

**Comparaison de différentes modalités d'interval training sur la VO₂
pic pour le réentraînement à l'effort du patient insuffisant cardiaque**

BENJAMIN HERNACH

LAURENT SCHNEIDER

Étudiants HES – Filière Physiothérapie

Directrice de travail de Bachelor : VIRGINIE CUVELIER

**TRAVAIL DE BACHELOR DEPOSE ET SOUTENU A GENEVE EN 2013 EN VUE DE L'OBTENTION D'UN
BACHELOR OF SCIENCE EN PHYSIOTHERAPIE**

RÉSUMÉ

Introduction : Dans la prise en charge de l'insuffisance cardiaque (IC), il est reconnu qu'une amélioration de la VO_2 pic est synonyme d'amélioration de la qualité de vie. Selon de récentes études, cette amélioration est plus marquée lors d'un interval training (IT) que d'un entraînement continu (EC).

L'objectif de ce travail est premièrement de confirmer cet avantage, puis de chercher à optimiser l'utilisation de l'IT.

Problématique : A) Confirmer les avantages du réentraînement par IT sur l'EC chez le patient IC. B) Analyser et comparer différents IT afin d'en optimiser les paramètres.

Méthode : Nous avons consulté les bases de données Medline, Cochrane, CINAHL, PEDro, BDSF et Kinedoc. La stratégie de recherche utilisée comprenait des combinaisons de mots clés et de termes bruts couvrant notre sujet : insuffisance cardiaque, réhabilitation cardiaque et interval training. Les RCTs retenues devaient être rédigées en français ou en anglais, elles devaient comparer les effets d'un réentraînement par IT avec un autre par EC et avoir la VO_2 pic comme outcome.

Résultats : 6 RCTs comportant au total 129 patients insuffisants cardiaques ont été retenues. 62 d'entre eux pratiquaient de l'IT, alors que les 67 restants effectuaient un EC.

L'IT induisait une meilleure progression de VO_2 pic comparée à l'EC (IT vs EC, différence moyenne pondérée de $1.90 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ [95% CI ; de 0.09 à 3.71]). Les meilleures progressions étaient enregistrées sur tapis, en alternant des périodes de travail supérieures à la minute à une intensité entre 70% et 100% de la VO_2 pic, avec un repos actif de même durée à une intensité entre 40% et 60% de la VO_2 pic.

Conclusion : Après l'analyse de ces 6 RCTs, il apparaît que l'IT sur tapis, alternant des périodes de travail supérieur à la minute au-dessus de SV_2 , avec un repos actif de même durée, devrait être privilégié pour améliorer la progression de VO_2 pic et la qualité de vie des patients IC.

Des études comparant spécifiquement l'effet de différents IT sont nécessaires pour confirmer ces tendances.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier les personnes suivantes pour leur contribution à la réalisation de ce travail :

Mme **Allet Lara**, enseignante en filière physiothérapie à la Heds GE, pour ses conseils concernant la méthodologie et les statistiques.

Mme **Bürge Elisabeth**, enseignante et directrice de la filière physiothérapie de la Heds GE, pour nous avoir orientés dans les choix stratégiques lors de la mise en route de ce travail.

Mme **Calvo Cristina**, bibliothécaire sur le site des Caroubiers, pour nous avoir aidés à nous procurer les articles.

Mme **Cuvelier Virginie**, enseignante en filière physiothérapie à la Heds GE et directrice de notre travail de bachelor, pour son aide et ses conseils tout au long de ce travail.

Mmes **Gisiger Aline**, **Hernach Yolaine**, **Hernach Manon** et M. **Schneider Michel**, pour la relecture et les corrections apportées.

Prof. **Kayser Bengt**, directeur de l'institut des sciences du mouvement et de la médecine du sport (ISMMS) de l'université de Genève, pour sa disponibilité et son avis éclairé.

M. **Leuridan Yvan**, enseignant en filière physiothérapie à la Heds GE et directeur par intérim du projet de travail de bachelor, pour nous avoir suivis et aidés lors de la mise en route et la réalisation du projet de travail de bachelor.

Dr **Meyer Philippe**, responsable du programme de réadaptation et prévention cardiovasculaire des HUG et auteur de plusieurs études sur le réentraînement à l'effort du patient IC par IT, pour sa disponibilité, son avis précieux sur le sujet et pour nous avoir transmis sa thèse avant publication.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	1
2. CADRE THEORIQUE	2
2.1 L'insuffisance cardiaque	2
2.1.1 Définition.....	2
2.1.2 Les symptômes	4
2.1.3 Les signes	4
2.1.4 La réadaptation de l'IC.....	4
2.1.5 Les effets du réentraînement du patient IC.....	5
2.2 Pic de consommation d'oxygène (VO₂ pic)	6
2.2.1 Choix de l'outcome	6
2.2.2 Définition.....	7
2.2.3 Mesure et utilité de VO ₂ pic chez le patient IC.....	8
2.2.4 Facteurs influençant et limitant VO ₂ pic	10
2.3 Notion de seuils	11
2.3.1 Seuil lactique 1 (SL1), seuil ventilatoire 1 (SV1), seuil aérobie ou seuil d'adaptation ventilatoire (SAV)	11
2.3.2 Seuil lactique 2 (SL2), seuil ventilatoire 2 (SV2), seuil anaérobie (AT), seuil d'inadaptation ventilatoire ou seuil d'accumulation des lactates (OBLA)	12
2.4 Interval training	13
2.4.1 Définition.....	13
2.4.2 Effets de l'IT.....	15
3. PROBLEMATIQUE	15
4. METHODOLOGIE	17
4.1 Critères d'inclusion	17
4.2 Stratégie de recherche, mots clés et équation booléenne	18
4.3 Application de la stratégie de recherche	19
4.4 Evaluation de la qualité et des articles	20
4.5 Niveau de preuve	21
4.6 Modalité d'extraction	21
5. RESULTATS	21
5.1 Résultats de l'évaluation de la qualité	21
5.2 Présentation des études retenues	22
5.3 Comparaison des études	34
5.3.1 Comparaison des populations.....	34
5.3.2 Comparaison des interventions	35
5.3.3 Comparaison des résultats	37
6. DISCUSSION	40
6.1 Interprétation de l'évaluation de la qualité	40
6.2 Interprétation des résultats	40
6.2.1 Confirmer les avantages de l'IT par rapport à l'EC	41
6.2.2 Comparer les différents interval training	42
6.3 Biais et limites des études	44
6.3.1 Intra-études.....	44
6.3.2 Inter-études.....	45
6.4 Limites de notre revue	47
6.5 Pistes futures	48
6.6 Recommandations pour la pratique	48
7. CONCLUSION	50

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	VI
9. LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	XI
10. ANNEXES	XII
Annexe 1 : Classification NYHA.....	XII
Annexe 2 : Contre-indications au test et au réentraînement à l'effort des patients insuffisants cardiaques stables	XIII
Annexe 3 : Exemple d'un test de VO₂ pic	XIV
Annexe 4 : Tableau des combinaisons	XV
Annexe 5 : Articles retenus	XVI
Annexe 6 : Méta-analyses et revue systématique sur le sujet.....	XVII
Annexe 7 : Echelle PEDro en français.....	XVIII
Annexe 8 : NHMRC Evidence Hierarchy: designations of 'levels of evidence' according to type of research question	XIX
Annexe 9 : Grille d'extraction des données.....	XX
Annexe 10 : Résultats de l'évaluation de la qualité, échelle PEDro	XXII
Annexe 11 : Critères de Framingham.....	XXIII
Annexe 12 : Progression de VO₂ pic en fonction du temps total d'intervention.....	XXIII
Annexe 13 : Progression de la VO₂ pic en fonction du temps total passé à une intensité au-dessus de SV2.....	XXIV
LEXIQUE.....	XXV

1. INTRODUCTION

Les maladies cardiovasculaires sont responsables de 48% des décès par maladies non transmissibles, ce qui représente 17 millions de morts par année, soit environ un tiers des décès mondiaux (Organisation mondiale de la Santé, 2011). Dans ce contexte, l'insuffisance cardiaque est un syndrome de maladie cardiovasculaire ayant un mauvais pronostic sur l'espérance et la qualité de vie. La prévalence de l'insuffisance cardiaque est de 2,2% au USA et est estimée entre 0,3 et 2,4 % en Europe (Mosterd & Hoes, 2007) (Cowie et al., 1997). Selon les pays, le patient insuffisant cardiaque a un pourcentage de survie après 5 ans de 35% à 65% (Mosterd & Hoes, 2007). L'incidence de l'insuffisance cardiaque en Europe est de 1-5/1000 personnes par année pour la population générale, cette incidence augmente jusqu'à plus de 40/1000 chez les personnes de plus de 75 ans (Cowie et al., 1997). Avec le vieillissement actuel de la population, nous pouvons, dès lors, attendre une augmentation du nombre de personnes touchées par une insuffisance cardiaque dans les prochaines années. (Ehrman, 2009).

Grâce à de nombreux progrès thérapeutiques, la survie de ces patients est en augmentation, mais les limitations fonctionnelles liées à l'intolérance à l'effort, à la dyspnée et à la fatigue ont un grand impact sur leur qualité de vie. C'est dans ce cadre que la rééducation à l'effort prend tout son sens ; bien qu'elle ait été, pendant longtemps, contre-indiquée pour l'insuffisance cardiaque, elle est désormais recommandée. Cette rééducation permet notamment d'augmenter la tolérance à l'effort maximal, la VO_2 pic, le test de marche de six minutes, ainsi que la qualité de vie (Willenheimer, Erhardt, Cline, Rydberg, & Israelsson, 1998). Bien que, la plupart du temps, cette rééducation soit faite sous forme d'exercices d'endurance continue, il semblerait que le réentraînement par intervalles, combiné à des exercices de force soit tout autant, si ce n'est plus efficace (N. A. Smart, Dieberg, & Giallauria, 2011). Malheureusement, les modalités optimales de ce type d'entraînement sont encore mal définies, avec pour conséquence une multitude de protocoles d'interval training¹ existant en parallèle. Afin de clarifier ces zones d'ombres, nous voulons par ce travail :

1. Confirmer les avantages du réentraînement par interval training (IT) sur l'entraînement continu (EC).

¹ A défaut de règle établie et pour une question de commodité, le terme « interval training » sera toujours écrit au singulier.

2. Analyser et comparer différents interval training afin d'optimiser les paramètres de ce type de réentraînement pour les patients insuffisants cardiaques.

2. CADRE THEORIQUE

Nous allons dans ce chapitre définir et aborder différentes notions relatives à l'insuffisance cardiaque, au réentraînement à l'effort et à la théorie de l'entraînement, de manière à mieux comprendre les enjeux de la prise en charge de ce type de patients et les résultats discutés par la suite.

2.1 L'insuffisance cardiaque

Il existe beaucoup de littérature et d'études concernant l'insuffisance cardiaque. Nous allons dans ce chapitre faire le point sur les connaissances et les recommandations actuelles sur ce sujet.

2.1.1 Définition

Il n'existe pas actuellement de définition unique de l'insuffisance cardiaque (IC) ; ceci manifestement en raison de la complexité de ce syndrome et de ses nombreuses causes. Selon le dictionnaire médical, l'insuffisance cardiaque est une incapacité du cœur à répondre aux besoins hémodynamiques de l'organisme (Willenheimer et al., 1998).

On distingue l'insuffisance cardiaque droite (ICD) de l'insuffisance cardiaque gauche (ICG). L'ICG est due principalement à l'hypertension artérielle et à différentes maladies des coronaires (*coronary artery disease*²) et de l'orifice aortique (Mosterd & Hoes, 2007). Elle peut aussi résulter d'une insuffisance mitrale ou de myocardiopathies. L'ICD, quant à elle, peut découler de broncho-pneumopathies chroniques, d'embolies pulmonaires ou d'une ICG. Dans ce cas, on parlera d'insuffisance globale (Quevauvilliers et al., 2007).

Concernant l'ICG, une différence est également faite entre l'insuffisance systolique et l'insuffisance diastolique³. Toutefois, selon la European Society of Cardiology (ESC), la distinction entre ces deux IC est quelque peu arbitraire et ces deux dysfonctions

² La littérature étant majoritairement en anglais, nous avons conservé par la suite les termes dans la langue originale afin de rester au plus proche des propos des auteurs et d'éviter toute confusion issue de notre traduction libre.

³ L'insuffisance diastolique est aussi appelée IC à fraction d'éjection préservée, IC à fraction d'éjection normale ou encore IC à fonction systolique préservée (Dickstein et al., 2008). L'IC diastolique est due principalement à une diminution de la compliance du ventricule gauche qui n'arrive que partiellement à s'étendre durant la diastole.

cardiaques ne devraient pas être considérées comme des entités séparées (Quevauvilliers, Fingerhut, & Somogyi, 2007).

Dans la littérature consacrée au réentraînement à l'effort, lorsque rien n'est spécifié, le terme « insuffisance cardiaque » est souvent employé pour une dysfonction systolique du ventricule gauche, dont le signe principal est une fraction d'éjection⁴ (FE) du ventricule gauche inférieur à 40% (Mosterd & Hoes, 2007, p.1137). Cette utilisation du terme IC s'explique par la prévalence majoritaire des ICG dans les groupes de réentraînement. L'ICD est, quant à elle, associée à un pronostic négatif qui nécessitera souvent une intervention plus lourde, plus médicalisée et pour laquelle le réentraînement à l'effort peut être contre-indiqué.

Selon les guidelines 2008 de l'ESC, pour établir un diagnostic d'insuffisance cardiaque, il faut que le patient ait une dysfonction cardiaque objectivable (signes cliniques) et des symptômes caractéristiques (Dickstein et al., 2008). L'association de ces deux composants (signes et symptômes) nous fera adopter le terme de syndrome d'insuffisance cardiaque ; c'est également la définition que nous garderons pour ce travail de Bachelor.

Certains adjectifs temporels tels que « aigu » ou « chronique » sont souvent utilisés dans le cas des IC, mais leur sens diffère parfois. Le terme « aigu » (*acute*) prête souvent à confusion. De nombreux cliniciens l'utilisent de manières différentes (pour parler de la sévérité, de la première apparition des symptômes, ou alors d'une décompensation cardiaque). L'ESC préconise donc d'utiliser les termes suivants pour éviter les confusions : « inaugurale » (*new onset*), « de transition » (*transient*) et « chronique » (*chronique*) (Dickstein et al., 2008). L'IC inaugurale se réfère à la première apparition du syndrome de l'insuffisance. L'IC de transition évoque une insuffisance symptomatique durant une période limitée, suivie d'un rétablissement presque complet. Ce type d'IC peut nécessiter malgré tout un traitement et un suivi sur le long terme. Finalement, l'IC chronique concerne les insuffisances qui persistent. Ce type d'IC représente le 80% des cas d'admissions d'insuffisance cardiaque en hôpital (Dickstein et al., 2008, p. 2391).

⁴ La fraction d'éjection (FE) est une mesure de la capacité du cœur à se contracter efficacement, la norme étant à 50-60% (FE= volume d'éjection systolique / volume diastolique) (Dickstein et al., 2008).

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéresserons principalement à cette dernière classe d'IC qui est majoritaire et pour laquelle le réentraînement à l'effort a le plus gros impact sur la qualité de vie, la diminution des risques de ré-hospitalisation et la mortalité (Fischbach & Beaune, 2010).

2.1.2 Les symptômes

Les symptômes-types de l'IC sont, selon la ESC, une grande fatigue et une dyspnée au repos ou/et à l'effort (Dickstein et al., 2008). La Heart Failure Society of America (HFSA) complète cette liste par : une réduction de la capacité d'effort, l'orthopnée, dyspnée paroxystique nocturne et des oedèmes (Heart Failure Society of America, 2010). L'outil de mesure le plus fréquemment utilisé pour déterminer la sévérité des symptômes est l'échelle NYHA (New York Heart Association) (cf. annexe 1, p. XII) qui est une échelle d'évaluation allant de I à IV et qui se base sur les symptômes et la capacité fonctionnelle.

Il est important de mentionner que la sévérité de ces symptômes peut varier considérablement au cours de la maladie et n'est pas forcément corrélée avec les changements de la fonction cardiaque (Heart Failure Society of America, 2010, p. 480). L'IC a un impact direct sur les activités de la vie quotidienne (AVQ) et la qualité de vie des patients. La prise en charge va être orientée principalement sur la diminution de ces symptômes, dans le but d'améliorer l'autonomie et le confort des patients.

2.1.3 Les signes

Les signes suivants peuvent être observés lors d'une IC: tachycardie, tachypnée, râles pulmonaires, œdèmes périphériques, hépatomégalie, cardiomégalie, anomalie à l'échocardiogramme, augmentation de la pression des veines jugulaires. Tous ces signes peuvent être objectivés lors d'examens.

2.1.4 La réadaptation de l'IC

La prise en charge des patients IC a passablement évolué au cours des dernières années ; les recommandations internationales actuelles préconisent une prise en charge globale du patient avec un suivi diététique, un réentraînement physique, de l'éducation thérapeutique et éventuellement un soutien psychologique et socioprofessionnel, ceci en plus de la prise en charge médicamenteuse classique (Fischbach & Beaune, 2010). Cette

médication se compose notamment d'inhibiteurs de l'enzyme de conversion (IEC) et de bêtabloquant.

Le réentraînement à l'effort proprement-dit est proposé à tous les malades présentant une insuffisance cardiaque symptomatique stable (stades II et III de la NYHA) après avoir écarté certaines contre-indications (Piepoli et al., 2011, p. 350) (cf. annexe 2, p. XIII). Cette réadaptation physique comprend des exercices d'endurance cardiorespiratoire et de renforcement à une fréquence de 3 à 7 jours par semaine sur une durée quotidienne de 20 à 60 minutes, pouvant être répartie en plusieurs courtes sessions chaque jour, en fonction de la tolérance du patient. Un complément sous forme d'entraînement respiratoire pour les sujets ayant une faiblesse des muscles inspiratoires a également démontré ses bénéfices (Piepoli et al., 2011, p. 351) .

Les protocoles de rééducation en endurance peuvent varier considérablement d'une institution à l'autre. Actuellement, selon le dernier consensus de l'ESC⁵ (Piepoli et al., 2011), la méthode la plus recommandée s'effectue sous forme d'entraînements continus d'une durée de 45 à 60 minutes, avec une charge de travail constante entre 40% et 70% de la VO₂ pic sur cyclo-ergomètre ou tapis roulant. La charge de travail est sélectionnée en fonction d'un test d'effort effectué préalablement par le patient. L'intensité minimale pour générer des effets bénéfiques sur l'endurance est la consommation d'oxygène (VO₂) correspondant au seuil ventilatoire 1 (cf. 2.3) (Kotzki, 2003, p. 46).

