophisme d'une population de patients lombalgiques chroniques, et la peur de déclencher une nouvelle douleur 6 mois plus tard, ainsi qu'avec le niveau de limitation de fonction de ces patients.

1.2.2.2 Peur de la douleur et aspects attentionnels

Les liens entre ces deux aspects ont été assez largement étudiés en contexte de douleur chronique. Les patients qui ont peur de la douleur auraient tendance à rechercher en permanence dans leur environnement des indices potentiels de douleur future, et quand ces indices sont interprétés comme des menaces, les ressources attentionnelles vont se mobiliser sur ces stimuli (Van Damme et al., 2004). Ces distorsions attentionnelles sont corrélées au niveau de catastrophisme des participants de cette étude.

Ces altérations des processus attentionnels contribuent à l'intensification de la douleur, mais sont aussi liés au maintien de comportements d'évitement du mouvement (anticipé comme douloureux). Par exemple, la peur liée à la douleur est reliée à des performances sous-maximales lors de certaines tâches ou mouvements répétitifs (Goubert et al., 2005), favorisant d'autant la chronicisation de la douleur.

1.2.2.3 Evitement, déconditionnement et perte de fonction

Des liens clairs ont été établis entre limitation de fonction et peur du mouvement liée à la douleur : les patients présentant de hauts niveaux d'attention et de peur liée

à la douleur sont ceux qui rapportent le plus de limitation de fonction (Goubert et al., 2005 ; Crombez et al., 1999).

Dans sa présentation princeps du modèle, Vlaeyen et al. (2000) présentaient déjà de nombreuses études prouvant que les patients douloureux chroniques présentaient, par exemple, une force musculaire et une endurance réduites. Le niveau d'activité physique au cours de la vie quotidienne est lui aussi diminué chez des patients douloureux chroniques (Spenkelink et al., 2001). L'ensemble conduit au syndrome de déconditionnement, qui reste un aspect global et macroscopique de l'étude du mouvement.

Comme nous allons le voir, notre étude se place dans ce cadre théorique, et cherche à montrer le rôle de ces facteurs cognitivo-comportementaux maladaptatifs dans la perturbation du contrôle moteur des patients lombalgiques chroniques. Le contrôle moteur est abordé à l'aide de l'approche des « systèmes complexes », qui va être détaillée ci-dessous.

2 ETUDE PILOTE : RELATION ENTRE COMPLEXITE ET ATTENTION A LA DOULEUR DANS UNE TACHE DE MARCHE AVEC DISTRACTION CHEZ LE PATIENT LOMBALGIQUE CHRONIQUE

2.1 INTRODUCTION

2.1.1 Lombalgie commune chronique : contexte et enjeux

La lombalgie commune chronique, de par sa prévalence et son impact socio-professionnel importants – première cause d'invalidité chez les moins de 40 ans, première cause d'arrêt de travail – est un problème majeur de santé publique (Hoy et al., 2014). À ce titre, cette pathologie représente un modèle d'étude de la douleur chronique. La sévérité de l'atteinte structurale du rachis lombaire – évaluée par les examens radiologiques par exemple – est insuffisante pour expliquer à elle seule les limitations fonctionnelles ou les restrictions de participation observées en pratique clinique courante chez les patients lombalgiques chroniques (Brinjikji et al., 2015). Ainsi, 50 % des sujets de 40 ans asymptomatiques présentent des signes de dégénérescence discale, et il est impossible en pratique clinique courante de prédire le niveau d'atteinte fonctionnelle sur la seule base d'imageries du rachis lombaire.

Afin de mieux comprendre les facteurs favorisant la chronicisation de la douleur, des modèles théoriques ont été élaborés, à l'instar du modèle peur-évitement (Vlaeyen et al., 2000). Selon ce modèle, les sujets qui présentent une douleur chronique ont tendance à avoir un haut niveau de catastrophisme, c'est-à-dire une focalisation excessive sur les aspects négatifs et délétères de la sensation douloureuse (Wertli et al., 2014). Ce catastrophisme induit un état d'anxiété anticipatoire et d'hypervigilance à la douleur, qui provoque des conduites d'évitement du mouvement, perçu par le patient comme néfaste. Ces distorsions cognitivo-comportementales semblent

émerger comme un facteur prédictif de douleur, mais surtout de limitations fonctionnelles chez les sujets lombalgiques chroniques (Crombez et al., 1999).

Ces notions théoriques et cliniques sont récemment corroborées par l'étude des modifications du fonctionnement cérébral chez les sujets douloureux chroniques, qui est permise par l'avancée des techniques d'imagerie fonctionnelle, notamment l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf). En cas de douleur aigüe, l'activité cérébrale est principalement focalisée dans des régions et réseaux associés à la composante sensorielle nociceptive de la douleur (cortex somesthésique et insula, notamment). Lorsque la douleur devient chronique, une modification de l'activité cérébrale est observée, avec une activation plus importante des régions et réseaux impliqués dans la perception des émotions (système limbique et noyaux de la base), mais aussi du cortex préfrontal (dans sa partie médiale en particulier), aire du cerveau qui est aussi impliquée dans les processus attentionnels et motivationnels (Hashmi et al., 2013). Il existe donc une part de neuroplasticité chez les sujets exposés à une douleur chronique, qui modifie le traitement central du contenu du message douloureux, en augmentant notamment l'attention du sujet à sa douleur, et notamment ses aspects aversifs ; ces résultats semblent apporter un substrat aux observations cliniques et au modèle théorique précédemment cité.

2.1.2 Problématique translationnelle

Comme décrit par le modèle théorique de Vlaeyen et al. (2000), l'hypervigilance et l'anticipation de la douleur entraînent des restrictions de mouvements par évitement chez les patients souffrant de lombalgies chroniques : on parle alors de kinésiophobie, qui est à terme responsable d'un déconditionnement physique du sujet douloureux chronique du fait de la sous-utilisation de ses capacités de mouvement. Un cercle

vicieux se constitue alors, car le retour au mouvement et à une activité physique régulière est crucial pour obtenir une récupération de fonction (Grotle et al., 2006). Les conséquences en termes de perturbation du comportement moteur dans la lombalgie commune chronique se manifestent tant au niveau de tâches spécifiquement contraignantes, telles que le port de charges lourdes ou les mouvements de pointage de précision en flexion du tronc (Willigenburg et al., 2013), qu'au niveau de comportements moteurs élémentaires, tels que l'équilibre postural ou la marche.

La marche étant une activité de la vie quotidienne essentielle pouvant limiter la fonction des patients dans leur vie courante, elle est largement étudiée dans la littérature (Keefe et al., 1985). Par ces études elle a été essentiellement caractérisée par une réduction de la vitesse de marche et de la longueur des foulées, ainsi que par des modifications dans la synergie entre le tronc et les membres inférieurs, et une restriction des mouvements du tronc dans les trois plans de l'espace (Lamoth et al., 2006). Différentes hypothèses, portant essentiellement sur les mécanismes neuromusculaires liés à la pathologie, ont été émises pour tenter d'expliquer ces perturbations de la marche. Ainsi, une réduction de la sensibilité proprioceptive des patients limiterait la possibilité de détecter les modifications de l'environnement et de s'adapter aux perturbations, par altération du feedback (Brumagne et al., 2004). D'autres auteurs ont avancé l'hypothèse du « *guarding* » (van der Hulst et al., 2010), qui consiste en l'activation anormale des muscles – paravertébraux notamment – aboutissant à une stabilisation excessive du rachis dans un but de protection de ce dernier ; des résultats électromyographiques montrent par exemple une diminution de la capacité de ces muscles à se relaxer lors du cycle de marche, et la présence d'activations anarchiques, signant une désadaptation au mouvement en cours de réalisation.

Ainsi, deux niveaux d'explication peuvent rendre compte de l'altération du pattern de marche et de son adaptabilité chez les patients lombalgiques chroniques : d'un côté un niveau neurophysiologique et biomécanique lié à la pathologie elle-même, et de l'autre un niveau cognitivo-comportemental. Une approche macroscopique de l'analyse du pattern de marche est susceptible de permettre de faire la part des contributions respectives de ces deux niveaux.

2.1.3 Les propriétés fractales de la variabilité comme marqueurs de complexité et adaptabilité du système

Une approche macroscopique est permise par l'approche dite des "systèmes complexes" et l'analyse non-linéaire de la variabilité de la marche. Historiquement, les analyses de marche considéraient les fluctuations des variables de marche comme du bruit sans signification fonctionnelle, et les études quantitatives s'attachaient à comparer les statistiques Gaussiennes des variables de marche (moyenne, coefficient de variation, etc.). De ce fait de telles analyses ignoraient le pattern de la variabilité présente d'une foulée à l'autre pour un sujet donné (Hausdorff, 2007). Or il s'avère que la structure de cette variabilité dans le temps renferme des renseignements sur l'organisation globale du système, étant entendu que la régulation de la marche implique l'intégration de multiples informations à différents niveaux (sensoriels, proprioceptifs, moteur… à l'étage central et périphérique), qui sont en interaction permanente, et ce de façon non linéaire (West et al., 2003 ; Yogev-Seligmann et al., 2008).

Parmi les différentes approches méthodologiques possibles pour étudier la complexité d'un système, l'analyse fractale du pattern de variabilité locomotrice est communément utilisée (*e.g.*, Hausdorff et al., 1997 ; Jordan et al, 2007). Elle est

initialement issue de l'analyse géométrique et mathématique des formes naturelles, et théorisée par Benoît Mandelbrot (1989). La caractéristique majeure d'un objet mathématique fractal est l'autosimilarité (*Figure 4*), c'est-à-dire le fait que l'objet conserve la même structure, et les mêmes propriétés statistiques, quelle que soit l'échelle à laquelle il est observé (du micro- au macroscopique).