Un autre type de prise en charge existant est l'interval training. Ce type d'entraînement a été incorporé récemment aux recommandations pratiques de l'ESC (Piepoli et al., 2011). Celui-ci sera abordé dans le chapitre 2.4

2.1.5 Les effets du réentraînement du patient IC

Le réentraînement à l'effort du patient cardiaque a des effets sur les points suivants (« Recommendations for Exercise Training in Chronic Heart Failure Patients », 2001) :

- a) **la capacité d'effort** : mesurée par la durée et l'intensité des exercices ou, de plus en plus, par la VO₂ pic. Une progression de 15 à 25% peut être obtenue.
- b) **la fonction myocardique** : la fréquence cardiaque (FC) de pointe (à l'effort) augmente de 4% à 8% et la FC de repos diminue. L'augmentation

⁵ Ce consensus de l'ESC fait suite à ses dernières guidelines de 2008 (Dickstein et al., 2008).

du volume d'éjection systolique du ventricule gauche suite au réentraînement est controversée selon les auteurs (Tabet et al., 2009).

- c) **la perfusion sanguine périphérique** : diminution des résistances vasculaires périphériques et augmentation du flux sanguin dans les muscles de 25% à 30% (Ehrman, 2009).
- d) **la fonction des muscles squelettiques** : amélioration de la force et de l'endurance (Fischbach & Beaune, 2010) par l'augmentation de la densité en mitochondries, de la section transversale du muscle (augmentation du nombre de myofibrilles) et une augmentation des fibres de type I par rapport aux fibres de type II (Tabet et al., 2009).
- e) **la fonction ventilatoire** : diminution de la ventilation nécessaire pour un travail sous-maximal, diminution de la sensation de dyspnée.
- f) **la qualité de vie** : tous les points ci-dessus vont réduire la fatigue durant les AVQ, augmenter l'autonomie des patients et contribuer à améliorer leur qualité de vie.

2.2 Pic de consommation d'oxygène (VO_2 pic)

Dans la littérature relative à l'insuffisance cardiaque, différentes valeurs sont analysées chez les patients, avec chacune leurs spécificités et leurs limites. Parmi elles, on retrouve notamment la VO_2 pic qui sera détaillée par la suite, le seuil ventilatoire 2 (SV2) (cf. 2.3.2), le test de marche de 6 minutes et différents scores mesurant la qualité de vie.

En plus de la VO_2 pic comme outcome principal, dont nous justifions le choix ci-après, nous aurions également voulu intégrer l'évaluation de la qualité de vie des patients suite à leur réentraînement à l'effort. Cependant, il s'avère que seul 3 articles sur les 6 retenus intègrent cette mesure et ceci avec des échelles différentes. Nous nous contenterons donc de faire ressortir les résultats synthétiques de la qualité de vie dans le descriptif des articles les ayant évalués (cf. 5.2).

2.2.1 Choix de l'outcome

L'outcome principal que nous avons retenu pour l'analyse de nos articles est le pic de consommation d'oxygène. Cet outil de mesure a été choisi principalement pour les raisons suivantes :

- a) le pic de VO_2 a une valeur pronostique sur la mortalité et la ré-hospitalisation pour cause cardiaque du patient IC (Kavanagh et al., 2002, p. 668; Sarullo et al., 2010, p. 131). L'étude de Sarullo et al. mentionne un taux de mortalité pour cause cardiaque au cours de l'année suivante chez 66% des sujets ayant une VO_2 pic inférieure à $12.2 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ et une ré-hospitalisation pour 63% des sujets ayant un pic inférieur à $12.3 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.
- b) l'amélioration du pic de VO_2 par un entraînement physique accroît la qualité de vie et la tolérance à l'effort du patient IC (Ko & McKelvie, 2005, p. 39; Wisloff et al., 2007, p. 3092). Cependant, aucun « seuil clinique » de VO_2 , au-delà duquel le patient ressentirait un changement marqué ou une nette amélioration de sa qualité de vie, n'a été évoqué dans la littérature (Fischbach & Beaune, 2010, p. 80).
- c) le pic de consommation d'oxygène est considéré comme l'un des meilleurs évaluateurs de l'endurance aérobie (Acevedo & Starks, 2011, p. 45 ; Wilmore, Costill, Beauthier, & Grélot, 2002, p. 140).
- d) il sert de référence pour la prescription des intensités d'entraînement dans l'interval training (Ehrman, 2009, p. 319; V. Billat, 2003).

2.2.2 Définition

La VO_2 représente la quantité d'oxygène qu'un individu utilise par unité de temps ; elle s'exprime normalement en litre par minute. Cependant, afin de faciliter la comparaison entre personnes de poids et de sexes différents, elle est plus communément utilisée dans sa valeur relative en millilitre d'oxygène consommé par minute et par kilogramme de poids corporel ($\text{mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$). La VO_2 reflète la capacité du corps à prélever l' O_2 par le système ventilatoire, à le transporter par le système cardiovasculaire et à l'extraire par les muscles (Fischbach & Beaune, 2010, p. 75).

La demande des muscles en O_2 est moindre au repos. Elle augmente de manière linéaire à l'exercice sous-maximal pour atteindre un pic ou plateau à l'exercice maximal (cf. annexe 3, p. XIV).

Le maintien de ce pic est limité dans le temps et ne dépasse pas les 10 à 12 minutes selon l'aptitude du sujet. Cette limitation trouve son origine dans l'augmentation de la production d'acide lactique qui, à ce niveau d'exercice, est continue. Cette

augmentation va rapidement provoquer une fatigue musculaire rendant la poursuite de l'exercice impossible à ce niveau d'intensité (Leca & Billard, 2004).

Dans la littérature, il existe deux termes pour qualifier ce « point » maximum : VO_2 max et VO_2 pic (Frownfelter & Dean, 2006, p. 264). Même si ceux-ci sont souvent utilisés comme synonymes, les écrits les plus récents font une différenciation entre ces deux termes. VO_2 max est considérée comme une notion plutôt théorique, car elle refléterait idéalement la consommation maximale de tous les muscles du corps. Elle se caractérise graphiquement par l'atteinte d'un plateau sur la courbe de VO_2 lors d'un test d'effort. Le terme de VO_2 pic serait, quant à lui, plus pratique et plus juste, puisqu'il décrit la VO_2 atteinte par un sujet lors d'un test d'effort maximal dans des conditions définies; c'est pourquoi il est particulièrement utilisé en clinique. Les critères d'atteinte de la VO_2 pic chez le patient IC seront développés au point 2.2.3.

Dans « Lore of Running », Noakes (2003) préfère, quant à lui, parler de charge de travail maximale plutôt que de consommation maximale d'oxygène. Il décrit cette charge de travail comme étant le résultat d'une interaction complexe entre des facteurs cardiaques et musculaires. Ces derniers se combinent pour établir la mesure maximale d'oxygène utilisée par les muscles au pic de la charge de travail (traduction libre, p. 41).

La valeur de VO_2 étant dépendante de la quantité de masse musculaire mise en jeu, chaque test est sélectif. Une mesure de VO_2 pic faite sur cyclo-ergomètre est 10% à 15% inférieure à celle mesurée sur tapis roulant (Ehrman, 2009, p. 319). Ainsi, plus il y a de groupes musculaires en activité simultanément, plus proche sera la VO_2 pic de VO_2 max. Par commodité et pour être en accord avec l'appellation clinique usuelle, nous utiliserons dans ce travail le terme de VO_2 pic.

2.2.3 Mesure et utilité de VO_2 pic chez le patient IC

S'il y a vingt ans encore, l'activité physique modérée ou soutenue était proscrite pour les patients IC, elle est aujourd'hui fortement encouragée (Dickstein et al., 2008, p. 2403). Des tests d'efforts maximaux sont régulièrement effectués sur cyclo-ergomètres ou sur tapis roulants avec des insuffisants cardiaques stables pour évaluer leurs fonctions cardiorespiratoires (Ehrman, 2009, p. 320). Ces tests dits « en rampe » durent entre 10 et 15 minutes et sont réalisés par des médecins. Ils suivent un protocole précis et permettent une évaluation fonctionnelle du patient. Cette mesure fait donc

intervenir des facteurs centraux et périphériques qui sont mis en évidence dans l'équation de Fick (V. Billat, 2003, p. 70): $VO_2 = Qc \times [CaO_2 - CvO_2]$

La consommation d'oxygène (VO_2 en $mL \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) est égale au produit du débit cardiaque (Qc en $L \text{ min}^{-1}$) et de la différence entre les contenus artériels (CaO_2 en $mLO_2 \text{ L}^{-1}$ de sang) et veineux (CvO_2) en oxygène. Il est à noter que le débit cardiaque est lui-même égal au produit de la fréquence cardiaque (FC en bpm) et du volume d'éjection systolique (VES en L).

Il existe une multitude de tests permettant de mesurer ou d'extrapoler la valeur du pic de VO_2 . La mesure directe grâce à l'analyse des échanges gazeux est considérée comme le « gold standard », car elle est plus précise et permet la détermination des seuils ventilatoires et du quotient respiratoire (QR) notamment (Fischbach & Beaune, 2010, p. 74). Chez le sujet IC, les équations de prédictions auraient tendance à surestimer le pic de VO_2 (Ehrman, 2009, p. 319).

Avec la technique d'analyse des échanges gazeux, un embout buccal permet l'enregistrement de trois paramètres : la ventilation (VE), la consommation d'oxygène (VO_2) et la production de gaz carbonique (VCO_2). La fréquence cardiaque (FC) est également mesurée en parallèle (cf. annexe 3, XIV).

Comme nous l'avons vu précédemment, la mesure de VO_2 pic a une valeur prédictive sur la mortalité, mais elle peut également être une aide à la décision lorsqu'une transplantation est envisagée. Finalement, elle est, avant tout et surtout, utilisée pour objectiver la réponse à un traitement médicamenteux ou un programme de réentraînement à l'effort et pour guider la prescription des intensités de ce dernier (Fischbach & Beaune, 2010, p. 74).

Pour une sensibilité optimale de la mesure, les critères d'atteintes de VO_2 pic doivent être remplis. Chez le patient IC, ceux-ci sont essentiellement cliniques et se caractérisent par un effort épuisant qui se traduit par un quotient respiratoire supérieur à 1.1. Pour rappel, ce dernier est équivalent à VCO_2/VO_2 . L'effort est le plus souvent interrompu par la fatigue musculaire ou une dyspnée cotée très sévère sur l'échelle de Borg (Fischbach & Beaune, 2010, p. 75; Frownfelter & Dean, 2006, p. 288). L'étude de Ellestad et Myrvin (2003, p. 322) précise qu'il est difficile d'atteindre un plateau de VO_2 avec ces patients et que la mesure du pic de consommation sert surtout à objectiver

une capacité d'exercice. Cette analyse mentionne également que chez certains sujets, il existerait une variabilité de la mesure de VO_2 pic en test-retest de 20% à 30%.

2.2.4 Facteurs influençant et limitant VO_2 pic

Comme nous l'avons vu précédemment, la VO_2 est un paramètre global qui reflète la captation de l'oxygène, son transport et son utilisation au niveau des muscles. D'un point de vue physiologique, tout au long de son parcours, de l'atmosphère jusqu'au muscle, l'oxygène rencontre un certain nombre de facteurs qui peuvent potentiellement limiter la valeur de son pic de consommation. Millet et Perrey (2004) proposent une division de ce parcours en quatre niveaux avec les facteurs limitant principaux (centraux et périphériques) (p. 244):

1. **la respiration** avec : la ventilation, la diffusion de l' O_2 , le rapport ventilation/perfusion et l'affinité hémoglobine- O_2 .
2. **la circulation centrale** avec : le débit cardiaque ($FC \times VES$), la pression artérielle et la concentration en hémoglobine.
3. **la circulation périphérique** avec : le débit sanguin musculaire, la densité capillaire musculaire, la diffusion de l' O_2 et son extraction.
4. **le métabolisme musculaire** avec : le potentiel enzymatique et oxydatif, les mitochondries, la masse musculaire et le type de fibres.

Ce sont ces mêmes facteurs qui peuvent potentiellement être améliorés par l'entraînement et ainsi augmenter la VO_2 pic.

En plus de ces facteurs physiologiques qui se trouvent sur le trajet de l' O_2 , un certain nombre d'autres paramètres agissent sur la valeur de cette VO_2 pic (Acevedo & Starks, 2011, pp. 47-48; Fischbach & Beaune, 2010, p. 77; Noakes, 2003, p. 41).

- le sexe : globalement, les femmes ont une valeur inférieure à celle des hommes.
- l'âge : la VO_2 pic décroît d'environ 1% par an dès 25 ans.
- la taille et le poids : la valeur du pic est proportionnelle à la taille et au poids.
- la composition corporelle : VO_2 pic est fortement corrélée à la masse maigre.
- la génétique : le pic de VO_2 pourrait être déterminé jusqu'à 50% par les gènes (Bouchard et al., 1998).

- l'altitude : le pic diminue avec l'augmentation de l'altitude.
- le niveau d'activité physique : plus il est élevé, plus la VO_2 pic sera élevée.
- les mécanismes centraux: la commande d'arrêt de l'exercice est décidée par le sujet (Kayser, 2003).
- les médicaments : les bêtabloquants diminuent la FC.

Les facteurs suivants quant à eux ne modifient pas la valeur de VO_2 pic (Acevedo & Starks, 2011, p. 48) :

- l'ingestion d'un petit repas (jusqu'à 750 kcal)
- l'exposition à la chaleur (jusqu'à 32°C)
- la réalisation d'un échauffement avant le test

Ces différents facteurs d'influence doivent être pris en considération dans l'analyse des articles collectés, ceci en particulier au niveau des critères d'atteinte et de détermination de la VO_2 pic lors de la réalisation du test d'effort.

2.3 Notion de seuils

La réalisation d'un test d'effort maximum avec mesure des échanges gazeux permet non seulement de définir la valeur de VO_2 pic, mais aussi de déterminer deux seuils caractéristiques de l'adaptation du corps à l'exercice croissant. Ces derniers dépendent directement de la production d'acide lactique. Ils se mesurent soit de manière directe et invasive par une lactatémie (seuil lactique 1 et 2), soit de manière indirecte par la mesure des gaz respiratoires (seuil ventilatoire 1 et 2). La concordance exacte de ces seuils fait encore débat dans la littérature, mais pour rendre la compréhension plus aisée et comme certains auteurs l'ont déjà fait, nous utiliserons ici ces appellations comme des synonymes (Carvalho & Mezzani, 2011, p. 6).

2.3.1 Seuil lactique 1 (SL1), seuil ventilatoire 1 (SV1), seuil aérobie ou seuil d'adaptation ventilatoire (SAV)

Il s'agit du premier décrochement de la courbe de la lactatémie par rapport à sa valeur de repos. Ce seuil a été fixé arbitrairement par certains chercheurs à 2 mmol L⁻¹ de sang

et correspond à 50% -60% de la VO_2 pic chez le patient IC (Carvalho & Mezzani, 2011, p. 6). Sur la courbe de la ventilation (VE) (cf. annexe 3, p. XIV), il constitue là aussi le premier décrochement. Cela s'explique de la manière suivante : au-dessous de ce seuil, l'énergie est fournie majoritairement par le système aérobie qui ne produit pas ou peu d'acide lactique. Ce premier seuil est un bon indice de la capacité d'endurance (aérobie) d'un sujet (ou endurance de base).

Dès l'atteinte de ce seuil, le métabolisme aérobie ne suffit plus à fournir l'ATP nécessaire à la contraction musculaire. La glycolyse anaérobie s'active, produisant une augmentation du taux d'acide lactique et une diminution du pH. Grâce au pouvoir tampon des bicarbonates intracellulaires, cette acidose est contrebalancée, générant ainsi une augmentation de la production de CO_2 et, par voie de conséquence, de la ventilation pour l'expulser (Carvalho & Mezzani, 2011; Leca & Billard, 2004). Graphiquement, la VCO_2 augmente plus rapidement que la VO_2 (cf. annexe 3, p. XIV). La zone située entre le seuil 1 et 2 est aussi appelée zone de transition aérobie-anaérobie. Ici, l'équilibre entre la production et l'élimination d'acide lactique est encore maintenu.

Au niveau respiratoire, en-dessous de ce seuil, la ventilation (VE) augmente proportionnellement à l'intensité de l'exercice. Au-delà de ce seuil, la VE augmente davantage pour éliminer le CO_2 en excès (Wilmore et al., 2002, p. 173).

2.3.2 Seuil lactique 2 (SL2), seuil ventilatoire 2 (SV2), seuil anaérobie (AT), seuil d'inadaptation ventilatoire ou seuil d'accumulation des lactates (OBLA)

Comme pour le premier, le seuil lactique 2 se manifeste par un nouveau décrochement dans la courbe de la lactatémie situé aux alentours des 4 mmol/L de sang (cf. annexe 3, p. XIV) et correspond à une valeur entre 60% et 70% de VO_2 pic chez l'insuffisant cardiaque (Metra et al., 1998, p. 6). Au niveau de la courbe des gaz respiratoires, le seuil ventilatoire 2 se distingue par une augmentation brutale de VE, sans changement notable de la VCO_2 . En effet, lors du dépassement de ce deuxième seuil, l'équilibre entre production et élimination d'acide lactique est rompu. Le pouvoir tampon du bicarbonate ne suffisant plus, le pH diminue et conduit à une stimulation de la VE. Dès ce moment, la respiration n'est plus maîtrisée et devient anarchique. L'acide lactique commence alors à s'accumuler, engendrant une fatigue musculaire précoce. L'exercice ne pourra continuer au delà de quelques minutes à cette même intensité (Carvalho & Mezzani, 2011; Leca & Billard, 2004).

Le seuil anaérobie correspond selon Metra et al. (1998) à la charge de travail que le patient peut maintenir sur une période prolongée sans acidose et sans sensations de fatigue ; ledit seuil serait par ailleurs réduit chez les insuffisants cardiaques.

L'étude de Carvalho et al. (2011) mentionne l'intérêt particulier de réentraîner les patients IC à des intensités proches du seuil ventilatoire 2, car ceux-ci réalisent les activités de la vie quotidienne à un pourcentage de VO_2 pic supérieur aux individus normaux.

Un entraînement au seuil aérobie ne permet que d'entretenir la condition physique des sujets, alors qu'un entraînement au seuil anaérobie permet l'augmentation de la capacité physique (Kindermann, Simon, & Keul, 1979).

La diversité des méthodes permettant de déterminer ce seuil, la variabilité des paramètres mesurés (oscillations de variables respiratoires et production précoce d'acide lactique chez les IC) et l'impossibilité de le détecter chez jusqu'à 25% des sujets IC confère à ce seuil une faible sensibilité aux changements par rapport au pic de VO_2 . La détection de ce SV2 est cependant un indice que le test d'effort a été maximal et que l'arrêt de l'exercice est dû à la fatigue et non à un facteur motivationnel (Metra et al., 1998).

2.4 Interval training

2.4.1 Définition

Issus, à l'origine, du sport de compétition, et popularisés dans les années 1950 par le triple champion olympique Emile Zatopek, les effets de l'IT dans la réhabilitation cardiaque n'ont été étudiés que récemment. L'IT se définit par une répétition de périodes d'exercice plus ou moins longues, de plutôt haute intensité (égale ou supérieure au seuil lactique 2) alternées par des périodes de récupération active à petite intensité ou passive (V. Billat, 2001, traduction libre, p. 13). Intermittent exercise, interval exercise training, entraînements fractionnés ou en créneaux sont d'autres termes qui se retrouvent régulièrement dans la littérature pour désigner le même concept (Fischbach & Beaune, 2010, p. 226).

Les paramètres principaux constituant l'IT (V. Billat, 2001, p. 14) :

- l'intensité : elle est toujours exprimée en pourcentage d'une valeur maximum/pic obtenue lors d'un test d'effort (ou extrapolée). Cette valeur est, le plus souvent, constituée par la VO_2 pic, la charge de travail à VO_2 pic (sur cyclo-ergomètre), appelée également pic de puissance, ou la vitesse à VO_2 pic, appelée vitesse maximale aérobie. D'autres paramètres comme la fréquence cardiaque (FC), la fréquence cardiaque de réserve (FCR)⁶ ou la perception de la fatigue selon l'échelle de Borg sont parfois aussi utilisés pour calibrer l'intensité d'exercice.
- le ratio temps de travail- temps de récupération
- la durée des fractions d'effort et de récupération
- le type de récupération (active ou passive)
- le nombre de répétitions et de séries
- la fréquence

De par la multitude de ces paramètres, on comprendra la diversité des pratiques existantes. De manière générale, les périodes de travail durent entre 30 et 300 secondes à des intensités entre 75% et 100% de la VO_2 pic (Tabet et al., 2009), sachant que l'intensité semble être le facteur-clé pour déterminer les bénéfices au niveau cardiaque. Les récupérations actives seraient, quant à elles, préférables au repos pour faciliter l'élimination du lactate et ainsi probablement prolonger le temps d'exercice (Hwang, Wu, & Chou, 2011, pp. 378-379).

Selon le dernier consensus de l'ESC (2011), les recommandations concernant l'IT chez le patient IC sont exprimées sous forme de progression: la durée des périodes d'exercice devrait être augmentée progressivement de 10 à 30 secondes avec une diminution progressive du temps de repos de 80 à 60 secondes. L'intensité devrait augmenter de 60% à 100% du peak work rate (PWR), la durée des sessions de 15 à 30 minutes pour une fréquence de 3 à 5 fois par semaine.

Il faut souligner que dans le cadre du réentraînement à l'effort des patients IC, on différencie deux types d'IT. Celui que nous venons d'aborder, dit de haute intensité

⁶ FCR=FC max-FC de repos

(*high-intensity interval training*) et le second de basse intensité (*low-intensity interval training*). Le *low-intensity interval training* travaille à des intensités inférieures à 50% de la VO₂ pic sur une dizaine de secondes suivi par des pauses passives de plus d'une minute (Piepoli et al., 2011). Ce second IT est destiné aux patients particulièrement déconditionnés en début de traitement.

Ne traitant pas du *low-intensity interval training* dans ce travail, la mention « IT » fait ainsi toujours référence à du *high-intensity interval training*.

2.4.2 Effets de l'IT

Plusieurs études suggèrent que l'entraînement par IT susciterait des bénéfices supérieurs à ceux d'un entraînement en continu, tout en étant aussi sûrs (Cornish, Broadbent, & Cheema, 2010, p. 580; Tabet et al., 2009, p. 724; Wisloff et al., 2007, p. 3087).

L'augmentation du pic de VO₂ serait plus marquée par l'IT que lors d'un entraînement continu (Tablet et al., 2009, p. 724). Selon ces mêmes auteurs, l'IT permettrait une amélioration de la fraction d'éjection du ventricule gauche qui est l'un des signes principaux de l'IC (cf. introduction). Dans leur méta-analyse, Smart et al. (2011) soulignent que la haute intensité et le stress intermittent de l'IT seraient plus à même d'engendrer des adaptations périphériques au niveau des muscles et, par conséquent, une amélioration de la capacité fonctionnelle. Les protocoles d'IT permettent de maximaliser le temps passé à de hauts pourcentages de VO₂ pic, ce qui assure une augmentation de la capacité aérobie (Guiraud et al., 2009, p. 734). Il a également été démontré que ce type d'entraînement, comportant des périodes de travail à 90% de VO₂ pic, permettait de restaurer la contractilité des cardiomyocytes et de diminuer l'hypertrophie du myocarde (Wisloff et al., 2007, p. 3087). Dès lors, nous basons notre travail sur le postulat que l'IT produit de meilleurs effets que l'entraînement continu sur la capacité fonctionnelle (VO₂ pic) et la qualité de vie du patient IC.

3. PROBLEMATIQUE

L'insuffisance cardiaque nécessite une prise en charge multidisciplinaire associant des mesures pharmacologiques, de l'activité physique, de l'éducation thérapeutique, de la diététique et éventuellement un accompagnement psychologique.

Dans le cadre de la réadaptation cardiaque en physiothérapie, le réentraînement à l'effort permet la mise en place d'un programme d'activités physiques adapté au patient. Il est constitué notamment d'entraînements de la force et de l'endurance.

S'agissant de l'endurance, elle peut se travailler soit par un entraînement continu à intensité modérée, soit par interval training qui alterne des périodes de haute intensité avec des périodes de repos ou de basse intensité.

Dans un premier temps, notre volonté était de déterminer si l'IT issu des méthodes d'entraînements sportifs était applicable à la réadaptation cardiaque. Nous avons rapidement constaté qu'il était déjà utilisé à certains endroits pour ce genre de prise en charge et nous avons donc réorienté notre problématique, afin d'apprécier les effets de l'IT sur le réentraînement à l'effort des patients cardiaques.

Au cours de nos recherches, nous avons trouvé plusieurs études, une revue systématique et deux méta-analyses qui aboutissent à la conclusion suivante : l'IT est au moins aussi efficace que l'entraînement continu (EC) pour améliorer l'endurance des patients insuffisants cardiaques. En dépit de ces conclusions en faveur de l'IT, il semble qu'il n'existe à ce jour aucune recommandation précise sur les modalités d'entraînement à appliquer (Ehrman, 2009, p. 323).

Dès lors, nous voudrions, par ce travail confirmer l'avantage de l'IT sur l'EC, puis mettre en évidence les modalités optimales d'entraînement par IT (intensité, temps de travail-repos, nombre de répétitions), afin d'améliorer l'endurance des patients insuffisants cardiaques.

Nos objectifs sont les suivants :

- A) Confirmer les avantages du réentraînement par interval training sur l'entraînement continu.**
- B) Analyser et comparer l'effet de différentes modalités d'interval training sur la VO_2 pic du patient insuffisant cardiaque, pour en optimiser les paramètres.**

4. METHODOLOGIE

Notre méthodologie a été mise en place au fil de nos réflexions et de nos recherches afin de trouver et sélectionner les articles les plus pertinents concernant notre problématique. Nos critères d'inclusion, les différentes bases de données consultées, ainsi que les mots clés et booléens utilisés, sont décrits dans ce chapitre.

4.1 Critères d'inclusion

L'un des buts de notre travail étant de pouvoir appliquer les résultats obtenus directement à la pratique, nous avons choisi une population-type de patient IC en réadaptation cardiaque. Nous avons donc choisi une population âgée de plus de 45 ans, avec une FE du ventricule gauche inférieure à 40%. Bien qu'il y ait une prévalence légèrement plus élevée d'IC chez l'homme que chez la femme, nous n'avons pas fait de limitation par rapport au sexe, de manière à prendre en compte une population plus générale (Mosterd & Hoes, 2007).

Les interventions de nos études devaient être ciblées sur l'IT. Étant donné que notre but était de comparer plusieurs modalités, tous les types d'IT ont été intégrés, dès lors qu'ils comportaient deux intensités différentes d'entraînement. De plus, nous avons choisi une durée d'intervention de minimum 6 semaines, à une fréquence moyenne de 3 à 7 sessions par semaine pour une durée quotidienne de 20 à 60 minutes, afin que les interventions correspondent au consensus de réhabilitation cardiaque actuel (Piepoli et al., 2011).

Dans le but de comparer l'IT à la pratique actuelle et de pouvoir apprécier une réelle plus-value, nous avons fait le choix d'intégrer à notre travail les études comportant un groupe contrôle effectuant un réentraînement cardiaque de type EC. De plus, nous avons fait en sorte que la répartition entre le groupe contrôle et le groupe intervention soit effectuée de manière randomisée-contrôlée.

Les tests de VO_2 pic devaient être effectués sur vélo ou sur tapis, afin de se rapprocher d'une activité fonctionnelle et des AVQ des patients.

La VO_2 pic pouvant varier considérablement en fonction du test effectué, du phénomène d'apprentissage et des habitudes du patient, les tests à l'effort de VO_2 pic et l'intervention (IT ou EC) ont été réalisés sur des appareils de même type (vélo ou tapis

roulant), de façon à diminuer les erreurs de cet ordre. On a donc comparé la VO₂ pic sur vélo d'un groupe intervention qui a fait de l'IT sur vélo à celle d'un groupe contrôle qui a effectué de l'EC sur vélo. Il en va de même pour les études réalisées sur tapis roulant.

4.2 Stratégie de recherche, mots clés et équation booléenne

Dans le cadre de ces recherches, nous avons consulté les bases de données suivantes: Medline (via son moteur de recherche Pubmed), Cochrane, CINAHL, PEDro, BDSP et Kinedoc, de manière à disposer d'un maximum de littérature sur notre sujet. Nous avons utilisé les mots-clés *Heart diseases, Heart failure, Coronary artery disease, Cardiopathy*, afin de cibler notre recherche sur les pathologies cardiaques et les syndromes d'IC. Pour orienter davantage notre prospection sur la rééducation et la physiothérapie, nous avons employé les mots-clés *Exercise, Exercise therapy, Rehabilitation*. Puis, en dernier lieu, nous avons utilisé les termes *Interval training, Intermittent exercise, Interval exercise*, sous forme de mots bruts (non clés) dans le but d'affiner notre recherche sur l'IT.

En fonction des bases de données et de leur moteur de recherches, nous avons combiné les termes mentionnés ci-dessus avec des booléens.

Le thème de l'IT étant d'actualité et faisant l'objet de nombreuses publications au cours des dernière années, dont des revues systématiques et des méta-analyses, nous avons pris la décision d'effectuer, en plus de la sélection par mots-clés, une recherche brute afin de récolter également les articles les plus récents, qui n'auraient pas encore été indexés par mots-clés sur la base de données, ou ceux éventuellement passés au travers de notre première recherche. Dans ce même but, nous avons programmé différentes alertes email sur PubMed, visant à être informés à chaque parution d'articles sur l'IT.

Les divers mots et booléens utilisés sur les différentes bases de données sont recensés dans l'annexe 4 (p. XV).

Tous les résultats obtenus par bases de données ont été regroupés dans des fichiers WORD. Nous les avons ensuite sélectionnés chacun de notre côté par titre, par abstract et par lecture complète, selon les critères d'inclusion mentionnés au point précédent (4.1) avant de faire une mise en commun. Un éventuel désaccord sur la sélection d'un article donnait lieu à une discussion jusqu'à aboutir à un consensus. Les mêmes sélections ont été appliquées aux articles résultant des alertes email.

Nos critères de sélection à la lecture des titres étaient les suivants :

- 1) être rédigés en français ou en anglais
- 2) être ciblés sur les pathologies cardiaques
- 3) faire mention de l'IT
- 4) être en lien avec la clinique

La deuxième sélection, à la lecture des abstracts, s'est opérée en fonction des critères suivants :

- 1) l'IT doit être une des interventions principales
- 2) la VO₂ pic doit être un des outcomes principaux
- 3) le test à l'effort pour la VO₂ pic doit avoir été effectué sur vélo ou sur tapis roulant
- 4) l'étude doit être une RCT comportant un groupe contrôle d'entraînement continu

Après lecture complète, une dernière sélection a été faite en fonction des aspects ci-dessous :

- 1) le test à l'effort pour la VO₂ pic et l'intervention doivent avoir été réalisés sur le même type d'appareil : vélo ou tapis roulant
- 2) l'étude doit porter sur une intervention de plus de 6 semaines
- 3) la population doit être IC avec une FE du ventricule gauche inférieure à 40%

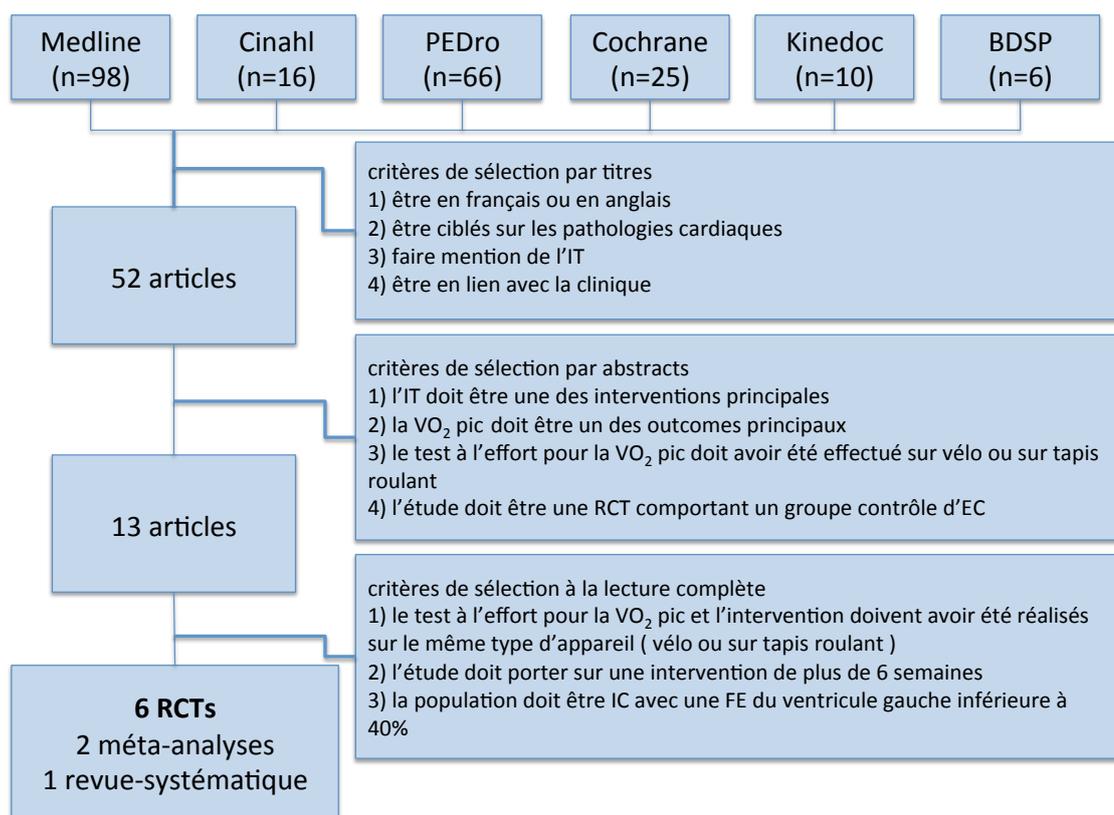
4.3 Application de la stratégie de recherche

Nous avons effectué nos recherches du 25 janvier 2012 au 11 janvier 2013, selon la stratégie de recherche décrite plus haut.

En finalité nous avons retenu 6 RCTs (cf. annexe 5, p. XVI), provenant toutes de Medline (certaines d'entre elles étaient aussi présentes sur d'autres bases de données).

L'organigramme de notre sélection figure ci-après :

Figure 1



En plus de ces articles, nous avons trouvé deux méta-analyses et une revue systématique (cf. annexe 6, p. XVII) traitant de notre première problématique, auxquelles nous avons confronté nos résultats. Plusieurs des 6 RCTs que nous avons retenues sont présentes dans ces trois études. Cependant, aucune d'entre elles ne reprend la totalité de nos six articles, ni essaie d'en extraire des tendances quant à la prise en charge « optimale » par IT (deuxième problématique).

4.4 Evaluation de la qualité et des articles

Tous nos articles étant des RCTs, nous avons choisi de les évaluer avec la grille d'évaluation Physiotherapy Evidence Database (PEDro) spécialement conçue à cet effet. Cette échelle a l'avantage de fournir un score à chaque article. Ce score permet de relativiser la valeur des résultats d'une étude en fonction de sa qualité. La reproductibilité de l'échelle Pedro a été validée par une étude de Christopher G. Maher (Maher, Sherrington, Herbert, Moseley, & Elkins, 2003). La grille d'évaluation PEDro en français est jointe en annexe 7 (p. XVIII).

Nous avons évalué chaque article de notre côté, puis mis nos résultats en commun. En cas de divergence sur l'évaluation d'un item, nous en avons discuté jusqu'à être en

accord. Les résultats de ces évaluations seront abordés dans le chapitre 5.1.

4.5 Niveau de preuve

Nos articles étant des RCTs, ils ont un haut niveau de preuve de II sur IV selon le National Health and Medical Research Conseil (NHMRC) (cf. annexe 8, p. XIX).

4.6 Modalité d'extraction

Afin d'avoir une vision globale et synthétique de chacune de nos RCTs, nous avons utilisé une grille d'extraction de données, que nous avons créée spécifiquement pour répondre à nos problématiques de recherche. Cette grille a pour but de regrouper les informations concernant les auteurs, la population, les mesures effectuées (outcomes), les interventions et les conclusions de chaque étude. Un exemple de cette grille figure en annexe 9 (pp. XX-XXI).