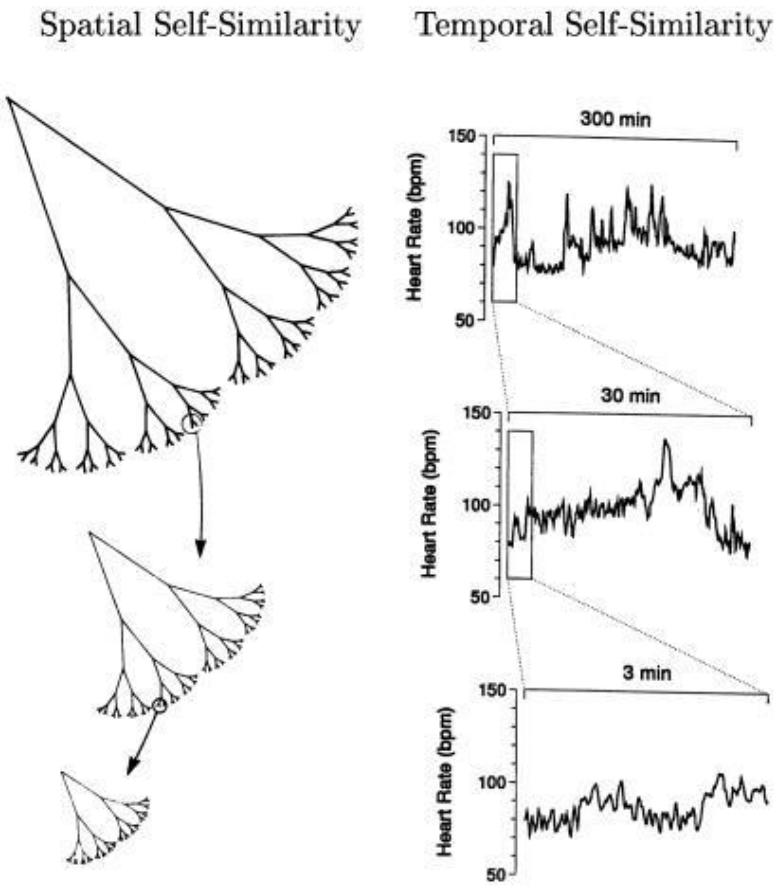

Figure 4 (Goldberger et al.) : A gauche : représentation schématique de l'auto-similarité d'une structure fractale (e.g. forme d'arbre ou de ramifications pulmonaires) à différentes échelles spatiales. A droite : le rythme cardiaque présente une auto-similarité statistique dans ses variations observées à différentes échelles de temps

Dans le cadre de l'analyse de séries temporelles physiologiques, la traduction mathématique de cette autosimilarité peut s'exprimer en termes fréquentiel : le signal peut être décomposé en fluctuations de faible amplitude, très fréquentes, jusqu'aux fluctuations de grande amplitude, peu fréquentes. Pour une relation inversement proportionnelle entre l'amplitude et la fréquence des différentes composantes du signal on parle de bruit 1/*f*. Cette relation d'échelle caractérise une complexité maximale. Une des premières observations de cette variabilité de type bruit 1/*f* dans les signaux physiologiques a été mise en évidence dans l'étude des intervalles inter-battements cardiaques (Lipsitz et al., 1992).

L'application de ces analyses dans des études cross-sectionnelles comparant des sujets sains et pathologiques a permis la mise en évidence d'une modification systématique du pattern de variabilité en lien avec la pathologie. Des études cliniques dans plusieurs domaines, et dans le cadre de plusieurs pathologies (neurologiques, cardiaques, métaboliques, …etc.), ou du vieillissement, ont ainsi mis en évidence un niveau de complexité maximal – proche du bruit 1/*f* – chez les sujets sains (Goldberger et al., 2002). Cependant cette complexité diminue avec l'âge ou les pathologies, soit dans le sens d'une irrégularité extrême (séries temporelles aléatoires, on parle alors de bruit blanc), soit dans le sens d'une prédictibilité extrême (séries temporelles fortement prédictibles). Ces deux derniers comportements sont associés à une moindre adaptabilité de l'organisme pour répondre aux perturbations environnementales. La littérature réfère à ce phénomène comme « perte de complexité avec l'âge ou la maladie » (Goldberger et al., 2002 ; *Figure 5*).

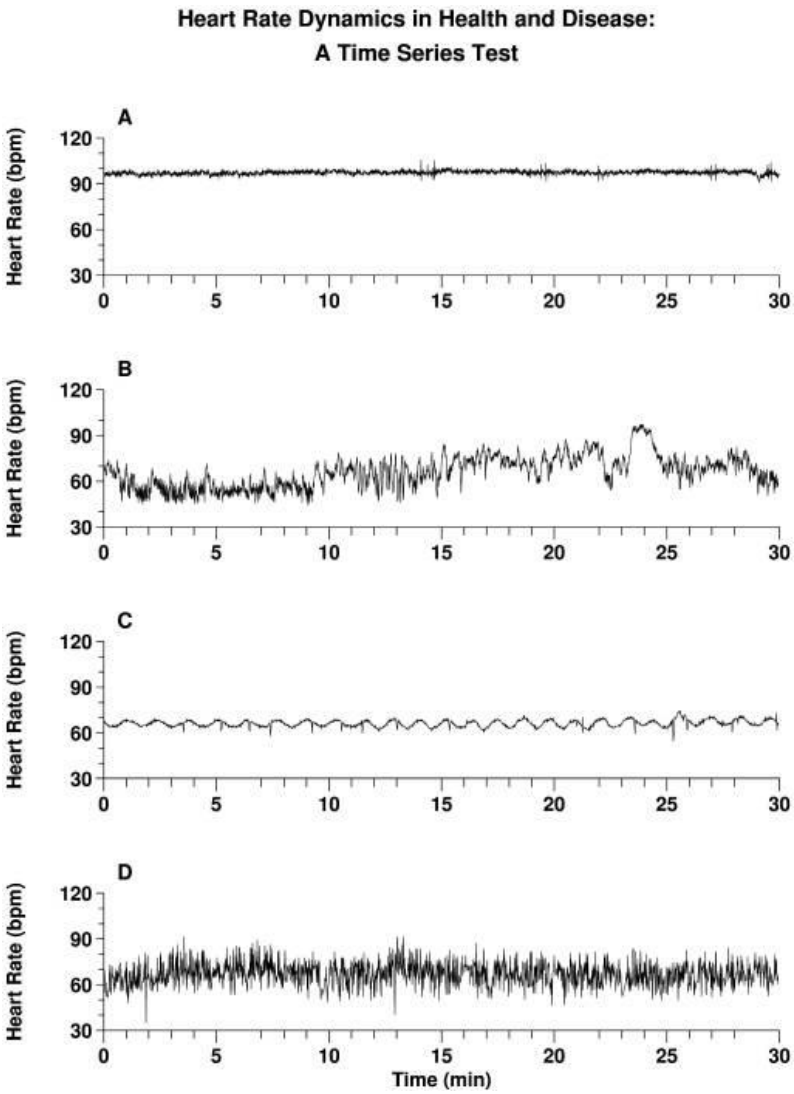

Figure 5 (Goldberger et al.) : Enregistrements du rythme cardiaque chez 4 individus : (A) et (C) sont caractérisés par une régularité excessive, et correspondent à des sujets atteints d'insuffisance cardiaque sévère. (D) est caractérisé par une irrégularité majeure, chez un sujet atteint de fibrillation atriale. (B) est un sujet sain, présentant un niveau de complexité maximal par analyse fractale

Toutefois, la littérature a montré que le niveau de complexité dans une variable donnée est également modifié par les contraintes expérimentales imposées lors de la réalisation de la tâche, et ce en dehors de toute dimension pathologique ou de vieillissement. Plus particulièrement, un contrôle attentionnel accru sur le mouvement réalisé, via l'augmentation expérimentale de feedbacks sensoriels par exemple,

affecte la dynamique du mouvement dans le sens d'une perte de complexité (*e.g.*, Warlop et al., 2013).

Dans le cadre de la marche, la structure fractale du pattern de variabilité a été initialement mise en évidence par Hausdorff et al., 1996. Les sujets sains produisent typiquement un niveau de complexité maximal dans la variabilité du pattern de marche, que ce soit dans les séries de durées ou en longueurs de foulées. Ici aussi, la complexité diminue avec l'âge ou les pathologies (neurologiques notamment), convergeant vers l'idée d'une moindre capacité d'adaptation de l'organisme pour répondre aux perturbations environnementales. Cette moindre adaptabilité a été associée à des conséquences cliniques, telles que la majoration du risque de chutes en cas de perte de complexité (Hausdorff et al., 2010).

Plus spécifiquement, dans le contexte de la lombalgie chronique, une étude (Newell et al., 2010) a analysé la structure fractale de la variabilité de la marche à vitesse préférentielle chez des patients lombalgiques chroniques, comparés à des sujets sains. Malgré un effectif réduit et des sujets lombalgiques peu altérés sur le plan fonctionnel et présentant une durée d'évolution assez faible, les résultats de cette étude suggèrent une perte de complexité chez les sujets lombalgiques, et donc une adaptabilité réduite. Toutefois, cette observation chez les sujets lombalgiques est purement descriptive et non spécifique, et les auteurs n'ont pas avancé de mécanisme explicatif physiopathologique à cette perte d'adaptabilité. En effet, des analyses en sous-groupe ont été menées dans cette étude pour tenter de montrer des différences significatives sur le niveau d'anxiété, de dépression, ou les comportements d'évitement, mais le faible effectif – réduisant la puissance statistique – et le design de l'étude ne permettaient pas de conclure.

A l'aide d'une méthode d'analyse différente de l'analyse fractale et d'un système d'accéléromètre embarqué, des auteurs (Gizzi et al., 2019) ont analysé la complexité du mouvement de patients lombalgiques et de sujets sains appariés en condition écologique de vie quotidienne, durant une journée : en tenant compte des 60 minutes les plus actives de la journée, les patients lombalgiques chroniques présentaient une réduction significative de la complexité de leurs mouvements, semblant indiquer que les patients avaient tendance à bouger de façon plus stéréotypée, par le biais d'une perturbation durable de leur répertoire moteur.

Ces résultats soutiennent le fait que la complexité apporte des renseignements importants qualitatifs sur le mouvement des patients lombalgiques, permettant de l'utiliser pour questionner la modification du contrôle moteur dans ce contexte.

2.1.4 Objectif et hypothèses

Compte tenu de ces éléments de la littérature, l'objectif de notre étude est de déterminer dans quelle mesure la dynamique de la marche des sujets lombalgiques chroniques – caractérisée notamment au travers des propriétés fractales de la variabilité – est altérée par le facteur cognitivo-comportemental lié à une appréhension de la douleur et du mouvement, ou par les facteurs neurophysiologiques et biomécaniques liés à pathologie elle-même.

Dans cette perspective, nous proposons de manipuler l'engagement attentionnel d'un groupe de sujets lombalgiques et un groupe de sujets sains dans une tâche de marche au moyen d'une distraction attentionnelle visuelle immersive. Initialement développées dans la prise en charge de la douleur aigüe depuis plus d'une décennie (Hoffman et al., 2000), ces techniques de distraction commencent en effet à être

utilisées dans la douleur chronique, notamment depuis l'essor de la réalité virtuelle (Keefe et al., 2012).