Une fois les données collectées, nous avons regroupé les résultats de chaque étude dans des tableaux récapitulatifs. Le but de ces tableaux est de faire ressortir les similarités et les différences de chaque article, afin d'en faciliter la comparaison et d'optimiser l'analyse des résultats.

5. RESULTATS

Dans ce chapitre, nous aborderons les résultats obtenus avec nos 6 articles. Nous commencerons par l'évaluation de leur qualité, suivie d'un résumé de chacun d'eux, puis par une mise en commun et une comparaison des RCTs entre elles.

5.1 Résultats de l'évaluation de la qualité

Tableau 1: Echelle PEDro

Evaluation de la qualité des articles sélectionnés

Etude	Score PEDro
Dimopoulos 2006	5
Fu 2011	5
Iellamo 2012	6
Roditis 2007	6
Smart 2012	6
Wisloff 2007	5

Comme décrit dans la méthodologie, nous avons utilisé l'échelle PEDro pour évaluer la qualité de nos RCTs. Après l'évaluation de chaque article et l'obtention d'un consensus pour la cotation de chacun d'eux, nous avons dressé un tableau récapitulatif de nos résultats, dans lequel figure chaque item (cf. annexe 10, p. XXII). Les scores totaux figurent dans le tableau 1. Tous nos articles ont obtenu un score de 5 ou 6 sur 10.

5.2 Présentation des études retenues

Comme indiqué précédemment, nous avons regroupé l'ensemble des données de nos 6 articles dans deux tableaux récapitulatifs, dans le but d'en simplifier la lecture et d'en faciliter la comparaison. Le tableau 2 présente les informations sur la population et les interventions, et le tableau 3, les résultats quant à la progression de la VO₂ pic.

Eu égard à la diversité des paramètres concernant la population, les groupes, les interventions, les critères de fin de test et les résultats, chacune de nos RCTs a été résumée à la suite des tableaux 2 et 3. Ces résumés reprennent les informations et les points que nous avons jugés pertinents par rapport à nos problématiques, afin de compléter les informations des tableaux et de relever les singularités de nos différentes études.

Tableau 2 : Populations et interventions

Description des études incluses		Population										Intervention				
		Article	Date	Groupe (n)	Âge	Homme/		FE (%)	VO2 pic (mL.kg-1.min-1)	Modalité	Semaines	Fréquence (n/semaine)	Durée (min)	Temps total (min)	Temps travail/repos	Intensité
						Femme	Femme									
Dimopoulos et al.	2006	IT (10)	59.2±12.2	9/1	34.5±10.5	15.4±4.7	Vélo	12	3	40	1440	30/30 sec	100%, 110% puis 120%/0% de PWR (W)			
		EC (14)	61.5±7.1	14/0	30.7±10.3	15.5±3.7			40	1440	-	50%, 55% puis 60% de PWR (W)				
Fu et al.	2011	IT (14)	67.5±1.8	9/5	38.3±3.5	16±1	Vélo	12	3	33-36	1188-1296	3/3 min	80%/40% de VO2 pic (≈80%/40% de FCR)			
		EC (13)	66.3±2.1	8/5	38.6±4.8	15.9±0.7			36	1296	-	60% de VO2 pic (≈60%FCR)				
Iellamo et al.	2012	IT (8)	62.2±8	8/0	33.7 ± 4.79	18.78 ± 4.58	Tapis	12	2,3,4 et 5	21-37	882-1554	2-4/3 min	75-80%/45-50% de FCR			
		EC (8)	62.6±9	8/0	31.5 ± 6.9	18.44 ± 4.29			30-45	1260-1890	-	45-60% de FCR				
Roditis et al.	2007	IT (11)	63±2	10/1	30.7±10.3	14.2±3.1	Vélo	12	3	40	1440	30/30 sec	100%, 110% puis 120%/0% de PWR (W)			
		EC (10)	61±3	9/1	34.5±10.5	15.3±4.4			40	1440	-	50%, 55% puis 60% de PWR (W)				
Smart et Steele	2012	IT (10)	59.1±11	8/2	27±7.9	12.2±6.5	Vélo	16	3	60	2880	60/60 sec	70%/0% de VO2 pic			
		EC (13)	62.9±9.3	13/0	29.5±7.2	12.4±2.5			30	1440	-	70% de VO2 pic				
Wisloff et al.	2007	IT (9)	76.5±9	7/2	28.0±7.3	13.0±1.6	Tapis	12	3	38	1368	4/3 min	90-95%/50-70% de FC pic			
		EC (9)	74.4±12	7/2	32.8±4.8	13.0±1.1			47	1692	-	70% de FC pic				

FE=fraction d'éjection; IT=interval training; EC=entraînement continu; PWR=peak work rate; W=watt; FCR=fréquence cardiaque de réserve;

Tableau 3 : Résultats des interventions

VO2 pic (mL kg⁻¹ min⁻¹)											
Article	Interval training (IT)				Entraînement continu (EC)				Comparaison IT-EC		
	avant	après	Δ avant-après (valeur)	Δ avant-après (%)	avant	après	Δ avant-après (valeur)	Δ avant-après (%)	$\Delta(\Delta IT-\Delta EC)$	$\Delta\%$	
Dimopoulos 2006	15.4±4.7	16.6±4.9 *	1.2	7.8	15.5±3.7	16.4±3.8 *	0.9	5.8	0.3	2.0	
Fu 2011	16.0±1.0	19.6±1.2 *	3.6	22.5	15.9±0.7	16.0±1.5 *	0.1	0.6	3.5	21.9 *	
Iellamo 2012	18.8±4.6	23.0±4.3 *	4.2	22.6	18.4±4.3	22.5±3.1 *	4.1	22.2	0.1	0.4	
Roditis 2007	14.2±3.1	15.4±4.2 *	1.2	8.5	15.3±4.4	16.6±4.5 *	1.3	8.5	-0.1	0.0	
Smart 2012	12.2±6.5	14.7±4.5 *	2.5	20.5	12.4±2.5	14.0±4.0 *	1.6	12.9	0.9	7.6	
Wisloff 2007	13.0±1.0	19.0±2.1 *	6.0	46.2	13.0±1.1	14.9±0.9 *	1.9	14.6	4.1	31.5 *	

* P<0.05

Dimopoulos et al. ; 2006 : Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure

La présente RCT a été réalisée à Athènes avec l'objectif d'évaluer l'effet d'un réentraînement à l'effort de douze semaines (3 fois par semaine) par interval training versus entraînement continu sur la fréquence cardiaque de récupération du patient IC à une minute post-effort, cette mesure étant le reflet de l'activité parasympathique, laquelle est notablement diminuée chez ces patients.

29 patients insuffisants cardiaques stables référés pour un programme de réhabilitation ont été inclus dans cette étude. Les classes NYHA représentées étaient la I, II et III. Tous étaient sous traitement médicamenteux similaire comprenant notamment des bêtabloquants et avaient une FE inférieure à 35%. L'âge moyen était de 60.5±9.4 ans et une seule femme était présente. Les patients étaient exclus s'ils présentaient une contre-indication à un test d'effort.

Chaque patient avait au préalable signé un consentement écrit pour participer à cette étude, elle-même validée par le comité d'éthique de l'institution.

Une randomisation a été effectuée afin d'obtenir un groupe IT et un autre EC.

Chaque patient a effectué un test d'effort sur cyclo-ergomètre avec mesure des échanges gazeux avant et après la période de réentraînement. L'augmentation de

l'intensité était déterminée par calcul, de manière à ce que le test dure entre 8 et 12 minutes. Les patients étaient encouragés à continuer jusqu'à épuisement.

Le pic de VO_2 a été calculé par la moyenne de VO_2 durant les 20 dernières secondes avant l'arrêt de l'exercice. Le pic d'intensité (*peak work rate ou PWR*) était défini par le plus haut niveau atteint et maintenu à une cadence de pédalage de 50 tours/minute sur une durée de 30 secondes.

Durant le test, un enregistrement en continu de l'ECG de chaque patient était effectué, ainsi que des mesures de la pression sanguine et de la saturation périphérique en oxygène.

Le réentraînement s'étalait sur 12 semaines, à raison de 3 jours par semaine ; chaque séance était supervisée par un physiothérapeute et suivie par un physiologiste de l'exercice, ainsi qu'un médecin.

Les séances d'EC comportaient 40 minutes de pédalage, à 50% de l'intensité pic (PWR) initialement mesurée. De l'autre côté, les patients astreints à l'IT alternaient 30 secondes à 100% du PWR initial avec 30 secondes de repos passif sur la même durée, ce qui assurait une charge totale de travail équivalente pour les deux groupes. L'intensité était augmentée chaque mois de 5% pour l'EC et de 10% pour l'IT.

A la fin des 12 semaines, 5 patients (4 dans le groupe IT et 1 dans le groupe EC) avaient quitté l'étude pour cause de problèmes orthopédiques ou d'horaires incompatibles.

Une amélioration de la VO_2 pic de 5.8% a été notée pour l'EC, passant de 15.5 ± 3.7 à 16.4 ± 3.8 mL kg^{-1} min^{-1} ($p < 0.05$). Pour l'IT, le pic de VO_2 s'est amélioré de 7.8%, passant de 15.4 ± 4.7 à 16.6 ± 4.9 mL kg^{-1} min^{-1} ($p < 0.05$).

Selon les auteurs de cette étude, l'EC et l'IT permettent l'amélioration de la capacité d'endurance des sujets. Cependant, en regard de l'objectif de cette étude, l'EC a de meilleurs effets sur la récupération de la fréquence cardiaque à une minute post-effort.

Fu et al ; 2011 : The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure

Cette étude a été réalisée au sein du département de cardiologie de l'hôpital Chang Gung Memorial à Taiwan. Elle a pour but de déterminer de quelle manière l'IT et l'EC

influencent les capacités fonctionnelles des patients IC.

45 patients insuffisants cardiaques de classes II et III de la NYHA bénéficiant d'un traitement médicamenteux optimal depuis minimum 12 mois ont été randomisés en 3 groupes, un groupe IT (n=15), un groupe EC (n=15) et un groupe contrôle (n=15).

Les critères d'exclusion de cette étude étaient la présence de fibrillation atriale, d'arythmie ventriculaire, d'infarctus récent (<4 semaines), de diabète incontrôlé, d'obstruction bronchique sévère, d'insuffisance rénale, de dépendance à l'alcool ou aux stupéfiants.

L'étude a été effectuée en accord avec la déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont fourni leur consentement écrit et l'Institutional Review Board of Chang Gung Memorial Hospital a approuvé le protocole.

La VO₂ pic a été mesurée pour tous les groupes par un test d'effort maximal sur cyclo-ergomètre 2 jours avant le début des programmes de réentraînement, puis à la fin. La VO₂ pic a été considérée comme atteinte en fonction des critères suivants : une progression de la VO₂ inférieure à 2 mL kg⁻¹ min⁻¹ durant les 2 dernières minutes, une FC supérieure à 85% du maximum prédit, un QR supérieur à 1.15 ou lors d'un autre symptôme ou signe de limitation. En plus des paramètres ventilatoires et cardiaques de base, l'hémodynamique cardiaque, l'hémodynamique musculaire, les bios marqueurs inflammatoires et la qualité de vie ont été analysés dans cette étude.

Tous les groupes ont eu un suivi de 12 semaines. Les patients du groupe contrôle ont eu uniquement des informations et des recommandations données par un physiothérapeute sur l'activité physique à domicile. Ceux des groupes EC et IT ont effectué 3 séances par semaine d'entraînements supervisés sur cyclo-ergomètre, durant les 12 semaines de suivi. Chaque séance était constituée de 30 minutes d'entraînement, précédées de 3 minutes d'échauffement et suivies de 3 minutes de retour au calme. L'intensité d'entraînement pour l'EC était à 60% de la VO₂ pic. Pour l'IT, les modalités étaient de 5 séries de 3 minutes à 80% de la VO₂ pic alternées par 3 minutes à 40% de la VO₂ pic. Les protocoles d'IT et d'EC ont été faits afin d'être iso-caloriques et d'avoir la même durée d'entraînement. Les auteurs ont utilisé les FC pour cibler les intensités de travail, en admettant que X% de VO₂ pic était égal à X% de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) (FCR=FC pic-FC repos). Tous les patients IT et EC étaient monitorés durant les

interventions, les cyclo-ergomètres étaient réglés en fonction afin d'obtenir la FCR désirée. L'échelle de Borg a été utilisée durant les entraînements pour apprécier la perception de l'effort des patients.

Sur 45 patients initiaux, 40 ont terminé le programme. Il y a eu 1 drop-out dans le groupe IT, 2 dans le groupe EC et 2 dans le groupe contrôle. Les causes des drop-outs ne sont pas décrites.

La VO₂ pic du groupe IT est passée de 16.0±1.0 à 19.6±1.2 mL kg⁻¹ min⁻¹, soit une progression de 3.6 mL kg⁻¹ min⁻¹ (p<0.05) ou 22.5%. La VO₂ pic du groupe EC est passée de 15.9±0.7 à 16.0±1.5 mL kg⁻¹ min⁻¹ soit une augmentation non significative de 0.1 mL kg⁻¹ min⁻¹ ou 0.6%. Le groupe contrôle n'a pas eu de progression significative non plus.

La qualité de vie a été évaluée avec le questionnaire SF-36 et par le Minnesota Living With Heart Failure Questionnaire (MLHFQ). Dans le groupe IT, les résultats des deux questionnaires ont évolué significativement ; dans le groupe EC, seul le MLHFQ a changé de manière manifeste et aucun changement n'a été relevé par ces échelles pour le groupe contrôle.

Les auteurs concluent que le réentraînement à l'effort pour les patients IC induit une progression des capacités fonctionnelles supérieure par IT que par EC.

Iellamo et al. ; 2012 : Matched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure

Cette récente étude italienne avait comme hypothèse que l'IT et l'EC induisaient des effets similaires sur la capacité fonctionnelle (VO₂ pic) et métaboliques des patients IC lorsque la charge de travail était rendue équivalente par une prescription d'exercice individualisée. Cette individualisation se faisait par la prise en compte de la fréquence cardiaque, de la durée de la séance et par un facteur individuel « y » reflétant l'intensité de l'effort. Ce facteur était basé sur l'élévation exponentielle du taux de lactate à l'exercice. Le détail de ce dernier n'étant pas mentionné dans l'article, la durée d'une séance (en minutes) et l'intensité (en pourcentage de la FCR) nous sont données sous la forme d'un intervalle dans lequel le travail est prescrit ; ceci engendre une certaine imprécision des données pour l'analyse (cf. tableau 2).

20 hommes insuffisants cardiaques stables ayant subi un infarctus du myocarde et référés pour une réadaptation ont été répartis aléatoirement dans un groupe IT (n=10) et un autre EC (n=10). Le réentraînement s'est effectué sur 12 semaines à fréquence progressive de 2 à 5 fois par semaine pour un total de 42 séances.

Tous les sujets étaient sous traitements médicamenteux similaires, présentaient une fraction d'éjection inférieure à 40% et se situaient dans les classes II ou III de la NYHA. Les critères d'exclusion étaient la présence d'un pacemaker, une hypertension non contrôlée ou tout autre pathologie affectant la réalisation d'un test d'effort.

Chaque patient a donné son consentement écrit et l'étude a été validée par deux comités d'éthique.

La VO_2 pic de chaque patient a été déterminée avant et après la période de réentraînement par un test d'effort incrémental sur tapis roulant selon le protocole de Bruce modifié. Celui-ci, destiné spécifiquement aux patients cardiaques, consiste en une augmentation simultanée de la pente et de la vitesse du tapis par paliers de 3 minutes. Une mesure des échanges gazeux, de la FC et du profil de la concentration de lactate (utilisée pour l'individualisation) étaient effectuées en parallèle. Le test prenait fin par la fatigue du sujet, dont le quotient respiratoire (QR) devait dépasser 1.10

La VO_2 pic a été définie par la plus haute VO_2 observée, moyennée sur les 30 dernières secondes du test.

Une mesure du débit cardiaque, ainsi que des prélèvements sanguins avec analyse des composants métaboliques étaient également effectués.

Le programme d'entraînement des deux groupes (IT et EC) comportait de la marche en montée sur tapis roulant, 1 fois par semaine durant les 3 premières semaines, 2 fois par semaine de la semaine 4 à la semaine 6, 4 fois par semaine de la semaine 7 à la semaine 9 et finalement 5 fois par semaine pendant les 3 dernières semaines. Pour chaque période, la charge d'entraînement entre IT et EC était similaire (selon la méthode individualisée décrite ci-dessus). L'EC était constitué de marche continue à une intensité correspondant à environ 45%-60% de la fréquence cardiaque de réserve. Lors de l'IT, les patients s'échauffaient 9 minutes avant de marcher 4 intervalles de 4 minutes chacun à 75%-80% de la FCR intercalés par des pauses actives de 3 minutes à 45%-50% de la FCR.

La vitesse et la pente du tapis étaient ajustées continuellement pour s'assurer de travailler aux FCR prescrites. Chaque patient était équipé d'un cardio-fréquence-mètre et un physiothérapeute supervisait toutes les séances ; celles-ci ayant toujours lieu en matinée.

Sur les 20 patients initiaux, seuls 16 ont terminé les 12 semaines d'entraînement ; 2 drop-outs ont affecté chaque groupe. Un patient a développé une fibrillation atriale permanente et les 3 autres se sont retirés de l'étude volontairement pour des raisons autres que médicales.

Le pic de VO_2 a augmenté de manière significative ($p < 0.05$) de 22% dans les deux groupes, passant de 18.8 ± 4.6 à 23 ± 4.3 $\text{mL kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ pour l'IT et de 18.4 ± 4.3 à 22.5 ± 3.1 $\text{mL kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ pour l'EC. Aucune différence significative n'a été constatée entre les deux groupes.

Les auteurs concluent que l'IT et l'EC sont capables d'améliorer de manière similaire la capacité aérobie des patients IC si ces entraînements sont pratiqués avec la même dose d'exercice. Selon eux, la prescription des intensités en pourcentage de la VO_2 pic ou de la FC pic peut induire des réponses physiologiques différentes chez des sujets ayant une capacité aérobie initiale identique ; ils préconisent donc leur méthode qui prend en compte la réponse individuelle au lactate.

Roditis et al. ; 2007 : The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure

Cette étude a été réalisée au sein des hôpitaux Alexandra et Evgenidio à Athènes. Elle a pour but de déterminer les effets de l'entraînement physique par IT et EC sur la cinétique de l' O_2 chez les patients IC.

21 patients insuffisants cardiaques chroniques stables depuis minimum 6 semaines (de classes I, II et III de la NYHA) ont été randomisés en deux groupes, un groupe IT ($n=11$) et un groupe EC ($n=10$). Dans les deux groupes, tous les participants ont suivi 36 sessions de réentraînement, 3 séances par semaine sur 12 semaines.

Les critères d'exclusion de cette étude étaient la présence de tout trouble orthopédique et neurologique pouvant limiter l'intervention, ainsi que tout trouble cardiaque non stable. La médication des patients durant l'étude était inchangée.

Tous les participants ont fourni un consentement écrit. Les hôpitaux universitaires ont approuvé le protocole et l'étude a reçu l'aval de l'International Resesrch Review Panel.

La VO_2 pic a été mesurée pour les deux groupes par un test d'effort maximal sur cyclo-ergomètre, une semaine avant le début des programmes de réentraînement, puis une seconde fois à la fin. Le test d'effort par incrémentation prenait fin lorsque le sujet n'était plus capable de maintenir un rythme de 50 tours/minute. La fréquence cardiaque pic, la VO_2 pic et la charge de travail à VO_2 pic (*peak work rate ou PWR*) ont été calculées en faisant la moyenne des mesures de FC, de VO_2 et de charge de travail durant les 20 dernières secondes du test. Un test d'exercice sous-maximal a aussi été effectué dans cette étude.

Les patients assignés à l'EC ont effectué des entraînements de 40 minutes sur cyclo-ergomètre à 50% du PWR initial. Ceux du groupe IT, quant à eux, ont effectué des séances de la même durée (40 minutes) et sur les mêmes appareils, mais avec une intensité de 100% du PWR initial durant 30 secondes alternées par 30 secondes de repos passif. La charge de travail totale était ainsi égale pour les deux groupes.

Les intensités de travail ont été augmentées au deuxième et troisième mois dans les deux groupes, respectivement de 55%, puis 60% du PWR initial pour le groupe EC et de 110%, puis 120% pour le groupe IT.

Les sessions de réentraînement étaient supervisées par un physiothérapeute et un médecin. La puissance moyenne, la pression sanguine et la fréquence cardiaque de chaque patient ont été contrôlées durant les entraînements.

Sur 29 patients initiaux, 24 ont terminé le programme et seulement 21 ont eu des résultats interprétables. Les 5 drop-outs sont dus à des problèmes orthopédiques ou des problèmes de disponibilité. 3 patients ont terminé l'étude, mais n'ont pas été pris en compte en raison d'une trop grande fluctuation de leurs résultats.

La VO_2 pic du groupe IT est passé de 14.2 ± 3.1 à 15.4 ± 4.2 $\text{mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$, soit une progression de $1.2 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ou 8.4% ($p < 0.05$). La VO_2 pic du groupe EC est passée de 15.3 ± 4.4 à 16.6 ± 4.5 $\text{mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ soit une augmentation de $1.3 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ou 8.5% ($p < 0.05$).

Les auteurs de cette recherche arrivent à la conclusion que les deux types d'intervention

sont égaux du point de vue de la progression de la VO_2 pic.

Smart et Steele ; 2012 : A comparison of 16 weeks of continuous vs intermittent exercise training in chronic heart failure patients

Les auteurs de cette étude australienne ont voulu déterminer si un programme de réentraînement par intervalles (IT) au même volume absolu qu'un entraînement continu (EC) produisait des effets similaires sur la capacité fonctionnelle représentée par la VO_2 pic, la qualité de vie et la fonction cardiaque de 23 patients insuffisants cardiaques.

Tous suivaient un traitement médical stabilisé depuis au moins 1 mois, avaient une FE inférieure à 35% et devaient avoir au minimum 2 critères mineurs de Framingham⁷ (cf. annexe 11) ou un majeur. Ces sujets se situaient dans les classes II et III de la NYHA. Ils étaient exclus en cas d'angine instable ou d'impossibilité de pouvoir faire de l'exercice.

Les 23 patients ont été répartis aléatoirement dans un groupe IT (n=10) et EC (n=13) et stratifiés sur la VO_2 pic pour un programme d'une durée de 16 semaines à une fréquence trihebdomadaire.

Un test de VO_2 pic sur cyclo-ergomètre avec une augmentation des paliers de 10 watts par minute a été effectué avant et après les 16 semaines. Les critères de fin étaient la dyspnée et la fatigue des membres inférieurs. Les patients étaient monitorés en permanence sous électrocardiogramme. La FC et la charge de travail étaient enregistrées à l'arrêt de l'exercice. La mesure de VO_2 était une moyenne sur 20 secondes ; la plus haute valeur enregistrée étant définie comme VO_2 pic. D'autres mesures telles que la qualité de vie, la pression sanguine, la fonction cardiaque et la fonction endothéliale étaient par ailleurs également mesurées dans cette étude.

Les deux interventions (IT et EC) étaient supervisées et imposaient aux patients une cadence de pédalage de 60 tours par minute. Le groupe EC pédalait 30 minutes à 70% de VO_2 pic, alors que le groupe IT alternait 60 secondes à 70% du pic de VO_2 et 60 secondes de repos sur une durée de 60 minutes, ceci afin d'avoir un volume d'exercice identique entre les deux groupes. L'intensité était augmentée de 2 à 5 watts par semaine.

La totalité des 23 patients a terminé le programme. Le pic de VO_2 a augmenté de 12.9%

⁷ Les critères de Framingham sont des critères diagnostics pour l'insuffisance cardiaque.

pour l'EC passant de 12.4 ± 2.5 à 14 ± 4 mL $\text{kg}^{-1} \text{min}^{-1}$ et de 20.5% pour l'IT (de 12.2 ± 6.5 à 14.7 ± 4.5 mL $\text{kg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

La qualité de vie a été mesurée de trois manières différentes : par le Minnesota Living With Heart Failure Questionnaire (MLHFQ), la Hare-Davis Cardiac Depression Scale et le Short Form (36) Health Survey (SF-36). Pour le MLHFQ, une seule amélioration a été constatée pour le groupe EC. Concernant les deux autres outils de mesures, des améliorations similaires entre les groupes IT et EC ont été relevées.

Selon les auteurs de cette recherche, l'IT devrait être considéré comme un outil au moins équivalent, pour les patients IC sévères incapables de suivre un EC et fournissant un volume de travail similaire.

Wisloff et al. ; 2007 : Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients : A randomized study

Cette étude a été réalisée au sein du département de cardiologie de l'hôpital de St Olav en Norvège. Elle a pour but de comparer les effets du réentraînement à l'effort par IT et EC sur les patients IC post-infarctus.

27 patients insuffisants cardiaques stables (sans épisode d'infarctus du myocarde) depuis plus de 12 mois ont été randomisés en 3 groupes, un groupe IT (n=9), un groupe EC (n=9) et un groupe contrôle (n=9). Tous les participants étaient sous traitement médicamenteux optimum.

Les critères d'exclusion de cette étude étaient, les pacemakers, les IC décompensés, les arythmies ventriculaires, les troubles orthopédiques et neurologiques limitant l'exercice.

L'étude a été effectuée en accord avec la déclaration d'Helsinki et le protocole a été approuvé par le comité d'éthique régional de recherche médicale. Tous les participants ont fourni un consentement écrit.

La VO_2 pic a été mesurée pour les 3 groupes par un test d'effort maximal sur tapis roulant avant et après l'intervention. Une diminution de la progression de la VO_2 et un $\text{QR} > 1.05$ durant le test ont été considérés comme critères d'atteinte de la VO_2 pic. En plus des paramètres ventilatoires et cardiaques de base, des échographies cardiaques, des biopsies musculaires, des analyses de sang et des échelles sur la qualité de vie ont été effectuées sur chaque patient durant cette étude.

Tous les groupes ont eu un suivi de 12 semaines. Les groupes IT et EC ont suivi 3 séances par semaine de réentraînement sur tapis roulant (2 sous supervision et une à domicile) et le groupe contrôle participait uniquement à un entraînement supervisé toutes les 3 semaines.

Les auteurs ont utilisé la FC pour cibler les intensités de travail, en corrélant la FC à la VO_2 (50-60% de FC pic \approx 60-70% VO_2 pic). Tous les participants de cette étude étaient munis de cardio-fréquencemètre, afin d'obtenir les intensités d'exercice recommandées, la vitesse et l'inclinaison du tapis roulant étant ajustées en fonction.

Les séances de réentraînement d'IT étaient constituées de 10 minutes d'échauffement à 60-70% de la FC pic, suivies de 4 séries de 4 minutes à 90-95% de la FC pic alternées de 3 minutes à 50-70% de la FC pic et se terminant par 3 minutes de retour au calme à 50-70% de la FC pic. Les séances de réentraînement pour l'EC étaient constituées, quant à elles, de 47 minutes à 70-75% de la FC pic. Les 3 ou 4 entraînements supervisés du groupe contrôle étaient identiques en temps et en intensité à ceux du groupe EC. Les protocoles d'IT et de EC ont été faits afin d'être iso-caloriques. L'échelle de Borg a été utilisée durant les entraînements pour apprécier la perception de l'effort des patients.

Sur 27 patients initiaux, 26 ont terminé le programme. Le drop-out est dû au décès d'un des patients du groupe EC suite à un problème cardiaque, mais n'était pas en relation avec le réentraînement.

La VO_2 pic du groupe IT est passée de 13.0 ± 1.6 à 19.0 ± 2.1 $mL\ kg^{-1}\ min^{-1}$, soit une progression de $6.0\ mL\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ($p < 0.05$) ou 46.1%. La VO_2 pic du groupe EC est passée de 13.0 ± 1.1 à 14.9 ± 0.9 $mL\ kg^{-1}\ min^{-1}$ soit une augmentation de $1.9\ mL\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ($p < 0.05$) ou 14.6%. Le groupe contrôle n'a pas eu de progression significative sa VO_2 pic est passée de 13.2 ± 1.9 à 13.4 ± 2.0 $mL\ kg^{-1}\ min^{-1}$.

La qualité de vie a été évaluée avec le questionnaire MacNew Heart Disease Health-Related Quality of Life. Dans le groupe IT et EC, les résultats de ce questionnaire démontrent une amélioration significative de 4.41 ± 0.32 à 5.73 ± 0.19 ($p < 0.05$) et de 4.4 ± 0.4 à 5.2 ± 0.2 ($p < 0.05$). La différence de progression entre les deux groupes est statistiquement significative ($p < 0.05$). Il n'y a pas eu de changement manifeste dans la qualité de vie du groupe contrôle.

L'effort éprouvé par les participants durant les interventions a été de 17 ± 1 sur 20 pour

l'IT et de 12 ± 1 sur 20 pour l'EC. Il est évalué par l'échelle de Borg.

Les auteurs de cette étude arrivent à la conclusion que l'IT favorise davantage la progression de la qualité de vie et de la capacité aérobie que l'EC.

5.3 Comparaison des études

En nous appuyant sur les résumés précédents et sur les tableaux 2 et 3, nous allons comparer successivement les populations, les interventions et les résultats de nos RCTs. Le but est de mettre en valeur les tendances générales, les similarités et les différences de nos études.

5.3.1 Comparaison des populations

Toutes ces études prennent en compte de petites populations, à savoir entre 20 et 45 patients IC au total. L'étude de Fu et al. (2011) est celle qui réunit la plus grande population, 15 participants par groupe. Celle de Iellamo et al. (2012) est la plus petite avec 10 patients par groupe⁸, soit 11 participants en moyenne par groupe dans notre sélection d'études. Les participants de nos RCTs ont tous été randomisés en un groupe IT et un groupe EC ; les études de Fu et al. (2011) et de Wisloff et al. (2007) comportent, en plus, un groupe contrôle. Du fait de la randomisation, les groupes de chacune de nos RCTs sont homogènes intra étude. Les exceptions seront abordées au chapitre 6.2.1. Nous allons évaluer dans ce chapitre l'homogénéité des populations inter études, en comparant leurs caractéristiques, l'une après l'autre.

Âge : La médiane des moyennes d'âge des populations de nos études est de 63 ans et la moyenne est de 65 ans avec des valeurs allant de 59.1 ± 11 à 76.5 ± 9 ans. Les moyennes d'âge de chacune de nos RCTs sont proches les unes des autres, sauf dans le travail de Wisloff et al. (2007) qui regroupe une population plus âgée d'une dizaine d'années.

Sexe : La majorité des sujets de nos articles sont de sexe masculin. La proportion de femmes dans nos études varie de 0 à 38% avec une moyenne générale à 14% et une médiane à 10%. Aucune femme n'était présente dans la RCT de Iellamo et al. (2012) ni dans les groupes EC des travaux de Dimopoulos et al. (2006) et de Smart et Steele

⁸ Dans le tableau 2 le nombre de participants dans l'étude de Iellamo et al. est de 8 par groupe et pas de 10, car dans ce tableau les drop-outs ont déjà été retirés

(2012). L'étude comportant la plus haute proportion de femmes est celle de Fu et al. (2011) avec 38%.

FE : La moyenne des FE est de 32% et la médiane également de 32% avec des valeurs allant de 27% à 38%.

VO₂ pic : La moyenne de la VO₂ pic initiale est de 15 mL kg⁻¹ min⁻¹ et la médiane de 15 mL kg⁻¹ min⁻¹, avec des valeurs allant de 12.2 mL kg⁻¹ min⁻¹ chez Smart et Steele (2012) à 18.8 mL kg⁻¹ min⁻¹ chez Iellamo et al. (2012).

IC : La majorité des patients présents dans nos RCTs ont des insuffisances cardiaques chroniques stables de classes II et III de la NYHA. Les études de Roditis et al. (2007) et Dimopoulos et al. (2006) intègrent aussi des patients de classe I.

Médication : Tous les participants étaient sous médication stable, leur traitement était composé entre autre de bêtabloquants et de d'inhibiteurs d'enzymes de conversion⁹.

5.3.2 Comparaison des interventions

Les paramètres qui constituent un (ré)-entraînement en endurance étant nombreux, nous allons passer en revue ceux qui nous paraissent les plus importants. Un résumé des interventions effectuées dans les 6 études figure dans le tableau 2.

La majorité des RCTs (n=4) ont été effectuées sur cyclo-ergomètre ; seul Iellamo et al. (2012) et Wisloff et al. (2007) ont utilisé un tapis roulant (pour rappel, les tests d'effort ont toujours été réalisés sur le même outil que l'intervention.) L'ensemble des interventions s'est déroulé sur une durée de 12 semaines, à la fréquence de 3 séances par semaine, à l'exception de l'étude de Smart et Steele (2012) qui s'étale sur 16 semaines et celle de Iellamo et al. (2012) qui a utilisé un protocole progressif concernant la fréquence des séances, passant de 2 fois par semaine pendant les trois premières semaines à 5 fois pendant les trois dernières.

La durée moyenne d'une séance d'IT était de 40.2 minutes avec un minimum de 21 minutes chez Iellamo et al. (2012) et un maximum de 60 minutes chez Smart et Steele (2012). Concernant l'EC, la durée moyenne d'une séance était de 38.3 minutes s'échelonnant de 30 minutes pour Smart et Steele (2012) à 47 minutes pour Wisloff et

⁹ Pierre angulaire du traitement de l' IC, permettant de réguler la pression artérielle (inhibiteurs de l'enzyme de conversion) et de la FC (bêtabloquants).

al. (2007). Le temps total d'intervention (en minutes) correspond à la durée de l'étude (en semaines) multipliée par le nombre de séances hebdomadaires, multipliée par le temps d'une séance (en minutes) ; il représente également le temps pris sur le quotidien du patient. Pour le groupe interval training, il varie dans tous nos articles de 882 à 1554 minutes (Iellamo et al., 2012)¹⁰ à l'exception de Smart et Steele (2012) avec une valeur « extrême » de 2880 minutes. Pour le groupe entraînement continu, il se situe entre 1260 et 1890 minutes (Iellamo et al., 2012).

Les intensités de l'EC étaient de 50% du PWR chez Dimopoulos et al. (2006) et Roditis et al. (2007), de 60% de la FCR chez Fu et al. (2011) et Iellamo et al. (2012), de 70% de la VO₂ pic chez Smart et Steele (2012), et de 70% de la FC pic chez Wisloff et al. (2007) (cf. tableau 2). Celles-ci étant exprimées en pourcentage de différentes unités, elles sont difficilement comparables.

Dans les interventions par interval training, les unités sont également toutes différentes. Les périodes de travail à haute intensité se déclinaient de la manière suivante : 100% du PWR chez Dimopoulos et al. (2006) et Roditis et al. (2007), 80% de la FCR chez Fu et al. (2011) et Iellamo et al. (2012), 70% de la VO₂ pic chez Smart et Steele (2012), et de 95% de la FC pic chez Wisloff et al. (2007) (cf. tableau 2).

On peut relever que Smart et Steele ont utilisé la même intensité pour l'EC et la phase de travail de l'IT (70% de VO₂ pic).

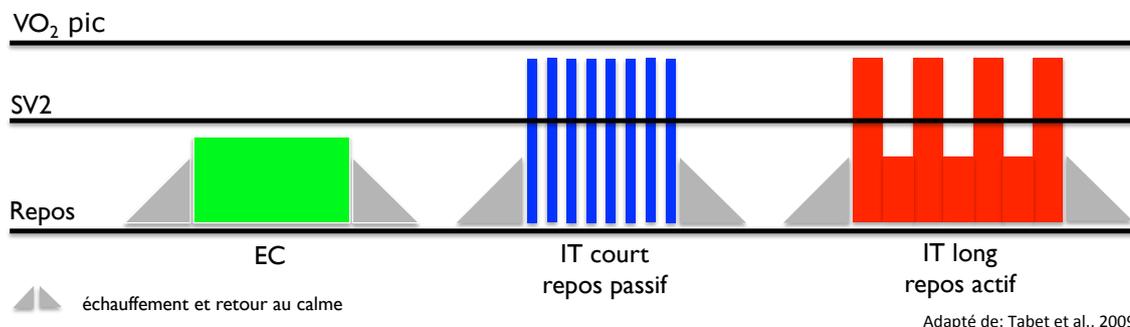
Il est important de mentionner que tous les auteurs ont cherché à avoir une charge de travail équivalente entre les groupes EC et IT. Cette charge de travail a été calculée dans la majorité des études en multipliant l'intensité par la durée ; certaines modifiant plutôt l'intensité (Dimopoulos et al., 2006 ; Roditis et al., 2007), la durée (Smart et Steele, 2011) ou les deux (Fu et al., 2011 ; Wisloff et al., 2007). Iellamo et al. (2012), quant à eux, ont utilisé une méthode individualisée (cf. descriptif de l'étude).