Nous formulons tout d'abord l'hypothèse d'une diminution de complexité (exposant fractal réduit) du pattern de marche à vitesse préférentielle dans le groupe de patients lombalgiques comparé au groupe contrôle. D'autre part, si le facteur cognitivo-comportemental est explicatif de l'altération de la dynamique de marche des patients lombalgiques, les résultats devraient monter une restauration de la complexité chez les patients lombalgiques lorsqu'ils sont distraits de l'attention excessive portée à leur douleur.

2.2 METHODE

2.2.1 Participants

Une étude pilote expérimentale monocentrique a été réalisée de mars 2018 à février 2019 dans le service de Médecine Physique et Réadaptation du CHU de Nîmes. L'expérimentation comprenait deux groupes de sujets indépendants : un groupe de patients lombalgiques chroniques, et un groupe contrôle.

Concernant le groupe des patients, pour être inclus dans l'étude, les sujets devaient présenter des lombalgies chroniques communes depuis plus de 6 mois, et avoir entre 18 et 75 ans. Etaient exclus de l'étude, à la suite d'un interrogatoire mené lors de la consultation de pré-inclusion, les patients :

(i) souffrant d'une lombalgie chronique dite symptomatique - c'est-à-dire en lien avec une pathologie organique : inflammatoire (spondylarthtrite ankylosante par exemple), infectieuse, ou tumorale -,

(ii) présentant un antécédent d'arthrodèse chirurgicale lombaire,

(iii) étant incapables de marcher plus de 10 minutes sans s'arrêter, ou enfin

(iv) les patients présentant une irradiation douloureuse dans les membres inférieurs de sorte que l'EVA aux membres inférieurs soit supérieure à l'EVA lombaire.

Le groupe contrôle était constitué de sujets sains n'ayant jamais présenté de lombalgies chroniques, avec un appariement sur le sexe, l'âge, la taille et le poids. Tous les sujets ont fourni leur consentement, et le protocole expérimental a été validé par un Comité de Protection des Personnes (CPP Nord-Ouest II, n° ID-RCB : 2017-A02839-44).

2.2.2 Procédure et tâche expérimentale

Lors d'une première phase d'échauffement et de familiarisation au tapis roulant était définie la vitesse de marche préférentielle pour chaque sujet, selon un protocole décrit précédemment (Jordan et al., 2007) : la vitesse était progressivement augmentée jusqu'à ce que le patient déclare avoir atteint sa vitesse préférentielle ; puis la vitesse était augmentée par l'expérimentateur au-dessus de la VMP pour être progressivement diminuée jusqu'à ce que le sujet déclare avoir atteint sa VMP. L'opération était réalisée une nouvelle fois dans le sens ascendant. La valeur moyenne des trois phases était retenue comme la VMP du sujet.

Ensuite, un test préliminaire visait à évaluer l'effet de la distraction proposée aux sujets en cours de marche à leur vitesse préférentielle. Pour cela, le temps de réaction était mesuré dans les deux conditions avec et sans distraction. En effet, le temps de réaction est fréquemment utilisé dans les protocoles en double tâche, notamment dans le cadre de l'étude de la posture et de la marche (Woollacott et al., 2002) ; une augmentation du temps de réaction en condition avec distraction indiquerait ainsi allocation de ressources attentionnelles à la distraction. Dans notre étude nous avons utilisé des temps de réaction auditifs qui étaient produits à 5 reprises dans chacune des deux conditions. Le délai entre les signaux auditifs était aléatoirement programmé entre 3 valeurs (5, 10 et 15 secondes).

Enfin, la tâche expérimentale consistait à marcher sur un tapis roulant à vitesse de marche préférentielle. Le plan expérimental de l'étude était mixte, puisque chaque groupe exécutait la tâche dans deux conditions, avec et sans distraction. Dans chaque condition les sujets marchaient pendant une durée de 7 minutes afin d'obtenir un nombre satisfaisant de foulées pour l'analyse fractale de la marche (Delignières et al., 2006). Les deux conditions avec et sans distraction étaient randomisées lors de

l'inclusion à l'aide d'une table de randomisation fournie par le Laboratoire de Biostatistiques du CHU de Nîmes, et espacées d'une phase de récupération de 2 minutes. La seule consigne pour l'ensemble des sujets était de ne pas toucher ou tenir les rampes de sécurité encadrant le tapis roulant, qui étaient d'ailleurs baissées au maximum pour ne pas gêner les mouvements des sujets, notamment des membres supérieurs.

2.2.3 Matériel et recueil des données

La tâche de marche était réalisée sur un tapis roulant (dont le plus petit incrément de vitesse était de 0,1 km/h), situé dans une pièce isolée, et face auquel était installé un écran de télévision (140 cm de diagonale, installé à 1 m du sujet) relié à une tablette Ipad® (*Figure 6*). La variable manipulée était l'utilisation d'une distraction attentionnelle. Cette distraction était réalisée à l'aide d'une application mobile nommée BitGym®, qui peut être définie comme un « jeu sérieux » : elle consiste en la diffusion de paysages issus de randonnées filmées en Haute Définition à la première personne, dans des environnements naturels. L'outil de capture de photos et vidéos de l'Ipad® est utilisé par l'application pour asservir la vitesse de diffusion du paysage à la vitesse de marche du sujets (à l'aide de la capture de ses mouvements alternatifs d'épaule).

Figure 6 : Photographie du dispositif expérimental

Afin d'évaluer l'effet de cette distraction attentionnelle, deux contrôles expérimentaux étaient mis en place. Tout d'abord les temps de réaction auditifs : les sujets devaient appuyer sur un bouton poussoir qu'ils tenaient dans leur main droite, dès qu'ils entendaient le signal sonore produit par un haut-parleur. Le recueil du signal sonore et du signal du bouton poussoir était effectué de manière synchronisée par un convertisseur analogique-numérique, puis transmis sur le logiciel Matlab®, afin de permettre le traitement des données. La fréquence d'échantillonnage était de 200 Hz. Par ailleurs, à l'issue de l'expérience, les patients répondaient à des questions issues du Igroup Presence Questionnaire (Schubert et al., 2001). Ce questionnaire est utilisé habituellement dans les expériences en réalité virtuelle ; il permet de contrôler l'importance du sentiment de présence, défini comme l'expérience subjective d'être

dans un environnement synthétique, même si la personne se trouve physiquement dans un autre environnement (Witmer et al, 1996) ; la présence peut être aussi définie comme un flux perceptuel qui demande l'attention directe de l'individu. Cet autre contrôle devait permettre d'aborder de façon plus subjective l'effet du dispositif de distraction utilisé dans notre protocole. Etant donné le contexte légèrement différent d'une expérience en réalité virtuelle, les questions faisant référence à la possibilité d'interaction avec l'environnement virtuel, ou des éléments de ce dernier, n'étaient pas prises en compte. Ce questionnaire se présente sous la forme d'une échelle de Liekert, avec une notation allant de -3 à +3 pour chaque question. Nous réalisions la moyenne des réponses à chaque question, pour obtenir un score de réponse.

Afin de recueillir les séries de durées de foulées, les sujets étaient équipés de semelles fines munies d'un capteur de pression au niveau talonnier du pied droit, à intégrer dans leurs chaussures habituelles ; aucun sujet n'a fait part d'une gêne ou d'une douleur liée à ces semelles au cours de l'expérience. Le recueil des pressions par les semelles était effectué par un convertisseur analogique-numérique avec une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz, et transmises au logiciel Matlab®, pour le traitement des données. La durée de chaque foulée était ensuite définie comme l'intervalle entre deux contacts talonniers successifs au sol. Il s'agit d'une variable communément étudiée dans l'analyse non-linéaire de la variabilité de la marche (Hausdorff et al., 2007).

A l'issue de chacune des deux périodes de marche, la douleur des patients lombalgiques était évaluée à l'aide de l'Echelle Visuelle Analogique (EVA), afin de pouvoir détecter un éventuel effet de ce facteur.

Par ailleurs, dans le groupe des patients lombalgiques, sont recueillies les données des questionnaires fonctionnels validés dans la lombalgie chronique (Echelle de Québec, Back Beliefs Questionnaire, Fear Avoidance Beliefs Questionnaire, Tampa Scale of Kinesophobia), afin de caractériser le groupe des patients quant au niveau d'incapacité fonctionnelle et de modifications cognitivo-comportementales et de réaliser des analyses de corrélation entre le niveau de modification de complexité entre les conditions non distraite et distraite, et les réponses à ces questionnaires.

2.2.4 Analyse des données

2.2.4.1 Temps de réaction

Un algorithme de détection de pics a permis d'identifier les temps marquant les débuts des signaux sonores et des réponses des sujets. Le temps de réaction était défini comme le temps séparant la réponse du signal.

2.2.4.2 Pattern de marche

Prétraitement. Les séries de pression étaient traitées à l'aide d'un script Matlab conçu pour l'occasion. Celui-ci comprenait une phase de lissage des données par moyenne mobile, puis de détection des pics sur ces séries de pression lissées. Nous obtenions une série événementielle de durées de foulées (DF). L'ensemble des séries de durée de foulées était ensuite ramené à la longueur maximale commune – soit 300 foulées dans ce protocole – afin de permettre la comparabilité des séries.

Pour chaque série de DF nous avons calculé les moyennes et les coefficients de variation des séries de DF. Ensuite les séries étaient redressées linéairement, centrées sur 0 et réduites à un écart-type de 1 avant analyse de la structure de la variabilité.

Analyse fractale de la variabilité des séries de durées de foulées. La méthode utilisée était la *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA), décrite initialement par Peng et al. (1993). Cette méthode, largement utilisée dans la littérature, s'intéresse à la propriété d'auto-similarité d'une série temporelle. Tout d'abord, la série est intégrée, en calculant pour chaque événement la somme des écarts à la moyenne :

$$X(k) = \sum_{i=1}^{k}[x(i) - \bar{x}] \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Puis la série intégrée est divisée en intervalles de même taille *n*, ne se chevauchant pas. À l'intérieur de chaque intervalle une régression linéaire est calculée selon la méthode des moindres carrés. La série est alors être redressée à l'échelle de chaque intervalle, en soustrayant à *X*(*k*) les valeurs estimées par la régression. Cette étape permet de s'affranchir de l'artefact dû au caractère non-stationnaire des séries temporelles générées dans les systèmes physiologiques. La taille de fluctuations caractéristique *F*(*n*) pour chaque intervalle de longueur *n* est alors donnée par :

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}[X(k) - X_n(k)]^2} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Ce calcul est ensuite répété à toutes les échelles de temps, c'est-à-dire pour toutes les tailles d'intervalle possibles dans la série, typiquement de *n* = 10 à *n* = *N*/2. Pour une série fractale, une relation puissance est attendue entre *F*(*n*) et *n* :

$$F(n) \propto n^{\alpha}, \qquad \text{(Eq. 3)}$$

où *α* est l'exposant fractal de la série. Cette relation être représentée dans un graphique en double échelle logarithmique, dans lequel *α* correspond donc à la pente

de la droite de régression entre *F*(*n*) et *n*. L'exposant fractal α constitue le critère de jugement principal de notre étude.

Des études méthodologiques récentes se sont intéressés aux points du graphe de diffusion à inclure dans le calcul de la droite de régression. Ces études ont montré que la "*evenly spaced*" DFA (Almurad et al., 2016) permet une estimation plus précise et robuste de l'exposant *α.* : cela signifie que les points utilisés pour tracer la régression entre *F*(*n*) et *n* sont régulièrement espacés sur l'échelle logarithmique des abscisses, ce afin d'éviter une relative surreprésentation dans grandes valeurs de *n* qui induit une certaine variabilité dans l'estimation de la pente. La *Figure 7* (issue de Goldberger et al., 2002) illustre les étapes de la DFA, de la série temporelle au graphique log-log.

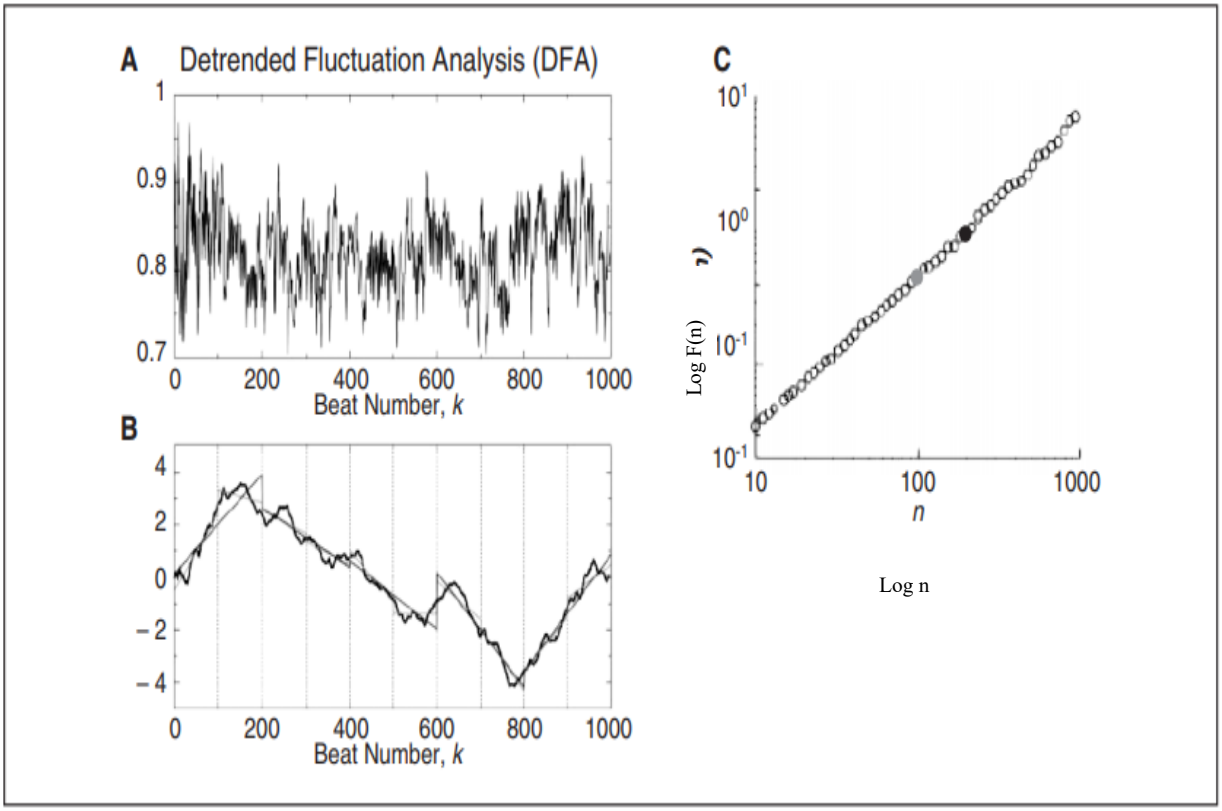

Figure 7 : Illustration de l'algorithme de la DFA : (A) série temporelle (ici des intervalles inter-battements de cœur). (B) série intégrée, les segments représentent les tendances estimées dans chaque intervalle de longueur n (ici, n=100). (C) graphique à double échelle logarithmique, la pente de la droite de relation est l'exposant α

2.2.5 Analyses statistiques

Les résultats sont rapportés sous la forme de moyennes ± écarts-types, ou de pourcentages. La normalité de distribution des données était vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk. Pour comparer les caractéristiques des deux groupes (sujets sains et patients), un t-test pour échantillons indépendants était utilisé pour les variables quantitatives, et un test exact de Fisher pour les variables nominales. Les analyses de corrélation étaient réalisées par la méthode de Pearson.

L'hypothèse principale était testée par une analyse de variance (ANOVA) avec un facteur groupe (sujets lombalgiques *vs*. sujets sains) et un facteur à mesures répétées (avec *vs*. sans distraction). En présence d'effets significatifs, des tests post-hoc sont menés avec un test de Différence Significative Minimale (LSD) de Fisher.

Les analyses statistiques sont réalisées par le logiciel Statistica© version 7.1. Pour tous les tests, nous avons adopté un niveau de significativité statistique de 0,05.

2.3 RESULTATS

2.3.1 Caractéristiques des participants

Trente-deux sujets ont participé à l'étude, répartis en 16 patients et 16 sujets sains. Les deux groupes étaient comparables en termes d'âge, de ratio hommes-femmes, de taille et poids, comme le montre le **Tableau 1**, qui détaille par ailleurs les caractéristiques du groupe de patients lombalgiques chroniques. Les patients avaient une vitesse préférentielle de marche significativement plus basse que les sujets sains (3,6 ± 0,6 km/h *vs* 4,4 ± 0,5 km/h, p = 0,001).

Nous remarquons une hétérogénéité importante dans les durées d'évolution des lombalgies, mais une tendance à des patients largement chronicisés, avec des niveaux douloureux moyens. Le retentissement fonctionnel et les distorsions cognitivo-comportementales sont importants, comme le montrent les réponses aux différents questionnaires.

Tableau 1 : caractéristiques des deux groupes : patients lombalgiques et sujets sains (les résultats sont exprimés sous la forme moyenne ± écart-type).

	Patients (n=16)	Sains (n=16)	
Taille (m)	1,74 ± 0,08	1,72 ± 0,10	p = 0,55
Poids (kg)	72,4 ± 7,8	67,6 ± 11,6	p = 0,18
Age (années)	42,6 ± 7,8	40,6 ± 13,3	p = 0,61
Sexe : proportion d'hommes	56,2 %	50 %	p = 1
Vitesse de marche préférentielle (km/h)	3,6 ± 0,6	4,4 ± 0,5	**p = 0,001**
Durée d'évolution des lombalgies (mois)	48 ± 47,7		
EVA moyenne sur le dernier mois (/ 100)	49,1 ± 15,8		
Echelle de Québec (/ 100)	45,6 ± 17,9		
Back Beliefs Questionnaire (/ 45)	25,1 ± 7,2		
Fear Avoidance Beliefs Questionnaire (/ 66) sous-score « Travail » sous-score « Activité physique »	37,3 ± 14,2 11 ± 5,4 26,3 ± 10,6		
Tampa Scale of Kinesophobia (/ 68)	41,9 ± 8,1		
Hospital Anxiety and Depression scale (/ 42) sous-score « Anxiété » sous-score « Dépression »	15,5 ± 9,0 9,4 ± 4,4 6,1 ± 4,6		
Oswestry Disability Index (%)	33,9 ± 12,7		

2.3.2 Moyenne et coefficient de variation des séries de durées de foulées

Les moyennes et les coefficients de variation des séries de durées de foulées sont représentés dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : Moyennes et coefficients de variation de durées de foulées

	Sans distraction		Avec distraction	
	Moyenne	Coefficient de variation	Moyenne	Coefficient de variation
Patients	1,149 s (± 0,092)	3,42 % (± 1,27)	1,146 s (± 0,102)	3,84 % (± 1,45)
Sains	1,114 s (± 0,097)	2,90 % (± 1,56)	1,110 s (± 0,104)	3,08 % (± 1,35)

L'ANOVA 2×2R n'a pas montré de différence significative entre les sujets sains et patients ($F(1, 30) = 1,006$, $p = 0,32$), ni d'effet significatif de la distraction ($F(1, 30) = 0,369$, $p = 0,55$) ni d'interaction groupe x distraction ($F(1, 30) = 0,028$, $p = 0,87$).

L'ANOVA sur les coefficients de variation n'a pas retrouvé de différence significative entre les sujets sains et les patients ($F(1, 30) = 1,728$, $p = 0,20$). De même, elle n'a pas montré d'effet significatif de la distraction ($F(1, 30) = 3,802$, $p = 0,06$), ni d'effet d'interaction groupe x distraction ($F(1, 30) = 0,661$, $p = 0,42$). Les résultats concernant le coefficient de variation sont représentés sur la *Figure 8*.

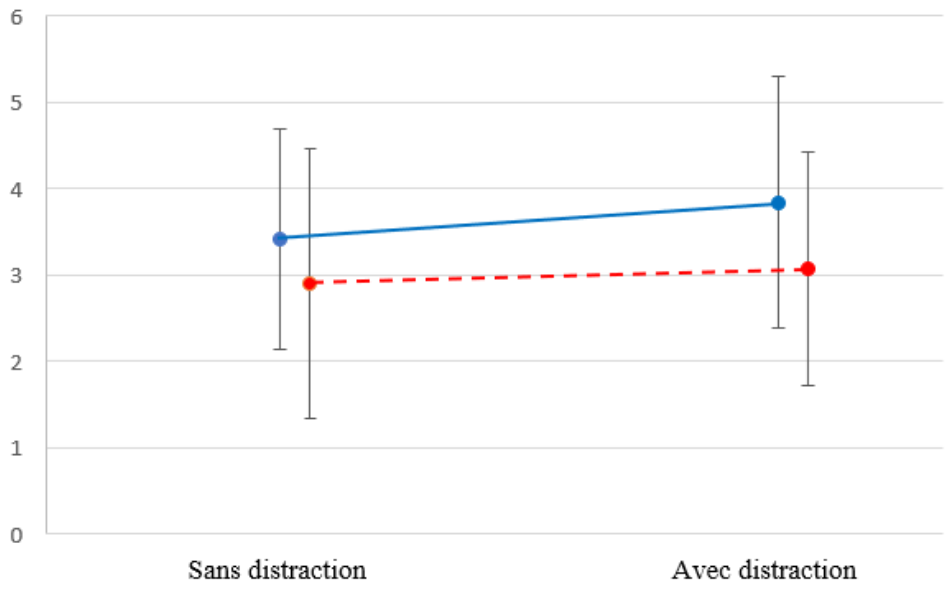

Figure 8 : Résultat portant sur le coefficient de variation de la durée des foulées (trait plein bleu : patients, pointillés rouges : sujets sains)

2.3.3 Propriétés fractales de la variabilité des durées de foulées

Les valeurs d'exposants α et leurs écarts-types sont représentés dans le **Tableau 3.** Les plots moyens issus de la DFA (graphique log-log) correspondants sont tracés dans la *Figure 9*.