S'agissant du temps de travail et du temps de repos des différents interval training, deux tendances coexistent : a) une alternance d'effort de 30 à 60 secondes et de repos passif d'une durée identique (Dimopoulos et al., 2006 ; Roditis et al., 2007 ; Smart et Steele, 2012) et b) un temps de travail variant de 2 à 4 minutes, suivi d'un repos actif de 3

¹⁰ Le protocole d'intervention de Iellamo et al. étant progressif et adapté à chaque patient, le temps total de travail de cette étude nous est donné sous la forme d'un intervalle dont les limites comprennent les temps totaux des autres articles.

minutes à une intensité moindre (Fu et al., 2011 ; Iellamo et al., 2012 ; Wisloff et al., 2007) (figure 2).

Figure 2 : Comparaison des interventions



Il est à noter que les études de Dimopoulos et al. (2006) et Roditis et al. (2007) bénéficient exactement de la même intervention ; nous reviendrons sur ce point au chapitre 6.2.2 sur les biais inter-études.

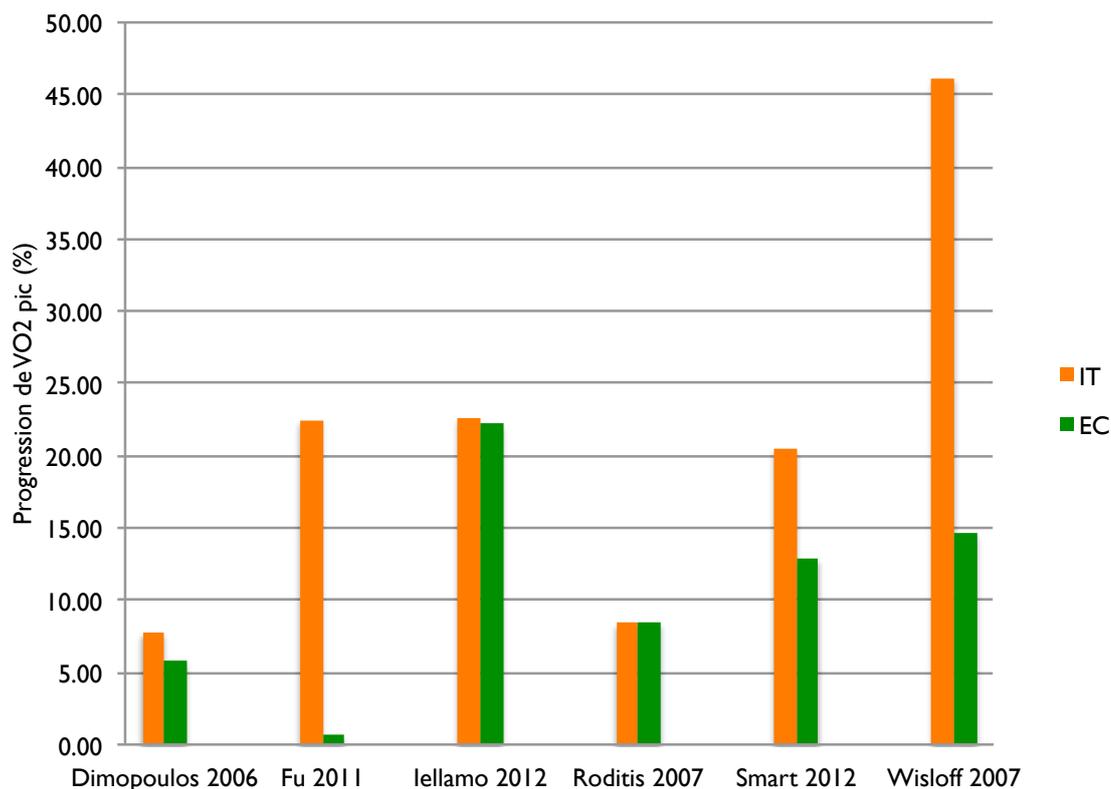
Finalement, sur l'ensemble des 6 études, aucun des drop-outs n'a eu pour origine le protocole d'intervention, aussi bien pour les groupes IT que EC.

5.3.3 Comparaison des résultats

Chacune de nos RCTs comporte une multitude d'outcomes, mais comme décrit dans le cadre théorique nous allons nous concentrer principalement sur la progression de VO_2 pic, afin de répondre à nos problématiques. Les progressions des VO_2 pic sont regroupées dans le tableau 3 qui est représenté précédemment et dans les figures 3 et 4 qui suivent.

Différentes progressions ont été observées entre chacun de nos articles, aussi bien au niveau des interventions d'IT que d'EC. L'évolution de la VO_2 pic dans le groupe IT est en moyenne de 21% avec des progressions allant de 7.8% (Dimopoulos et al., 2006) à 46.2% (Wisloff et al., 2007), soit de $1.2 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ à $6.00 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ en valeur absolue. Dans les groupes EC la VO_2 pic a augmenté en moyenne de 11%, avec des progressions s'étendant de 0.6% (Fu et al., 2011) à 22.18% (Iellamo et al., 2012), soit une évolution de $0.1 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ à $4.09 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. La figure 3 reprend de manière plus visuelle la progression des VO_2 pic de chaque article.

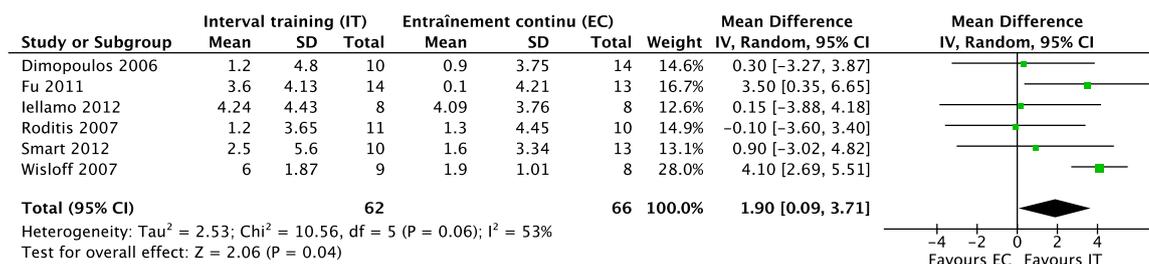
Figure 3 : Progression de la VO₂ pic des groupes IT et EC



Les études de Iellamo et al. (2012) et Roditis et al. (2007) ont une progression similaire de la VO₂ pic entre les groupes IT et EC. Dans nos quatre autres articles l'augmentation de la VO₂ pic est supérieure pour l'IT par rapport à l'EC.

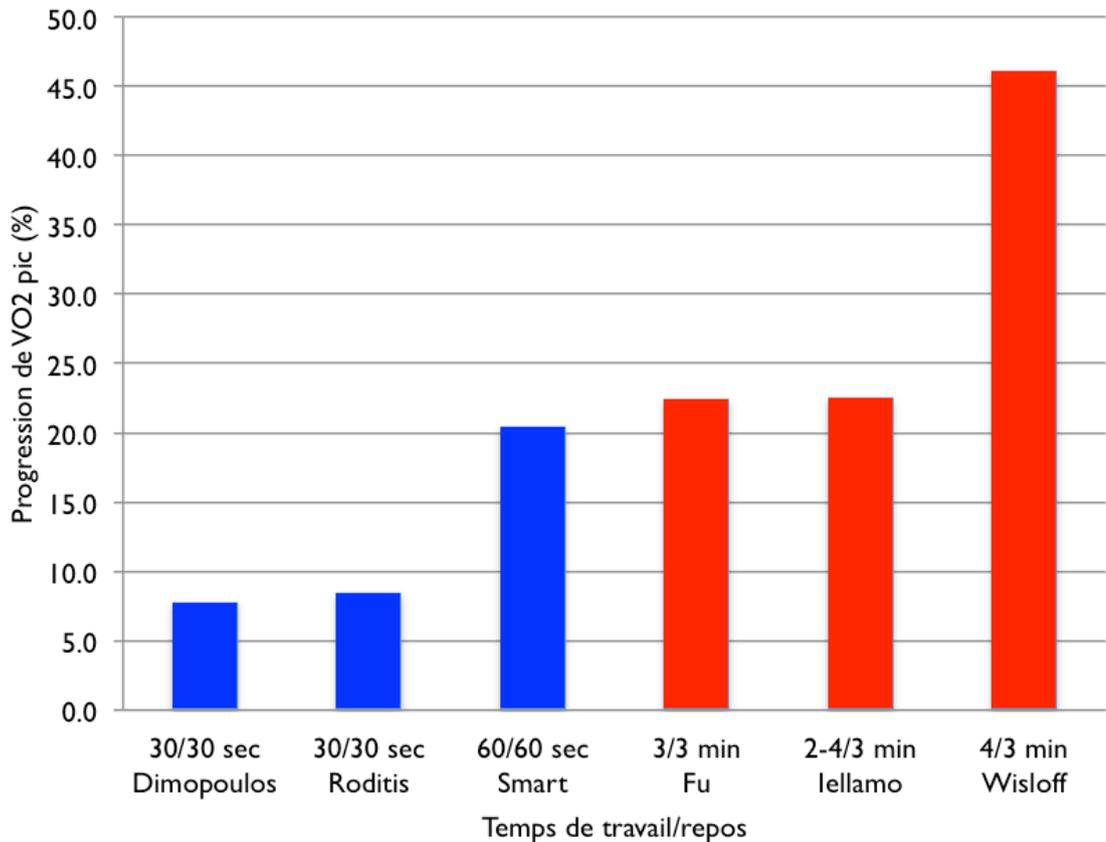
La figure 4 pondère et synthétise les progressions de la VO₂ pic, entre l'IT et l'EC, en intégrant les déviations standards et le poids de chacun de nos RCTs. Le résultat de ce « forest plot » est en faveur de l'IT, avec une progression au moins aussi importante dans les groupes IT que EC, dans la totalité de nos articles. De plus, dans les études de Fu et al. (2006) et Wilsoff et al. (2007) les progressions en faveur de l'IT sont statistiquement significatives.

Figure 4 : Progression de la VO₂ pic, IT versus EC



Après avoir confronté les résultats de l'IT avec ceux de l'EC, nous allons à présent nous concentrer plus spécifiquement sur ceux de l'IT. Dans la figure 5, nos études ont été classées dans l'ordre croissant de leur progression de VO₂ pic par IT, afin de faciliter la comparaison.

Figure 5 : Progression de la VO₂ pic des groupes IT en fonction du temps de travail/repos et du repos passif/actif



Les progressions les plus marquées de la VO₂ pic présentent les caractéristiques suivantes :

- les deux meilleures ont été effectuées sur tapis roulant (Iellamo et al., 2012; Wisloff et al., 2007).
- les trois meilleures ont utilisé des périodes de repos actif (Fu et al., 2011; Iellamo et al., 2012; Wisloff et al., 2007).
- les quatre meilleures montrent un temps de travail/repos égal ou supérieur à la minute (Fu et al., 2011; Iellamo et al., 2012; Smart & Steele, 2011; Wisloff et al., 2007).

Afin de ne pas perdre de vue la pertinence clinique du réentraînement à l'effort du patient IC, voici brièvement les résultats de la qualité de vie tels qu'ils ont été abordés dans trois de nos articles (Fu et al., 2011; N. A. Smart & Steele, 2011; Wisloff et al., 2007). Des échelles différentes ont été utilisées, rendant la comparaison inter-études difficile. Selon les auteurs, une amélioration de la qualité de vie était visible tant dans les groupes IT que EC, avec toutefois une légère tendance en faveur de l'IT chez Fu et al. (2011) et Wisloff et al. (2007).

6. DISCUSSION

6.1 Interprétation de l'évaluation de la qualité

Comme décrit dans le chapitre 5.1, nos articles ont tous obtenu un score de 5 ou 6 sur 10 avec l'échelle PEDro. L'aveuglement étant impossible dans nos études compte tenu du type d'intervention, les items 5 et 6 sur l'aveuglement des sujets et des thérapeutes sont donc négatifs dans toutes nos RCTs (annexe 10, p. XXII). Le score maximum possible est, par conséquent, de 8 et non de 10, ce qui relativise les scores bas obtenus par nos analyses.

Les items 2, 4, 10 et 11 concernant «la répartition aléatoire», «la similarité des groupes», «la comparaison statistique» et «la variabilité» sont positifs pour tous nos articles. Concernant la «répartition par assignation secrète» (item 3), la moitié de nos études ont obtenu une évaluation positive ; l'autre moitié n'en faisant pas clairement mention, elles ont été cotées négativement. L'item 8, «plus de 85% des mesures ont été obtenues» n'a pas pu être respecté dans trois de nos articles suite aux drop-outs. Cependant, ces divers drop-outs (abordés dans le chapitre 5.2) ne sont pas dus aux interventions.

Nos articles étant tous des RCTs, ayant des scores de qualité très proches, aucune d'entre elles ne se démarquent clairement des autres. Nous leur accordons donc une crédibilité similaire quant à leur qualité. Les limites et biais de chacune d'entre elles seront abordés plus spécifiquement dans le chapitre 6.2.

6.2 Interprétation des résultats

Dans le présent chapitre, nous allons discuter les résultats obtenus pour nos deux problématiques.

6.2.1 Confirmer les avantages de l'IT par rapport à l'EC

Comme nous l'avons présenté précédemment dans le chapitre 5.3.3, quatre de nos articles (Dimopoulos et al., 2006 ; Iellamo et al., 2012 ; Roditis et al., 2007 ; Smart et Steele, 2012) ont une progression de VO_2 pic dans le groupe IT égale ou supérieure à celle du groupe EC. Les deux autres études (Fu et al., 2011 ; Wisloff et al., 2007) sont quant à elles significativement en faveur de l'IT. Ainsi, comme l'illustre la figure 4, la différence moyenne pondérée (*Weighted Mean Difference*) de nos six études tend en faveur de l'IT avec une valeur de $1.90 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ et un intervalle de confiance de 95% [95% CI] allant de 0.09 à 3.71. Ce résultat est en accord avec les deux méta-analyses les plus récentes sur le sujet (Haykowsky et al., 2013; N. A. Smart et al., 2011), qui obtiennent des différences moyennes pondérées de $2.14 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ [0.66, 3.63] et de $1.04 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ [0.42, 1.66]. Ces dernières regroupent ensemble la totalité de nos six RCTs.

Il est important de relever que les différences moyennes (entre IT et EC) de chaque RCT peuvent être influencées autant par le groupe IT que par le groupe EC ; il est par conséquent difficile d'estimer si la différence moyenne observée est la résultante d'un bon/mauvais IT ou d'un bon/mauvais EC.

C'est par exemple le cas chez Iellamo et al. (2012) qui présente une différence moyenne proche de 0 (0.15)¹¹. Ainsi, malgré une des meilleures progressions de VO_2 pic par IT (22.6%), cette étude n'est pas en faveur de l'IT. Ceci s'explique par l'excellente progression par EC (22.2%), qui minimise la différence entre les deux interventions. La cause de cette augmentation marquée est difficile à expliquer en regard des paramètres d'interventions et de la population. La seule différence notable est le protocole d'intervention, avec une fréquence d'entraînement progressive et des durées de séances individualisées.

Un cas similaire de quasi-équivalence entre les interventions IT et EC est celui de Roditis et al. (2007), qui présente une progression de VO_2 pic de 8.5% dans les deux groupes. Cependant, contrairement à Iellamo et al. (2012) qui avait une progression par EC particulièrement élevée, celle de Roditis et al. (2007) se situe proche de la moyenne des progressions par EC, qui est de 11% dans notre travail.

¹¹ L'illustration de ce cas est visible dans la figure 4.

La différence moyenne de $-0.10 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ $[-3.60, 3.40]$ ¹² de cette étude pourrait dès lors s'expliquer par une moindre progression du groupe IT. Roditis et al. (2007) et Dimopoulos et al. (2006) ayant d'ailleurs les plus faibles progressions par IT.

Dans une revue systématique de Smart et Marwick (2004) incluant 40 études sur le réentraînement des patients IC, la progression moyenne de la $\text{VO}_2 \text{ pic}$ par EC était de 17% ; cette moyenne n'étant que de 11% dans notre travail, ceci laisserait à penser que l'avantage global de l'IT¹³ pourrait être surévalué dans notre travail.

Deux autres cas présentent des valeurs hors normes. Il s'agit premièrement de Fu et al. (2011) qui met en lumière une progression de pic de VO_2 inférieure à 1% par EC. Mise en perspective avec la population et les différents paramètres d'intervention, cette valeur ne s'explique pas selon nous. Les auteurs tentent de justifier cela par un volume total d'exercice trop bas. Cette explication nous paraît peu plausible étant donné que les deux interventions devraient être isocaloriques.

Le deuxième cas est celui de Wisloff et al. (2007) avec la progression en faveur de l'IT la plus élevée de nos études (46.2%). Les auteurs suggèrent qu'elle pourrait s'expliquer par les caractéristiques initiales de leur population : âge avancé (environ 75 ans), FE et $\text{VO}_2 \text{ pic}$ basses (environ 30% et $13 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$). Ceci nous amènerait à penser qu'un état initial diminué pourrait induire une meilleure progression.

Cette étude ne portant que sur un petit nombre de sujets ($n=27$), une étude à plus grande échelle portant sur 200 patients et utilisant les mêmes paramètres que celle de Wisloff est en cours, afin de confirmer ces résultats encourageants (Støylen et al., 2011). La publication de cette étude est attendue pour août 2013.

6.2.2 Comparer les différents interval training

Bien que l'IT dans le domaine cardiaque soit le sujet de plusieurs publications récentes, rares sont celles qui détaillent les modalités à appliquer pour obtenir un bénéfice optimal.

Suite aux résultats énoncés ci-dessus, nous constatons que les deux meilleures progressions ont été enregistrées avec un entraînement sur tapis roulant. Comme nous l'avons mentionné dans le cadre théorique, la $\text{VO}_2 \text{ pic}$ mesurée sur cet appareil est plus élevée que celle sur cyclo-ergomètre, consécutivement à une sollicitation d'un plus grand nombre de groupes musculaires. En suivant cette logique, nous pourrions

¹² Ce résultat est négatif car il est légèrement en faveur de l'EC. Il a été calculé à partir des valeurs absolues de progression de $\text{VO}_2 \text{ pic}$, visible dans la figure 4.