Tableau 3 : Valeurs des exposants α

	Sans distraction	Avec distraction
Patients	0,576 ± 0,216	0,720 ± 0,222
Sains	0,725 ± 0,145	0,642 ± 0,178

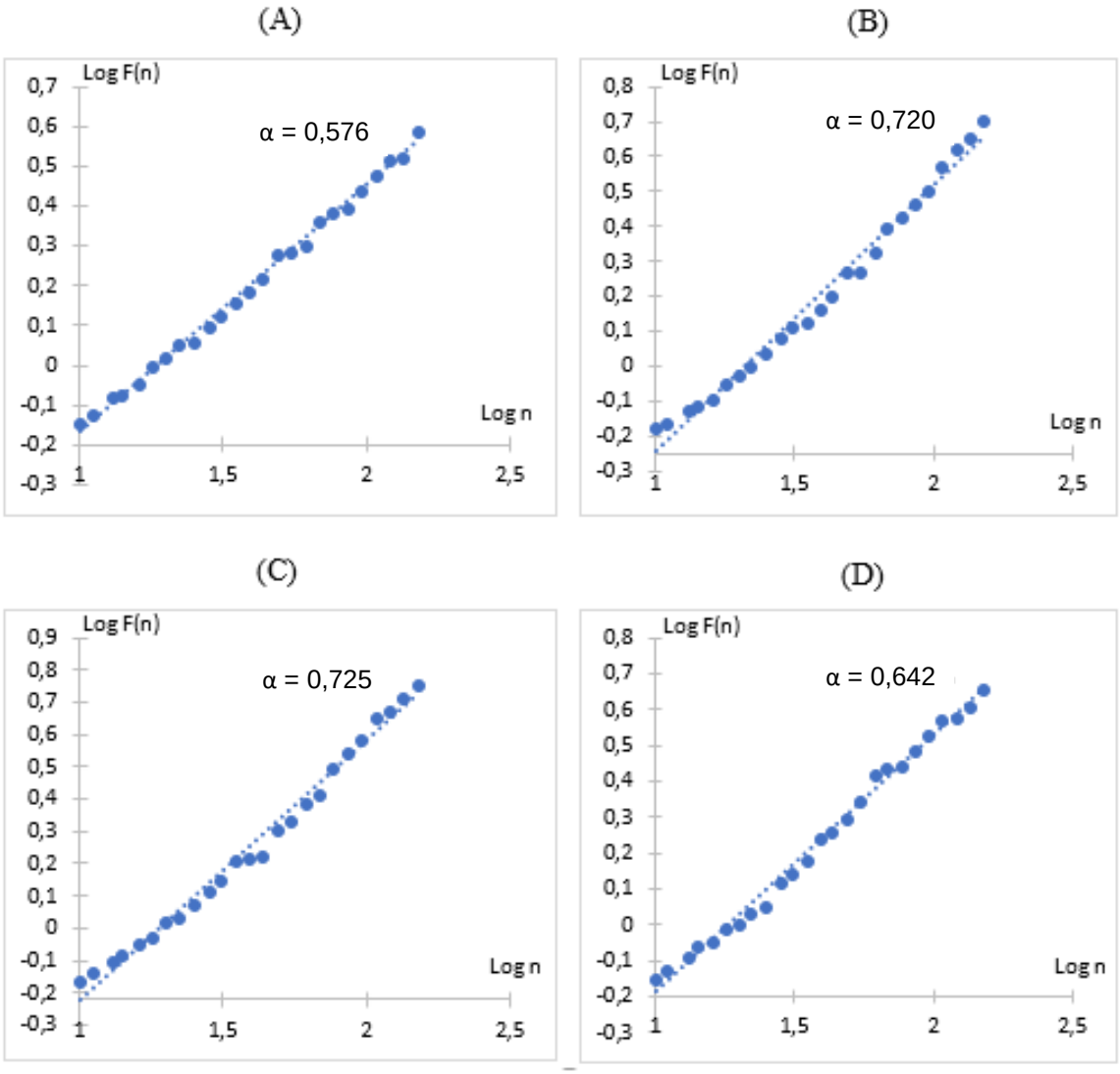

Figure 9 : Graphiques moyens en coordonnées log-log issus de la evenly spaced DFA pour les 4 conditions expérimentales :(A) Patients sans distraction, (B) Patients avec distraction, (C) Sujets sains sans distraction, (D) Sujets sains avec distraction.

L'ANOVA 2×2R sur les exposants α montre un effet d'interaction groupe x distraction significatif (F(1, 30) = 9,972, p = 0,004), mais pas d'effet principal du facteur groupe (*F*(1, 30) = 0,376, p = 0,545), ni du facteur distraction (*F*(1, 30) = 0,711, p = 0,406). La *Figure 10* résume les résultats obtenus pour l'exposant α.

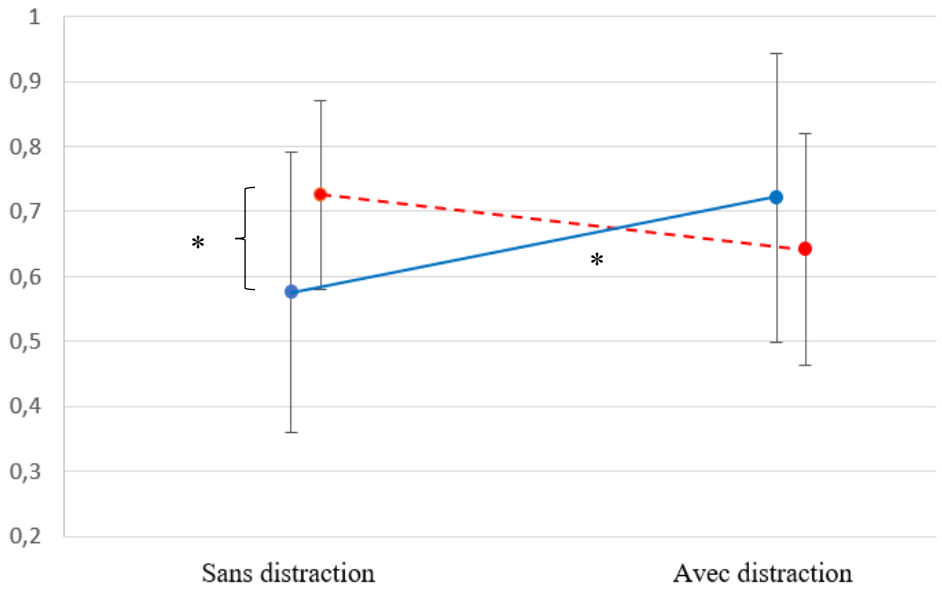

*Figure 10 : Résultat de l'analyse de variance pour l'effet d'interaction groupe x distraction sur l'exposant fractal α (trait plein bleu : patients, pointillés rouges : sujets sains ; * : p < 0,05)*

L'analyse post-hoc (**Tableau 4**) montre que l'exposant α est significativement supérieur pour les patients en condition avec distraction comparé à la condition sans distraction. Nous retrouvons également une différence significative des valeurs de l'exposant α entre patients et sujets sains dans la condition sans distraction (p = 0,033).

Tableau 4 : Analyse post-hoc de l'analyse de variance avec le test LSD de Fisher

	Groupe	Condition	1	2	3
1	Patients	Sans distraction			
2	Patients	Avec distraction	**p = 0,008**		
3	Sains	Sans distraction	**p = 0,033**	p = 0,943	
4	Sains	Avec distraction	p = 0,338	p = 0,253	p = 0,112

2.3.4 Contrôles : temps de réaction, Igroup Presence Questionnaire, EVA

Le **Tableau 5** présente les temps de réaction moyens pour les deux groupes dans les deux conditions.

Tableau 5 : Temps de réaction moyens

	Sans distraction	Avec distraction
Patients	0,452 ± 0,140 s	0,415 ± 0,137 s
Sains	0,386 ± 0,125 s	0,401 ± 0,145 s

L'analyse de variance ne retrouve aucune différence significative, que ce soit pour le facteur groupe ($F(1, 30) = 0,384$, $p = 0,47$), le facteur distraction ($F(1, 30) = 1,748$, $p = 0,20$), ou l'effet d'interaction groupe x distraction ($F(1, 30) = 0,752$, $p = 0,37$).

La moyenne des réponses au Igroup Presence Questionnaire est de 1,31 ± 0,92 pour les patients, et de 1,24 ± 0,47 pour les sujets sains. Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes ($p = 0,873$).

La douleur moyenne évaluée par l'EVA (sur 100) des patients lombalgiques est de 49,1 ± 15,8 lors de la condition non distraite, et de 44,8 ± 19,1 lors de la condition distraite. Il n'y a pas de différence significative entre les deux conditions au t-test de Student ($p = 0,522$).

2.3.5 Analyses de corrélation entre la variation d'exposant fractal et les questionnaires fonctionnels de lombalgie chronique

Le **Tableau 6** présente les résultats des analyses de corrélation entre la variation d'exposant fractal (changement de complexité) entre les conditions distraites et non distraites chez les patients lombalgiques, et leurs réponses aux questionnaires fonctionnels de la lombalgie chronique.

Tableau 6 : Corrélations entre variation d'exposant fractal et réponses aux questionnaires fonctionnels

Questionnaire fonctionnel	r	p
Echelle de Québec	0,23	0,39
Back Beliefs Questionnaire	0,12	0,67
Fear Avoidance Beliefs Questionnaire	0,11	0,68
Tampa Scale of Kinesophobia	0,50	**0,05**
Hospital Anxiety and Depression scale (HAD) sous-score « Anxiété » sous-score « Dépression »	0,49 0,40 0,47	0,06 0,12 0,07
Oswestry Disability Index (%)	0,18	0,49

Les analyses montrent une corrélation significative entre le gain de complexité (augmentation de l'exposant fractal) entre conditions distraite et non distraite et les réponses des patients à l'Echelle de Kinésiophobie de Tampa (r = 0,50, p = 0,05), comme le montre la *Figure 11*. Il existe une tendance à la corrélation avec les réponses obtenues au questionnaire HAD (p = 0,06).

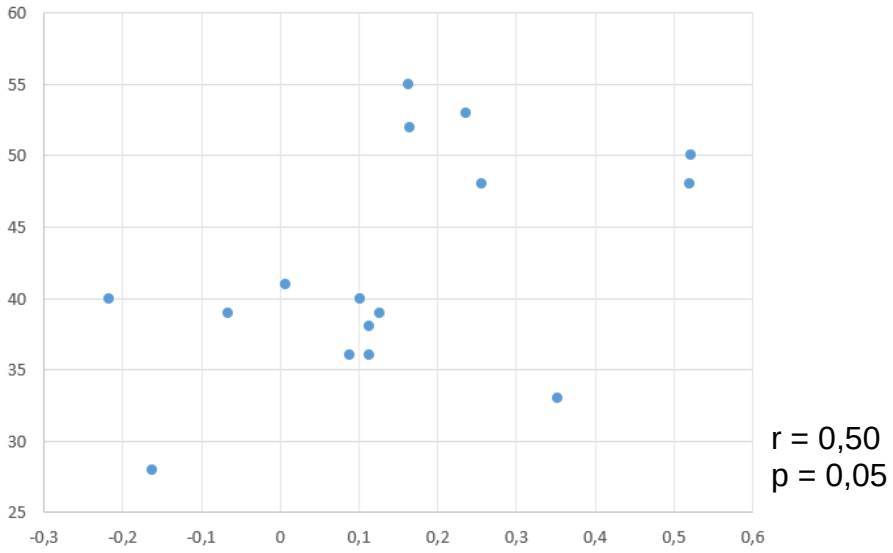

Figure 11 : Corrélation de Pearson entre la variation d'exposant fractal (en abscisse) et les réponses à l'Echelle de Kinésiophobie de Tampa (en ordonnée)

2.4 DISCUSSION

Globalement nos résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans la littérature. En effet, nous rapportons une vitesse de marche préférentielle significativement réduite chez les patients lombalgiques chroniques, comme attendu dans la littérature (Lamoth et al., 2006). Il en est de même pour les coefficients de variation de durée des foulées, proches de ceux rapportés dans des conditions similaires chez les sujets sains (Hausdorff, 2007). Enfin, les valeurs d'exposant fractal de variabilité temporelle des foulées retrouvées chez les sujets sains en conditions non distraites à vitesse préférentielle sont consistantes avec les valeurs décrites dans la littérature pour des durées similaires d'analyse, comme par exemple par Jordan et al. (2006).

Concernant l'hypothèse principale issue de notre questionnement de recherche, nous mettons en évidence un effet significatif d'interaction de la distraction attentionnelle selon le groupe de sujets concerné, sur le niveau de complexité du pattern de marche, exprimé par l'exposant fractal α. Ainsi, et conformément à ce que nous supposions, les patients lombalgiques chroniques, lorsqu'ils sont soumis à une distraction attentionnelle, présentent un gain de complexité jusqu'à retrouver un niveau de complexité comparable à celui des sujets sains. Le fait que cet effet d'interaction soit présent pour les propriétés fractales du pattern de marche et pas pour les coefficients de variation de durée des foulées est cohérent avec de précédentes observations dans la littérature (Hausdorff, Mitchell et al., 2007) qui suggèrent que l'analyse non-linéaire de la variabilité, par son étude de la structure plus que de la quantité de variabilité, peut être utile pour mieux caractériser des changements dans le contrôle de la marche.

Nos résultats montrent également une perte de complexité de la marche à vitesse préférentielle chez les patients lombalgiques chroniques, comparés aux sujets sains, venant renforcer les résultats retrouvés par Newell et al. (2010).

2.4.1 Sur un plan fondamental

Comme exposé précédemment, il est dorénavant admis que les propriétés fractales d'un système sont un marqueur de son état de fonctionnement, étant donné la quantité de travaux ayant abordé cette relation dans des domaines variés. La relation entre complexité et adaptabilité est ainsi en partie inférée de cette association entre état pathologique et perte de complexité. Toutefois, le caractère assez ubiquitaire et peu spécifique de cette relation contribue au manque de compréhension des mécanismes sous-jacents (Sleimen-Malkoun et al., 2015)

De plus, le fait que les propriétés fractales témoignent aussi – dans un autre pan de la littérature, hors de tout contexte de pathologie – de l'adaptation des sujets à une contrainte expérimentale imposée, c'est-à-dire de l'interaction entre le sujet et son environnement, contribue à considérer l'adaptabilité selon deux approches, rejoignant la définition donnée par Conrad (1977) : « the system's potential ability to cope with environmental uncertainty ». Un pan de la littérature s'intéresse ainsi à comprendre les mécanismes expliquant le risque de chute précoce chez les personnes âgées (Hausdorff et al., 2005), et a pu montrer le rôle des fonctions exécutives dans le contrôle de la marche, notamment par l'utilisation de protocoles en double tâche.

L'intérêt de notre étude dans cet axe de recherche réside dans l'utilisation d'un plan expérimental croisé, dans lequel nous avons souhaité manipuler l'attention des sujets par l'utilisation d'une distraction, et ainsi explorer la relation triangulaire entre complexité, état du système, et interactions avec l'environnement. La mise en

évidence d'un effet d'interaction groupe x distraction isolé sur l'analyse de variance (la distraction des sujets permettant de retrouver un niveau de complexité similaire à celui des sujets sains) nous semble être un argument valable pour évoquer la part importante des distorsions cognitives et comportementales, et notamment de l'engagement attentionnel excessif portée à la douleur par les patients, sur la perte d'adaptabilité de ces patients. Ce résultat vient confirmer les inférences du modèle-peur évitement (Vlaeyen et al., 2000) issues de l'observation clinique.

2.4.2 Sur un plan clinique

Il est démontré en pratique clinique que les patients lombalgiques chroniques ont tendance à surévaluer la douleur et la difficulté associées à la réalisation d'une tâche donnée (Crombez et al., 2002), et que le fait de permettre à ces patients de confronter leurs croyances avec la tâche en question va les aider à corriger ces distorsions. Ainsi, des protocoles de rééducation en confrontation progressive sont proposés aux patients par certaines équipes : il s'agit d'établir une hiérarchie des activités perçues comme potentiellement douloureuses, puis de travailler à leur réalisation sous le contrôle d'une équipe de rééducation. Toutefois, ces protocoles sont souvent caractérisés par un fort taux d'abandons, témoignant d'une incapacité à surmonter l'anxiété anticipatoire de certains patients.

Les techniques de réalité virtuelle – comprise au sens large comme l'utilisation de simulations utilisant une ou plusieurs modalités sensorielles et/ou des processus interactifs – sont utilisées depuis des années dans le traitement de la douleur aigüe (liée aux soins par exemple), et leurs effets sur les fonctions centrales, notamment exécutives, attentionnelles, et émotionnelles (Bailey et al., 2011), ont été étudiés assez

largement. Elles sont de plus en plus étudiées dans la prise en charge des patients douloureux chroniques, et en particulier dans la lombalgie commune.

Notre étude utilisant un dispositif de distraction, certes moins lourd qu'en réalité virtuelle, montre une amélioration du pattern de marche, et à travers lui de l'adaptabilité des patients, en conditions distraites, nous permettant de penser que cette catégorie de techniques de rééducation pourrait être proposé, notamment pour un sous-groupe de patients caractérisés par un haut taux de modifications cognitivo-comportementales. L'utilisation de dispositifs combinant distraction par l'immersion et exposition graduelle, pourrait permettre d'augmenter la motivation de ces patients (Thornton et al., 2005), à travers l'utilisation du renforcement positif. Récemment, certains auteurs (van Dieën et al., 2017) proposent le rôle de l'apprentissage par renforcement comme processus favorisant l'adaptation néfaste du contrôle moteur des sujets douloureux chroniques.

Enfin, outre le plan thérapeutique, nous pouvons envisager l'utilisation d'un tel dispositif d'étude du mouvement comme d'un moyen diagnostique permettant d'aborder le contrôle moteur et l'impact de l'engagement attentionnel excessif à la douleur. En effet, nous ne disposons pas de moyens objectifs d'aborder l'attention à la douleur en situation de mouvement. Les autres moyens d'aborder cette question centrale dans la prise en charge, sont les questionnaires fonctionnels, ou en pratique de recherche fondamentale l'IRM cérébrale fonctionnelle, qui n'est évidemment pas réalisable en pratique courante.

2.4.3 Limites méthodologiques

L'absence de différence dans les temps de réaction entre sujets sains et patients lombalgiques est une limite dans l'évaluation objective de la distraction

utilisée. Toutefois, les demandes attentionnelles associées à la marche sont fortement dépendantes de la tâche en elle-même, et évidemment de la tâche secondaire réalisée (Woolacott et al., 2002). La distraction utilisée ne demandait probablement pas de coût attentionnel suffisant pour entraîner une modification du temps de réaction, à la différence de tâches exécutives fréquemment utilisées dans ces paradigmes en double tâche (calcul mental, test de Stroop). La positivité (modérée, non différente entre les deux groupes) du sentiment de présence lors de la réalisation de la tâche, rapportée par les réponses aux questions du Igroup Presence Questionnaire, permet d'apporter une réponse à cette limite, alors que de nombreux travaux (Baumgartner et al., 2008) démontrent la relation entre ce sentiment subjectif et la modulation des réseaux neuronaux attentionnels, dans les régions exécutives et notamment le cortex préfrontal.

De la même manière, la présence d'une corrélation assez forte, significative statistiquement, entre la variation d'exposant fractal et les réponses à l'Echelle de Kinésiophobie de Tampa, ainsi que la tendance retrouvée avec le questionnaire HAD, sont des éléments supplémentaires qui peuvent nous permettre de rapporter les changements de complexité observés en condition de distraction chez les patients lombalgiques à ces facteurs cognitivo-comportementaux.