¹³ Illustrée par la différence moyenne pondérée (cf. figure 4)

imaginer que le travail sur tapis roulant induit une meilleure progression, grâce à une sollicitation plus complète de l'organisme. Cette hypothèse est en accord avec le fait que l'amélioration de la capacité fonctionnelle chez le patient IC est principalement due à des adaptations des mécanismes périphériques (Iellamo et al., 2012, p. 4). Il n'y a cependant à notre connaissance dans la littérature, aucune mention d'une meilleure progression sur tapis que sur vélo.

De plus, la progression de VO_2 pic semble être en relation, d'une part, avec le repos actif versus passif et, d'autre part, avec le temps de travail et de repos.

Comme le montre la figure 5, les trois articles comportant un repos actif (en rouge) présentent les meilleures progressions. Ces résultats sont en accord avec la littérature, qui préconise ce type de repos pour favoriser l'élimination du lactate et maintenir un pourcentage élevé de VO_2 pic durant l'intervention (V. Billat, 2001, p. 23). En outre, la combinaison d'un repos actif et d'un temps de travail/repos supérieur à la minute (100%/50% de PWR) favorise le temps total passé à un haut pourcentage de VO_2 pic (Meyer et al., 2012). Selon ces auteurs, l'allongement de ce temps induit une augmentation plus marquée de la stimulation cardiovasculaire et des adaptations musculaires. Ces modalités sont proches de celles utilisées dans nos trois articles présentant les meilleures progressions.

Ils relèvent toutefois également que les interventions comportant un temps de travail/repos de 30/30 secondes à une intensité de 100% de PWR et un repos passif sont mieux tolérées par les patients. Un compromis intéressant serait de débiter avec des modalités confortables pour le patient et de tendre progressivement vers des modalités plus optimales pour la progression de VO_2 pic (cf. 6.5 Recommandations pour la pratique).

Concernant l'intensité de travail de nos études et comme déjà mentionné précédemment, celles-ci ne sont pas exprimées dans la même unité, ce qui rend leur comparaison difficile. Le seul point commun que nous avons pu mettre en évidence dans nos études est que les intensités de travail se situent toutes au-dessus du SV2, excepté l'étude de Smart et Steele (2012) avec une intensité de 70% de VO_2 pic. En effet, ces auteurs utilisent la même intensité pour l'EC et pour l'IT ; celle-ci ne peut donc se situer au-dessus de SV2.

De plus, il est important de noter que les progressions de VO_2 pic observées dans nos études ne sont ni corrélées avec le temps total d'intervention (cf. annexe 12, p. XXIII), ni avec le temps total passé à une intensité au-dessus de SV2 (cf. annexe 13, p. XXIV).

6.3 Biais et limites des études

Nous allons ici aborder certains biais que nous avons identifiés durant la réalisation de ce travail, qui sont susceptibles d'influencer les résultats. Ceux-ci ont été séparés en deux catégories : une première concernant les limites au sein d'une même étude et une seconde liée à la comparaison des études entre elles.

6.3.1 Intra-études

- Population :

- Comme mentionné dans le chapitre 5.3.1, toutes nos études comportent un petit nombre de patients, soit au maximum 15 par groupe. Cette limite est relevée par tous les auteurs sans exception et restreint la portée des résultats. L'étude en cours de Støylen sur 200 patients est de nature à combler cette faille.

- Nos études comprennent en moyenne 86% d'hommes, et n'autorisent, dès lors, pas une généralisation de nos résultats. Soulignons que les articles de Dimopoulos et al. (2006) et Smart et Steele (2012) ne présentent eux aucune femme dans leurs groupes EC.

- Chez Smart et Steele (2012), le groupe IT est en moyenne 4 ans plus jeune que le groupe EC. Cette différence peut potentiellement fausser les résultats. Selon les auteurs, un âge inférieur influencerait favorablement la progression de VO₂ pic. Cette hypothèse va partiellement à l'encontre de Wisloff et al., (2007), qui prédit une meilleure progression à une population âgée et déconditionnée.

- Drop-outs :

Tous les auteurs, excepté Fu et al. (2011), justifient leurs drop-outs. Les causes d'abandon doivent impérativement être connues, afin d'identifier un potentiel effet délétère de l'intervention.

- Aveuglement :

L'évaluation de la VO₂ pic n'a pas toujours été faite par un examinateur « aveugle », ce qui peut influencer subjectivement le résultat. De plus, grâce à l'aveuglement de ce dernier, les études amélioreraient leur score de qualité sur l'échelle Pedro.

- Charge de travail totale :

Chaque étude intègre dans ses composantes une charge d'entraînement égale entre les deux groupes, afin d'éviter un biais lié à un entraînement supérieur de l'un de ceux-ci. Cependant les méthodes utilisées diffèrent d'une étude à l'autre, de sorte qu'il nous est difficile de savoir dans quelle mesure cette équité est respectée au sein de chaque étude.

- Evaluation de la VO₂ pic :

Comme mentionné dans notre cadre théorique, il existerait selon Ellestad et Myrvin (2003) une grande variabilité de la VO₂ pic en test-retest chez certains patients IC. Nos articles ne faisant que deux mesures, une pré- et une post-intervention, cette variabilité pourrait fortement influencer nos valeurs initiales et finales de VO₂ pic et, de ce fait, la progression.

- Follow-up:

La totalité de nos études se contentent de mesurer le pic de consommation d'oxygène avant et après intervention, mais aucune n'a de suivi sur le plus long terme. En conséquence, aucun pronostic ne peut être tiré sur le maintien à long terme des acquis.

- Adhérence post-réentraînement :

Aucune de nos études n'a évalué la poursuite d'une activité physique post-prise en charge. Piepoli et al. (2011) mentionnent que trois mois après la prise en charge par EC, seuls 29%-42% des sujets pratiquent encore de l'exercice. Il serait intéressant de voir si ce pourcentage est différent pour un réentraînement par IT.

6.3.2 Inter-études

Une des grandes difficultés de ce travail est la comparaison des multiples paramètres de chacune de nos RCTs, tant au niveau de la population, des outcomes que des interventions.

- Population :

Comme indiqué dans nos résultats, les populations étudiées sont globalement homogènes ; cependant il est extrêmement difficile d'estimer à quel point les différences d'âge, du ratio homme/femme, de la fraction d'éjection et de la VO₂ pic initiale ont un impact sur la progression du pic de VO₂. Par ailleurs, bien que toutes les

études regroupent des patients IC de classe I, II et III de la NYHA, les critères d'inclusions et d'exclusions varient d'un article à l'autre.

- Poids des études :

Pour notre première problématique, le nombre de participants et la déviation standard ont pu être intégrés dans nos résultats par le biais de notre forest plot (figure 4). Dans la deuxième, notre interprétation des résultats se fonde uniquement sur l'analyse des paramètres de l'IT, la pondération selon le poids de chaque étude n'ayant pas pu être intégrée.

- Test de VO₂ pic :

Le protocole et les outils de mesure utilisés ont un impact direct sur la valeur du pic de consommation d'oxygène (mL kg⁻¹ min⁻¹). Dans nos études, les protocoles d'incrémentations utilisés, les critères de fin de test, le matériel employé (tapis roulant, cyclo-ergomètre et analyseur des gaz respiratoires), la détermination de VO₂ pic (moyenne, sommet de la courbe, plateau) et les conditions de test (lieu, heure, alimentation, encouragements) varient considérablement.

Cependant, dans la mesure où nos résultats portent sur une progression de VO₂ pic et non sur la valeur absolue de celle-ci, les biais découlant de ces différences sont limités, ceci pour autant que le test initial et le test final soient effectués de manière identique.

- Intensité :

Comme nous l'avons vu précédemment dans le chapitre des résultats, il existe une multitude d'intensités possibles pour l'IT, de même qu'il existe des différences dans les méthodes utilisées pour prescrire et contrôler ces intensités de travail. Toutes ces méthodes prescrivent un pourcentage de travail à la suite d'un test initial de VO₂ pic ; ce pourcentage pouvant être en fonction du PWR, de la FC pic ou de la FCR dont le 100% équivaut pour tous au 100% de VO₂ pic.

Si les 100% correspondent tous entre eux, les pourcentages en revanche ne sont pas toujours équivalents¹⁴. De ce fait, il est difficile de comparer les interventions de nos RCTs en fonction de leur intensité.

¹⁴ Exemple : 75% FC pic ≠ 75% FCR ≠ 75% PWR

Selon Meyer et al. (2013), la prescription d'exercice en fonction de la FC chez le patient IC ne serait pas fiable et il serait préférable d'employer une charge de travail (en watts ou en vitesse) correspondant à un pourcentage de VO_2 pic.

- Charge de travail totale :

Nous avons vu ci-dessus (6.2.1) que les auteurs cherchaient à avoir une charge de travail totale équivalente entre les groupes EC et IT ; de même il serait idéal de bénéficier de cette équivalence entre les différents IT de nos études. Cependant, au vu des temps totaux d'intervention variables et des différentes intensités (voir point précédent), il est impossible de calculer la charge de travail totale ; ceci constitue, dès lors, un biais potentiel.

- Similitudes entre articles :

Les articles de Dimopoulos et al. (2006) et Roditis et al. (2007) présentent beaucoup de similitudes en termes de population, d'interventions, de progression de VO_2 pic, de drop-outs, de lieu et d'année de l'étude et pour terminer des auteurs. Il semblerait que ces deux articles soient issus d'une seule et même expérience, mais rédigés avec des buts différents. Si tel devait être le cas, le poids que nous accordons à chacune de ces études serait excessif. (cf. figure 4). **6.4 Limites de notre revue**

Cette revue de la littérature dans le cadre de notre travail de bachelor est pour nous une première. Il a fallu apprendre et adapter notre méthode de recherche sur les différentes bases de données, systématiser nos évaluations d'articles et mettre à l'épreuve nos notions de statistiques. Ceci a pu mener à certaines imprécisions et/ou oublis éventuels notamment dans l'évaluation de la qualité de nos articles ou des statistiques.

Attendu que nous n'avons pas d'expérience dans le réentraînement à l'effort des patients IC, ce travail, bien qu'en lien avec la pratique, aborde cette problématique sous un angle théorique. Aussi, il se peut que nous ayons omis certaines réalités pratiques rencontrées sur le terrain.

D'autre part, plusieurs notions de physiologie présentes dans la littérature consultée dépassaient nos connaissances. Notre compréhension limitée de certains de ces paramètres a pu être un biais dans l'élaboration de ce travail.

Finalement, nous aimerions encore une fois souligner que nous abordons dans ce travail uniquement la composante d'endurance du réentraînement à l'effort, ce qui ne

représente qu'une partie de la prise en charge du patient IC (cf. 2.1.4 La réadaptation de l'IC).

6.5 Pistes futures

Le réentraînement à l'effort du patient IC a été le sujet de plusieurs études récentes. Cependant, bien qu'elles intègrent toutes la notion de progression de VO_2 pic, elles n'ont que peu de paramètres en commun et il est difficile de les mettre en parallèle pour les comparer.

Au vu de la littérature actuelle et des conclusions de notre travail, il semble établi que l'IT améliore davantage la VO_2 pic que l'EC. Ainsi, les recherches futures devraient s'appliquer à définir les modalités engendrant la meilleure progression du pic de VO_2 .

Pour commencer, il faudrait obtenir un consensus sur le test de VO_2 pic avec un protocole spécifique pour patient IC qui soit reconnu comme standard, de manière à disposer d'un référentiel commun et comparable pour les études futures.

Ensuite, il serait judicieux d'inclure plusieurs groupes IT quasi-identiques dans la même étude et de ne modifier qu'un seul paramètre d'intervention à la fois¹⁵, ceci avec l'objectif d'étudier l'influence de chacun de ceux-ci séparément pour finalement les optimiser.

Afin de pouvoir mieux apprécier l'évolution de VO_2 pic et d'assurer un meilleur suivi sur le long terme, il serait préférable d'effectuer des tests d'efforts non seulement avant et après intervention, mais également pendant et plusieurs mois après celle-ci.

Enfin, s'agissant de la prescription des intensités de travail, il serait souhaitable, comme le préconise Meyer et al. (2013), d'utiliser une charge de travail correspondant à un pourcentage de VO_2 pic, plutôt qu'une mesure de la FC.

6.6 Recommandations pour la pratique

Bien que le test d'effort initial avec mesure des échanges gazeux soit reconnu comme le « gold standard », sa réalisation n'est pas encore systématique lors de la prise en charge des patients IC. Ceci nous semblerait être le premier prérequis avant d'entamer un programme de réhabilitation à l'effort, de manière à obtenir une valeur initiale, déterminer les intensités de travail et mesurer une progression. Cette rigueur permettrait d'individualiser et d'optimiser la prise en charge, de stimuler le patient par un feed-back et de justifier de manière objective la validité et l'efficacité de ce traitement.

¹⁵ Meyer et al. (2012) a déjà proposé ce type d'intervention, mais en observant uniquement la réponse aigüe à l'IT.

Suite aux résultats de notre travail, les paramètres observés qui induisent la meilleure progression de VO₂ pic sur 12 semaines, avec des séances trihebdomadaires de 30 à 40 minutes, sont les suivants :

- **un travail sur tapis plutôt que sur vélo**
- **des périodes de repos actives plutôt que passives**
- **une alternance de temps de travail et de repos supérieure ou égale à une minute**
- **une intensité de travail située entre SV2 et VO₂ pic (≈ 70%-100%) et une intensité de repos inférieure au SV2 (≈40%-60%)**

Ces résultats sont similaires à ceux exprimés par Arena et al. (2012).

Meyer et al. (2012) mentionnent cependant dans leur étude portant sur la réponse aigüe à l'interval training, qu'une séance réalisée par alternance de 30 secondes de travail et 30 secondes de repos passif serait mieux tolérée¹⁶ que les modalités précédemment citées.

Au vu de ces deux tendances antagonistes et comme dit par ailleurs, un compromis intéressant consisterait à débiter le réentraînement à l'effort par un IT confortable pour le patient (30/30 secondes avec repos passif) et transiter progressivement vers un IT plus éprouvant (3/3 minutes avec repos actif), mais également plus efficace pour la progression de VO₂ pic. Dans la mesure du possible et en fonction de l'envie du patient, il faudrait privilégier le travail sur tapis.

Si le gain de VO₂ pic est l'objectif à moyen terme, le maintien de cette valeur et de la qualité de vie associée représente le but à long terme, l'idéal étant qu'une fois la prise en charge achevée, le patient intègre une pratique régulière et autonome d'une activité physique lui permettant de maintenir ses acquis.

En complément à ce principe, selon Meyer et al. (2012), il serait également important d'intégrer les préférences personnelles et les objectifs de chaque patient à la prise en charge, quitte à en diminuer l'efficacité, l'adhésion au traitement étant le gage de la réussite d'un réentraînement. Dans ce contexte et malgré les avantages en faveur de l'IT relevés dans ce travail, il est important de souligner que la recherche sur ce sujet ne fait que débiter et que l'EC reste l'intervention de référence (Arena et al., 2012). En conséquence, l'IT ne remplace pas l'EC, mais il est un complément ou une alternative à celui-ci. En fonction de chaque patient, il appartient au thérapeute de prescrire un réentraînement idoine.

¹⁶ La tolérance a été évaluée dans cet article par l'échelle de Borg.

7. CONCLUSION

Les objectifs de notre travail étaient, premièrement, de confirmer les avantages de l'interval training (IT) par rapport à l'entraînement continu (EC) pour la rééducation à l'effort du patient insuffisant cardiaque (IC) et, deuxièmement, de comparer différentes modalités d'IT et leurs effets.

Les résultats que nous avons obtenus sont en accord avec ceux de la littérature actuelle et nous permettent de confirmer l'avantage de l'IT par rapport à l'EC en ce qui concerne la progression de la VO_2 pic. Toutefois, attendu que ces résultats ne proviennent que d'études comprenant de petites populations, des investigations à plus grande échelle doivent être effectuées afin d'asseoir cet avantage. Une étude européenne de grande ampleur (Støylen et al., 2011) est actuellement en cours et vise à combler cette lacune. Cependant, il est important de relever que ces résultats ne dénigrent pas les bénéfices de l'entraînement continu qui ont déjà été validés à plusieurs reprises dans la littérature et dans la pratique. L'IT et l'EC devraient par conséquent être envisagés comme complémentaires dans le réentraînement à l'effort du patient IC.

S'agissant du deuxième objectif, il semblerait qu'un IT sur tapis, alternant des périodes de travail supérieures à la minute à une intensité supérieure à SV_2 avec un repos actif de même durée, induise la plus grande amélioration du pic de VO_2 .

A l'heure actuelle, aucune étude n'a été réalisée pour objectiver la progression de VO_2 pic d'un protocole d'IT par rapport à un autre. Nos résultats sont donc le fruit de la comparaison de différents protocoles d'IT issus d'articles différents, comparant l'IT à l'EC.