Enfin, l'utilisation d'un tapis roulant représente un choix méthodologique permettant la comparabilité en situation expérimentale et l'utilisation de la distraction visuelle, tout autant qu'une limite. En effet, il a été montré une réduction modérée de complexité dans la variabilité temporelle des foulées lors de la marche sur tapis roulant (Hollman et al., 2016). La principale hypothèse évoquée pour expliquer ce phénomène est l'effet de la contrainte de vitesse induite par le défilement du tapis. Toutefois, les corrélations à long-terme persistent, et de nombreuses études utilisent le tapis roulant

pour étudier les caractéristiques fractales de la variabilité temporelle de la marche (*e.g.*, Marmelat et al., 2014). Nous ne voyons pas d'argument pour que l'utilisation d'un tapis roulant soit un facteur confondant dans cette étude. Il se peut par contre qu'il conduise à une légère réduction des différences entre les deux groupes.

2.5 CONCLUSION

En conclusion, l'utilisation d'une distraction a permis de montrer une récupération de complexité dans le pattern de marche des patients lombalgiques jusqu'à un niveau comparable à la complexité des sujets sains. Ce résultat est en faveur d'une implication prédominante d'un engagement cognitivo-comportemental excessif à la douleur des sujets lombalgiques chroniques, responsable d'une réduction de leur adaptabilité au mouvement, comme le propose le modèle peur-évitement de la douleur chronique. Des techniques de rééducation plus adaptées doivent être proposées aux patients présentant cet engagement attentionnel excessif. L'analyse de la complexité du mouvement semble permettre d'étudier de façon pertinente le contrôle moteur dans le contexte de la lombalgie chronique.

3 REFERENCES

Almurad, Z. M. H., & Delignières, D. (2016). Evenly spacing in Detrended Fluctuation Analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *451*, 63–69. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.155

Bailey, B. W., & McInnis, K. (2011). Energy cost of exergaming: a comparison of the energy cost of 6 forms of exergaming. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, *165*(7), 597–602. https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2011.15

Baumgartner, T., Speck, D., Wettstein, D., Masnari, O., Beeli, G., & Jäncke, L. (2008). Feeling Present in Arousing Virtual Reality Worlds: Prefrontal Brain Regions Differentially Orchestrate Presence Experience in Adults and Children. *Frontiers in Human Neuroscience*, *2*. https://doi.org/10.3389/neuro.09.008.2008

Bevan, S., Quadrello, T., McGee, R., Mahdon, M., Vavrovsky, A., Barham, L. (2009). Fit For work? Musculoskeletal disorders in the European workforce: fit For work Europe: The Work Foundation.

Brinjikji, W., Luetmer, P. H., Comstock, B., Bresnahan, B. W., Chen, L. E., Deyo, R. A., … Jarvik, J. G. (2015). Systematic literature review of imaging features of spinal degeneration in asymptomatic populations. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, *36*(4), 811–816. https://doi.org/10.3174/ajnr.A4173

Brumagne, S., Janssens, L., Knapen, S., Claeys, K., & Suuden-Johanson, E. (2008). Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, *17*(9), 1177–1184. https://doi.org/10.1007/s00586-008-0709-7

Cherin, P., & de Jaeger, C. (2011). La lombalgie chronique : actualités, prise en charge thérapeutique. *Médecine & Longévité*, *3*(3), 137–149. https://doi.org/10.1016/j.mlong.2011.08.002

Conrad, M. (1977). Functional significance of biological variability. *Bulletin of Mathematical Biology*, *39*(2), 139–156. https://doi.org/10.1007/BF02462854

Crombez, G., Vlaeyen, J. W., Heuts, P. H., & Lysens, R. (1999). Pain-related fear is more disabling than pain itself: evidence on the role of pain-related fear in chronic back pain disability. *Pain*, *80*(1–2), 329–339.

Crombez, Geert, Eccleston, C., Vlaeyen, J. W. S., Vansteenwegen, D., Lysens, R., & Eelen, P. (2002). Exposure to physical movements in low back pain patients:

restricted effects of generalization. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *21*(6), 573–578.

da Silva, T., Mills, K., Brown, B. T., Herbert, R. D., Maher, C. G., & Hancock, M. J. (2017). Risk of Recurrence of Low Back Pain: A Systematic Review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *47*(5), 305–313. https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7415

Delignieres, D., Ramdani, S., Lemoine, L., Torre, K., Fortes, M., & Ninot, G. (2006). Fractal analyses for “short” time series: A re-assessment of classical methods. *Journal of Mathematical Psychology*, *50*(6), 525–544. https://doi.org/10.1016/j.jmp.2006.07.004

Dionne, C. E., Dunn, K. M., Croft, P. R., Nachemson, A. L., Buchbinder, R., Walker, B. F., … Von Korff, M. (2008). A consensus approach toward the standardization of back pain definitions for use in prevalence studies. *Spine*, *33*(1), 95–103. https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31815e7f94

Edwards, R. R., Kronfli, T., Haythornthwaite, J. A., Smith, M. T., McGuire, L., & Page, G. G. (2008). Association of catastrophizing with interleukin-6 responses to acute pain. *Pain*, *140*(1), 135–144. https://doi.org/10.1016/j.pain.2008.07.024

Ellis, A. (1962). Reason and emotion in psychotherapy. LyleStuart, New York.

Froud, R., Patterson, S., Eldridge, S., Seale, C., Pincus, T., Rajendran, D., … Underwood, M. (2014). A systematic review and meta-synthesis of the impact of low back pain on people’s lives. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *15*, 50. https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-50

GBD 2015 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. (2016). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet (London, England)*, *388*(10053), 1545–1602. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31678-6

Gizzi, L., Röhrle, O., Petzke, F., & Falla, D. (2019). People with low back pain show reduced movement complexity during their most active daily tasks. *European Journal of Pain (London, England)*, *23*(2), 410–418. https://doi.org/10.1002/ejp.1318

Goldberger, A. L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *Lancet (London, England)*, *347*(9011), 1312–1314.

Goldberger, Ary L., Amaral, L. A. N., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Peng, C.-K., & Stanley, H. E. (2002). Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *99 Suppl 1*, 2466–2472. https://doi.org/10.1073/pnas.012579499

Gourmelen, J., Chastang, J.-F., Ozguler, A., Lanoë, J.-L., Ravaud, J.-F., & Leclerc, A. (2007). Frequency of low back pain among men and women aged 30 to 64 years in France. Results of two national surveys. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, *50*(8), 640–644. https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.05.009

Grotle, M., Vøllestad, N. K., & Brox, J. I. (2006). Clinical course and impact of fear-avoidance beliefs in low back pain: prospective cohort study of acute and chronic low back pain: II. *Spine*, *31*(9), 1038–1046. https://doi.org/10.1097/01.brs.0000214878.01709.0e

Hartvigsen, J., Hancock, M. J., Kongsted, A., Louw, Q., Ferreira, M. L., Genevay, S., … Woolf, A. (2018). What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet*, *391*(10137), 2356–2367. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X

Hashmi, J. A., Baliki, M. N., Huang, L., Baria, A. T., Torbey, S., Hermann, K. M., … Apkarian, A. V. (2013). Shape shifting pain: chronification of back pain shifts brain representation from nociceptive to emotional circuits. *Brain: A Journal of Neurology*, *136*(Pt 9), 2751–2768. https://doi.org/10.1093/brain/awt211

Hausdorff, J. M., Mitchell, S. L., Firtion, R., Peng, C. K., Cudkowicz, M. E., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1997). Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *82*(1), 262–269. https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.1.262

Hausdorff, J. M., Purdon, P. L., Peng, C. K., Ladin, Z., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1996). Fractal dynamics of human gait: stability of long-range correlations in stride interval fluctuations. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *80*(5), 1448–1457. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.5.1448

Hausdorff, J. M., Rios, D. A., & Edelberg, H. K. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(8), 1050–1056. https://doi.org/10.1053/apmr.2001.24893

Hausdorff, Jeffrey M. (2007). Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human Movement Science*, *26*(4), 555–589. https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.05.003

Herman, T., Giladi, N., Gurevich, T., & Hausdorff, J. M. (2005). Gait instability and fractal dynamics of older adults with a “cautious” gait: why do certain older adults walk fearfully? *Gait & Posture*, *21*(2), 178–185. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.01.014

Hoffman, H. G., Patterson, D. R., & Carrougher, G. J. (2000). Use of virtual reality for adjunctive treatment of adult burn pain during physical therapy: a controlled study. *The Clinical Journal of Pain*, *16*(3), 244–250.

Hollman, J. H., Watkins, M. K., Imhoff, A. C., Braun, C. E., Akervik, K. A., & Ness, D. K. (2016). Complexity, fractal dynamics and determinism in treadmill ambulation: Implications for clinical biomechanists. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, *37*, 91–97. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.06.007

Hoy, D., Bain, C., Williams, G., March, L., Brooks, P., Blyth, F., … Buchbinder, R. (2012). A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis and Rheumatism*, *64*(6), 2028–2037. https://doi.org/10.1002/art.34347

Hoy, D., March, L., Brooks, P., Blyth, F., Woolf, A., Bain, C., … Buchbinder, R. (2014). The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, *73*(6), 968–974. https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2013-204428

Itz, C. J., Geurts, J. W., van Kleef, M., & Nelemans, P. (2013). Clinical course of non-specific low back pain: a systematic review of prospective cohort studies set in primary care. *European Journal of Pain (London, England)*, *17*(1), 5–15. https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2012.00170.x

Jordan, K., Challis, J. H., & Newell, K. M. (2007). Walking speed influences on gait cycle variability. *Gait & Posture*, *26*(1), 128–134. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.08.010

Keefe, F. J., & Hill, R. W. (1985). An objective approach to quantifying pain behavior and gait patterns in low back pain patients. *Pain*, *21*(2), 153–161.

Keefe, Francis J., Huling, D. A., Coggins, M. J., Keefe, D. F., Rosenthal, M. Z., Herr, N. R., & Hoffman, H. G. (2012). Virtual Reality for Persistent Pain: A New Direction for Behavioral Pain Management. *Pain*, *153*(11), 2163–2166. https://doi.org/10.1016/j.pain.2012.05.030

Kongsted, A., Kent, P., Axen, I., Downie, A. S., & Dunn, K. M. (2016). What have we learned from ten years of trajectory research in low back pain? *BMC Musculoskeletal Disorders*, *17*(1), 220. https://doi.org/10.1186/s12891-016-1071-2

Lafuma, A., Fagnani, F., & Vautravers, P. (1998). Management and cost of care for low back pain in primary care settings in France. *Revue Du Rhumatisme (English Ed.)*, *65*(2), 119–125.

Lamoth, C. J. C., Meijer, O. G., Daffertshofer, A., Wuisman, P. I. J. M., & Beek, P. J. (2006). Effects of chronic low back pain on trunk coordination and back muscle activity during walking: changes in motor control. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, *15*(1), 23–40. https://doi.org/10.1007/s00586-004-0825-y

Leeuw, M., Goossens, M. E. J. B., Linton, S. J., Crombez, G., Boersma, K., & Vlaeyen, J. W. S. (2007). The fear-avoidance model of musculoskeletal pain: current state of scientific evidence. *Journal of Behavioral Medicine*, *30*(1), 77–94. https://doi.org/10.1007/s10865-006-9085-0

Leeuw, M., Houben, R. M. A., Severeijns, R., Picavet, H. S. J., Schouten, E. G. W., & Vlaeyen, J. W. S. (2007). Pain-related fear in low back pain: a prospective study in the general population. *European Journal of Pain (London, England)*, *11*(3), 256–266. https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2006.02.009

Lipsitz, L. A., & Goldberger, A. L. (1992). Loss of “Complexity” and Aging: Potential Applications of Fractals and Chaos Theory to Senescence. *JAMA*, *267*(13), 1806–1809. https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480130122036

MacNeela, P., Doyle, C., O’Gorman, D., Ruane, N., & McGuire, B. E. (2015). Experiences of chronic low back pain: a meta-ethnography of qualitative research. *Health Psychology Review*, *9*(1), 63–82. https://doi.org/10.1080/17437199.2013.840951

Mandelbrot, B. (1982). The fractal geometry of nature. W. H. Freeman and Co

Marmelat, V., Delignières, D., Torre, K., Beek, P. J., & Daffertshofer, A. (2014). “Human paced” walking: followers adopt stride time dynamics of leaders. *Neuroscience Letters*, *564*, 67–71. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.02.010

Newell, D., & van der Laan, M. (2010). Measures of complexity during walking in chronic non-specific low back pain patients. *Clinical Chiropractic*, *13*(1), 8–14. https://doi.org/10.1016/j.clch.2009.10.002

Parsons, T., & Trost, Z. (2014). Virtual Reality Graded Exposure Therapy as Treatment for Pain-Related Fear and Disability in Chronic Pain. In *Intelligent Systems*

Reference Library (Vol. 68, pp. 523–546). https://doi.org/10.1007/978-3-642-54816-1_25

Peng, C.-K., Mietus, J., Hausdorff, J. M., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1993). Long-range anticorrelations and non-Gaussian behavior of the heartbeat. *Physical Review Letters*, *70*(9), 1343–1346. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.70.1343

Plénet, A., Gourmelen, J., Chastang, J.-F., Ozguler, A., Lanoë, J.-L., & Leclerc, A. (2010). Seeking care for lower back pain in the French population aged from 30 to 69: The results of the 2002–2003 Décennale Santé survey. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *53*(4), 224–238. https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.03.006

Roelofs, J., Peters, M. L., Fassaert, T., & Vlaeyen, J. W. S. (2005). The role of fear of movement and injury in selective attentional processing in patients with chronic low back pain: a dot-probe evaluation. *The Journal of Pain: Official Journal of the American Pain Society*, *6*(5), 294–300. https://doi.org/10.1016/j.jpain.2004.12.011

Schubert, T., Friedmann, F., & Regenbrecht, H. (2001). The Experience of Presence: Factor Analytic Insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *10*(3), 266–281. https://doi.org/10.1162/105474601300343603

Sleimen-Malkoun, R., Temprado, J.-J., & Hong, S. L. (2014). Aging induced loss of complexity and dedifferentiation: consequences for coordination dynamics within and between brain, muscular and behavioral levels. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*, 140. https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00140

Spenkelink, C. D., Hutten, M. M. R., Hermens, H. J., & Greitemann, B. O. L. (2002). Assessment of activities of daily living with an ambulatory monitoring system: a comparative study in patients with chronic low back pain and nonsymptomatic controls. *Clinical Rehabilitation*, *16*(1), 16–26. https://doi.org/10.1191/0269215502cr463oa

Sullivan, M. J. L., Thorn, B., Rodgers, W., & Ward, L. C. (2004). Path model of psychological antecedents to pain experience: experimental and clinical findings. *The Clinical Journal of Pain*, *20*(3), 164–173.

Tanimoto, K., Anan, M., Sawada, T., Takahashi, M., & Shinkoda, K. (2016). The effects of altering attentional demands of gait control on the variability of temporal and kinematic parameters. *Gait & Posture*, *47*, 57–61. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.005

Thornton, M., Marshall, S., McComas, J., Finestone, H., McCormick, A., & Sveistrup, H. (2005). Benefits of activity and virtual reality based balance exercise programmes for adults with traumatic brain injury: perceptions of participants and their caregivers. *Brain Injury*, *19*(12), 989–1000. https://doi.org/10.1080/02699050500109944

Van Damme, S., Crombez, G., & Eccleston, C. (2004). The anticipation of pain modulates spatial attention: evidence for pain-specificity in high-pain catastrophizers. *Pain*, *111*(3), 392–399. https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.07.022

van der Hulst, M., Vollenbroek-Hutten, M. M., Rietman, J. S., Schaake, L., Groothuis-Oudshoorn, K. G., & Hermens, H. J. (2010). Back muscle activation patterns in chronic low back pain during walking: a “guarding” hypothesis. *The Clinical Journal of Pain*, *26*(1), 30–37. https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3181b40eca

van Dieën, J. H., Flor, H., & Hodges, P. W. (2017). Low-Back Pain Patients Learn to Adapt Motor Behavior With Adverse Secondary Consequences. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *45*(4), 223–229. https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000121

Véron, O., Tcherniatinsky, E., Fayad, F., Revel, M., & Poiraudeau, S. (2008). [Chronic low back pain and functional restoring program: applicability of the Patient Acceptable Symptom State]. *Annales De Readaptation Et De Medecine Physique: Revue Scientifique De La Societe Francaise De Reeducation Fonctionnelle De Readaptation Et De Medecine Physique*, *51*(8), 642–649. https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2008.08.003

Vlaeyen, J. W., & Linton, S. J. (2000). Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art. *Pain*, *85*(3), 317–332.

Waddell, G., & Burton, A. K. (2001). Occupational health guidelines for the management of low back pain at work: evidence review. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, *51*(2), 124–135.

Waddell, G. (2004). The biopsychosocial model. In: G. Waddel (Ed.), *The Back Pain Revolution*. Churchill Livingston, Edinburgh, pp. 265–282.

Wertli, M. M., Rasmussen-Barr, E., Held, U., Weiser, S., Bachmann, L. M., & Brunner, F. (2014). Fear-avoidance beliefs-a moderator of treatment efficacy in patients with low back pain: a systematic review. *The Spine Journal: Official Journal of the North American Spine Society*, *14*(11), 2658–2678. https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.02.033

West, B. J., & Scafetta, N. (2003). Nonlinear dynamical model of human gait. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, *67*(5 Pt 1), 051917. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.67.051917

Willigenburg, N. W., Kingma, I., Hoozemans, M. J. M., & van Dieën, J. H. (2013). Precision control of trunk movement in low back pain patients. *Human Movement Science*, *32*(1), 228–239. https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.12.007

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.*, *7*(3), 225–240. https://doi.org/10.1162/105474698565686

Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, *16*(1), 1–14.

Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, *23*(3), 329–342; quiz 472. https://doi.org/10.1002/mds.21720

SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*

- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*

- *Admis (e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

- *Respectueux (se) et reconnaissant (e) envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert (e) d'opprobre et méprisé (e) de mes confrères si j'y manque.*

RESUME

Introduction : Les modèles cliniques de lombalgie chronique (LC) soulignent le rôle majeur joué par un engagement attentionnel excessif à la douleur dans l'apparition d'une limitation fonctionnelle. La LC réduit la capacité des patients à adapter leurs mouvements aux perturbations de l'environnement. Par exemple, la variabilité de la marche dans la LC est caractérisée par une diminution de complexité.
Objectif : Evaluer le rôle de l'engagement attentionnel excessif dans la diminution de complexité de la marche des patients lombalgiques chroniques, en utilisant un dispositif visuel de distraction pendant la marche.
Méthode : 16 patients, non opérés préalablement, sans douleur de jambe significative, et 16 sujets sains appariés ont été inclus. Les sujets marchaient sur un tapis roulant à leur vitesse préférentielle de marche avec et sans distraction. La complexité de la variabilité de durée des foulées était établie par la méthode de *Detrended Fluctuation Analysis.* Une ANOVA à deux facteurs à mesures répétées sur la distraction était réalisée pour les exposants fractals.
Résultats : L'ANOVA a montré un effet groupe x distraction significatif sur la variabilité fractale de durée des foulées ($F(1, 30) = 9{,}972$, $p = 0{,}004$). L'analyse post-hoc confirme l'effet isolé de la distraction sur le groupe des patients, avec une augmentation de complexité en condition de distraction.
Conclusion : Nos résultats suggèrent qu'un engagement attentionnel excessif à la douleur pourrait expliquer la perte de complexité des patients lombalgiques. Des prises en charge plus ciblées sont nécessaires pour aider les patients à retrouver une adaptabilité plus grande.

Mots-clés : lombalgie chronique, complexité, analyse fractale, contrôle moteur, marche, attention à la douleur, kinésiophobie, anxiété

ABSTRACT

Introduction : Clinical models of chronic low back pain (cLBP) highlight the major role of excessive attention to pain in the rising of disability. cLBP is reducing patients ability to adapt their movements to external perturbations. For example, gait variability in cLBP is characterized by a decrease of complexity.
Objective : To assess the role of maladaptative attentional behaviours in the decrease of gait complexity in cLBP patients, using a visual display as a distraction during walking.
Methods : 14 cLBP patients with no prior surgery nor significant leg pain, and 7 healthy matched controls were included. Subjects walked on a treadmill at preferred walking speed, with and without distraction. Stride time fractal complexity was assessed using Detrended Fluctuation Analysis. A two-way ANOVA with repeated measures on distraction was performed on fractal exponents.
Results : ANOVA showed a significant group x distraction effect on the fractal complexity of stride time series ($F(1, 19) = 9{,}972$, $p = 0{,}004$). Post-hoc analysis confirmed the isolated effect of distraction on cLBP patients, with an increase of complexity when patients were distracted.
Conclusion : Our results suggest that excessive attention to pain could explain cLBP loss of complexity. More targeted treatments are required to help patients recover motor adaptability.

Key words : chronic low back pain, complexity, fractal analysis, motor control, gait, pain attention, kinesiophobia, anxiety