Des études comparant l'effet de différents IT sur plusieurs semaines sont nécessaires pour confirmer les tendances que nous avons identifiées et ainsi affiner notre prise en charge des patients IC.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Acevedo, E. O., & Starks, M. A. (2011). *Exercise testing and prescription lab manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Billat, V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *31*(1), 13-31.
- Billat, V. (2003). *Physiologie et méthodologie de l'entraînement : de la théorie à la pratique*. Bruxelles: De Boeck.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine and science in sports and exercise*, *30*(2), 252-258.
- Carvalho, V. O., & Mezzani, A. (2011). Aerobic exercise training intensity in patients with chronic heart failure: principles of assessment and prescription. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, *18*(1), 5-14. doi:10.1097/HJR.0b013e32833a9c63
- Cornish, A. K., Broadbent, S., & Cheema, B. S. (2010). Interval training for patients with coronary artery disease: a systematic review. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(4), 579-589. doi:10.1007/s00421-010-1682-5
- Cowie, M. R., Mosterd, A., Wood, D. A., Deckers, J. W., Poole-Wilson, P. A., Sutton, G. C., & Grobbee, D. E. (1997). The epidemiology of heart failure. *European heart journal*, *18*(2), 208-225.
- Dickstein, K., Cohen-Solal, A., Filippatos, G., McMurray, J. J. V., Ponikowski, P., Poole-Wilson, P. A., Swedberg, K. (2008). ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *European journal of heart failure*, *10*(10),

933-989. doi:10.1016/j.ejheart.2008.08.005

- Dimopoulos, S., Anastasiou-Nana, M., Sakellariou, D., Drakos, S., Kapsimalakou, S., Maroulidis, G., Nanas, S. (2006). Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 13(1), 67-73.
- Ehrman, J. (2009). *Clinical exercise physiology*. Champaign, Ill. [u.a.]: Human Kinetics.
- Ellestad, M. H. (2003). *Stress testing : principles and practice*. Oxford; New York: Oxford University Press.
- Fischbach, M., & Beaune, J. (2010). *Précis de réadaptation cardiaque*. Paris: Frison-Roche.
- Frownfelter, D. L., & Dean, E. (2006). *Cardiovascular and pulmonary physical therapy : evidence and practice*. St. Louis, Mo.: Mosby/Elsevier.
- Fu, T.-C., Wang, C.-H., Lin, P.-S., Hsu, C.-C., Cherng, W.-J., Huang, S.-C., Wang, J.-S. (2011). Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2011.11.086
- Guiraud, T., Juneau, M., Nigam, A., Gayda, M., Meyer, P., Mekary, S., Bosquet, L. (2009). Optimization of high intensity interval exercise in coronary heart disease. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 733-740. doi:10.1007/s00421-009-1287-z
- Haykowsky, M. J., Timmons, M. P., Kruger, C., McNeely, M., Taylor, D. A., & Clark, A. M. (2013). Meta-Analysis of Aerobic Interval Training on Exercise Capacity and Systolic Function in Patients With Heart Failure and Reduced Ejection Fractions. *The American journal of cardiology*. doi:10.1016/j.amjcard.2013.01.303
- Heart Failure Society of America. (2010). Executive Summary: HFSA 2010

Comprehensive Heart Failure Practice Guideline. *Journal of Cardiac Failure*, 16(6), 475-539. doi:10.1016/j.cardfail.2010.04.005

Hwang, C.-L., Wu, Y.-T., & Chou, C.-H. (2011). Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*, 31(6), 378-385. doi:10.1097/HCR.0b013e31822f16cb

Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Castagna, C., Massaro, M., Volterrani, M. (2012). Matched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2012.06.057

Kavanagh, T., Mertens, D. J., Hamm, L. F., Beyene, J., Kennedy, J., Corey, P., & Shephard, R. J. (2002). Prediction of long-term prognosis in 12 169 men referred for cardiac rehabilitation. *Circulation*, 106(6), 666-671.

Kayser, B. (2003). Exercise starts and ends in the brain. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 411-419. doi:10.1007/s00421-003-0902-7

Kindermann, P. D. W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25-34. doi:10.1007/BF00421101

Ko, J. K., & McKelvie, R. S. (2005). The role of exercise training for patients with heart failure. *Europa medicophysica*, 41(1), 35-47.

Kotzki, N. (2003). *Maladie coronarienne et réadaptation*. Paris: Masson.

Leca, R., & Billard, M. (2004). *L'enseignement des activités physiques, sportives et artistiques*. Paris: Ellipses.

Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy*, 83(8), 713-721.

Metra, M., Nodari, S., Raccagni, D., Garbellini, M., Boldi, E., Bontempi, L., Dei Cas,

- L. (1998). Maximal and submaximal exercise testing in heart failure. *Journal of cardiovascular pharmacology*, 32 Suppl 1, S36-45.
- Meyer, P., Normandin, E., Gayda, M., Billon, G., Guiraud, T., Bosquet, L., Nigam, A. (2012). High-intensity interval exercise in chronic heart failure: protocol optimization. *Journal of cardiac failure*, 18(2), 126-133. doi:10.1016/j.cardfail.2011.10.010
- Mosterd, A., & Hoes, A. W. (2007). Clinical epidemiology of heart failure. *Heart*, 93(9), 1137-1146. doi:10.1136/hrt.2003.025270
- Organisation mondiale de la Sante. (2011). Statistiques sanitaires mondiales 2012. Bibliothèque de l'OMS.
- Piepoli, M. F., Conraads, V., Corrà, U., Dickstein, K., Francis, D. P., Jaarsma, T., Ponikowski, P. P. (2011). Exercise training in heart failure: from theory to practice. A consensus document of the Heart Failure Association and the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European journal of heart failure*, 13(4), 347-357. doi:10.1093/eurjhf/hfr017
- Quevauvilliers, J., Fingerhut, A., & Somogyi, A. (2007). *Dictionnaire médical*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Recommendations for Exercise Training in Chronic Heart Failure Patients. (2001). *European Heart Journal*, 22(2), 125-135. doi:10.1053/euhj.2000.2440
- Roditis, P., Dimopoulos, S., Sakellariou, D., Sarafoglou, S., Kaldara, E., Venetsanakos, J., ... Nanas, S. (2007). The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 14(2), 304-311. doi:10.1097/HJR.0b013e32808621a3
- Sarullo, F. M., Fazio, G., Brusca, I., Fasullo, S., Paterna, S., Licata, P., Di Pasquale, P. (2010). Cardiopulmonary Exercise Testing in Patients with Chronic Heart Failure: Prognostic Comparison from Peak VO₂ and VE/VCO₂ Slope. *The open cardiovascular medicine journal*, 4, 127-134.

doi:10.2174/1874192401004010127

- Smart, N. A., Dieberg, G., & Giallauria, F. (2011). Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: A meta-analysis. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2011.10.075
- Smart, N. A., & Steele, M. (2011). A Comparison of 16 Weeks of Continuous vs Intermittent Exercise Training in Chronic Heart Failure Patients. *Congestive Heart Failure*. doi:10.1111/j.1751-7133.2011.00274.x
- Støylen, A., Conraads, V., Halle, M., Linke, A., Prescott, E., & Ellingsen, O. (2011). Controlled study of myocardial recovery after interval training in heart failure: SMARTEX-HF - rationale and design. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*. doi:10.1177/1741826711403252
- Tabet, J.-Y., Meurin, P., Driss, A. B., Weber, H., Renaud, N., Grosdemouge, A., Cohen-Solal, A. (2009). Benefits of exercise training in chronic heart failure. *Archives of cardiovascular diseases*, 102(10), 721-730. doi:10.1016/j.acvd.2009.05.011
- Willenheimer, R., Erhardt, L., Cline, C., Rydberg, E., & Israelsson, B. (1998). Exercise training in heart failure improves quality of life and exercise capacity. *European heart journal*, 19(5), 774-781.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., Beauthier, J.-P., & Grélot, L. (2002). *Physiologie du sport et de l'exercice : adaptations physiologiques à l'exercice physique*. Paris: De Boeck université.
- Wisloff, U., Støylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, O., Haram, P. M., Skjaerpe, T. (2007). Superior Cardiovascular Effect of Aerobic Interval Training Versus Moderate Continuous Training in Heart Failure Patients: A Randomized Study. *Circulation*, 115(24), 3086-309. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041

9. LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Organigramme de la sélection	p. 20
Figure 2 : Comparaison des interventions	p. 37
Figure 3 : Progression de la VO ₂ pic des groupes IT et EC	p. 38
Figure 4 : Progression de la VO ₂ pic, IT versus EC	p. 38
Figure 5 : Progression de la VO ₂ pic des groupes IT en fonction du temps de travail/repos et du repos passif/actif	p. 39
Tableau 1 : Echelle PEDro	p. 21
Tableau 2 : Populations et interventions	p. 23
Tableau 3 : Résultats des interventions	p. 24

10. ANNEXES

Annexe 1 : Classification NYHA

Classification NYHA	
Classe I	Patient porteur d'une cardiopathie sans limitation de l'activité physique. Une activité physique ordinaire n'entraîne aucun symptôme
Classe II	Patient dont la cardiopathie entraîne une limitation modérée de l'activité physique sans gêne au repos. L'activité quotidienne ordinaire est responsable d'une fatigue, d'une dyspnée, de palpitations ou d'un angor
Classe III	Patient dont la cardiopathie entraîne une limitation marquée de l'activité physique sans gêne au repos
Classe IV	Patient dont la cardiopathie empêche toute activité physique. Des signes d'insuffisance cardiaque ou un angor peuvent exister même au repos

Tiré de : Réseau des Insuffisants Cardiaques de l'Isère, 2005

Annexe 2 : Contre-indications au test et au réentraînement à l'effort des patients insuffisants cardiaques stables

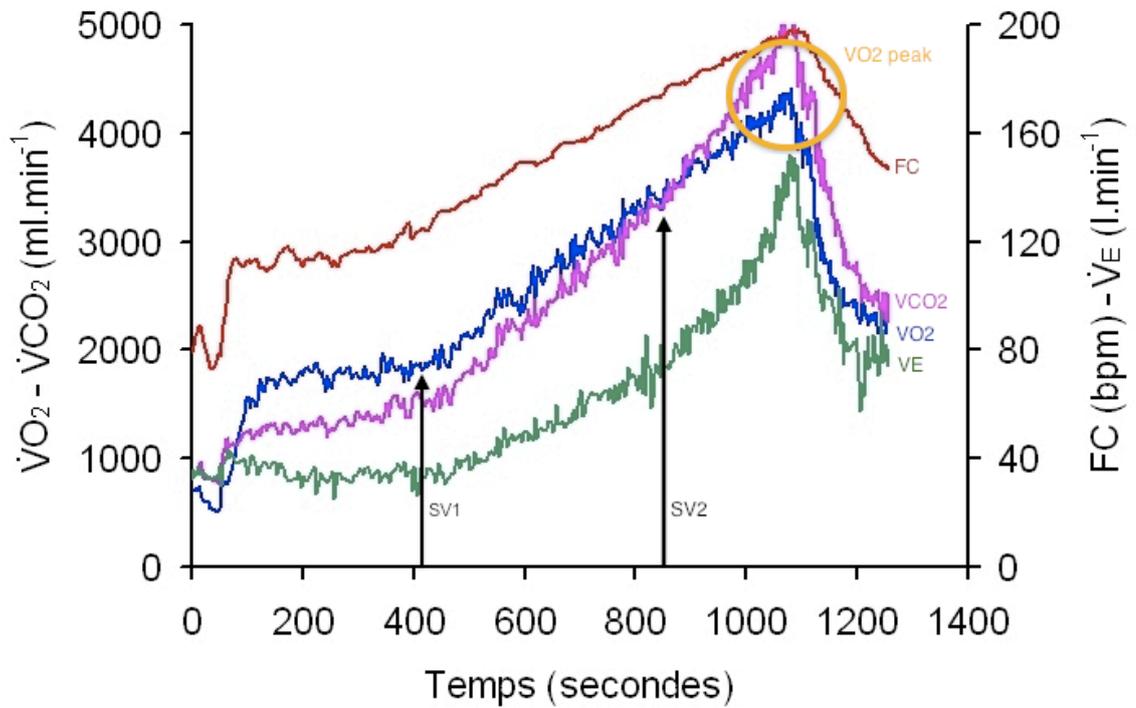
Table 1 Summary of contraindications to exercise testing and training (A), exercise training (B), and increased risk for exercise training (C)

(A) Contraindications to exercise testing and training
1. Early phase after acute coronary syndrome (up to 2 days)
2. Untreated life-threatening cardiac arrhythmias
3. Acute heart failure (during the initial period of haemodynamic instability)
4. Uncontrolled hypertension
5. Advanced atrioventricular block
6. Acute myocarditis and pericarditis
7. Symptomatic aortic stenosis
8. Severe hypertrophic obstructive cardiomyopathy
9. Acute systemic illness
10. Intracardiac thrombus
(B) Contraindications to exercise training
1. Progressive worsening of exercise tolerance or dyspnoea at rest over previous 3–5 days
2. Significant ischaemia during low-intensity exercise (< 2 METs, < 50 W)
3. Uncontrolled diabetes
4. Recent embolism
5. Thrombophlebitis
New-onset atrial fibrillation/atrial flutter
(C) Increased risk for exercise training
1. > 1.8 kg increase in body mass over the previous 1–3 days
2. Concurrent, continuous, or intermittent dobutamine therapy
3. Decrease in systolic blood pressure with exercise
4. NYHA functional class IV
5. Complex ventricular arrhythmia at rest or appearing with exertion
6. Supine resting heart rate > 100 b.p.m.
7. Pre-existing co-morbidities limiting exercise tolerance

Tiré de : Piepoli et al., 2011

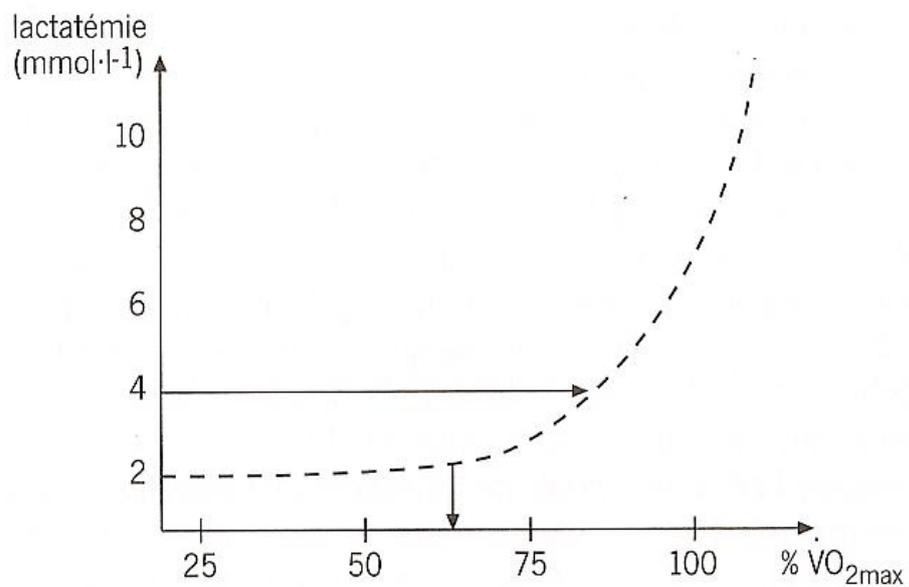
Annexe 3 : Exemple d'un test de VO₂ pic

- Evolution des gaz respiratoires et de la fréquence cardiaque lors d'un test incrémental



Tiré et adapté de : Wikipedia (Papelier), 2007 (consulté le 23.04.2012)

- Evolution de la lactatémie lors d'un test incrémental



Tiré de : Leca & Billard, 2004

Annexe 4 : Tableau des combinaisons

Medline	((("Heart Diseases"[Mesh]) AND ("Exercise"[Mesh] OR "Exercise Therapy"[Mesh] OR "Rehabilitation"[Mesh]) AND ("Interval training" OR "Intermittent exercise" OR "Interval exercise"))) OR ((("Heart Diseases" OR "Cardiopathy" OR "Coronary Artery Disease" OR "Heart failure") AND ("Interval training" OR "Intermittent exercise" OR "Interval exercise")))
Cochrane	("Heart Diseases" OR "Heart Failure") AND ("Interval training" OR "Intermittent exercise" OR "Interval exercise")
Cinahl	((MH "Heart Diseases") OR (MH "Heart Failure")) AND ((MH "Rehabilitation") OR (MH "Exercise") OR (MH "Anaerobic Exercises") OR (MH "Aerobic Exercises") OR (MH "Therapeutic Exercise")) AND ("Interval training" OR "Intermittent exercise" OR "Interval exercise")
Pedro	" Interval training ", " Intermittent exercise ", " Interval exercise "
Kinedoc	"Entraînement intermittent", " Interval training"
BDSP	"Interval training", "Intermittent exercise", "Interval exercise"

Annexe 5 : Articles retenus

- Dimopoulos, S., Anastasiou-Nana, M., Sakellariou, D., Drakos, S., Kapsimalakou, S., Maroulidis, G., ... Nanas, S. (2006). Effects of exercise rehabilitation program on heart rate recovery in patients with chronic heart failure. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 13(1), 67-73.
- Fu, T.-C., Wang, C.-H., Lin, P.-S., Hsu, C.-C., Cherng, W.-J., Huang, S.-C., ... Wang, J.-S. (2011). Aerobic interval training improves oxygen uptake efficiency by enhancing cerebral and muscular hemodynamics in patients with heart failure. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2011.11.086
- Iellamo, F., Manzi, V., Caminiti, G., Vitale, C., Castagna, C., Massaro, M., ... Volterrani, M. (2012). Matched dose interval and continuous exercise training induce similar cardiorespiratory and metabolic adaptations in patients with heart failure. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2012.06.057
- Roditis, P., Dimopoulos, S., Sakellariou, D., Sarafoglou, S., Kaldara, E., Venetsanakos, J., ... Nanas, S. (2007). The effects of exercise training on the kinetics of oxygen uptake in patients with chronic heart failure. *European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation: official journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 14(2), 304-311. doi:10.1097/HJR.0b013e32808621a3
- Smart, N. A., & Steele, M. (2011). A Comparison of 16 Weeks of Continuous vs Intermittent Exercise Training in Chronic Heart Failure Patients. *Congestive Heart Failure*. doi:10.1111/j.1751-7133.2011.00274.x
- Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognmo, O., Haram, P. M., ... Skjaerpe, T. (2007). Superior Cardiovascular Effect of Aerobic Interval Training Versus Moderate Continuous Training in Heart Failure Patients: A Randomized Study. *Circulation*, 115(24), 3086-3094. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041

Annexe 6 : Méta-analyses et revue systématique sur le sujet

Cornish, A. K., Broadbent, S., & Cheema, B. S. (2011). Interval training for patients with coronary artery disease: a systematic review. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(4), 579-589. doi:10.1007/s00421-010-1682-5

Hwang, C.-L., Wu, Y.-T., & Chou, C.-H. (2011). Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*, *31*(6), 378-385. doi:10.1097/HCR.0b013e31822f16cb

Smart, N. A., Dieberg, G., & Giallauria, F. (2011). Intermittent versus continuous exercise training in chronic heart failure: A meta-analysis. *International journal of cardiology*. doi:10.1016/j.ijcard.2011.10.075

Annexe 7 : Echelle PEDro en français

Échelle PEDro

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où:

Tiré de : www.pedro.org.au (consulté le 13.02.2013)

Annexe 8 : NHMRC Evidence Hierarchy: designations of ‘levels of evidence’ according to type of research question

Level	Intervention ¹	Diagnostic accuracy ²	Prognosis	Aetiology ³	Screening Intervention
I ⁴	A systematic review of level II studies	A systematic review of level II studies	A systematic review of level II studies	A systematic review of level II studies	A systematic review of level II studies
II	A randomised controlled trial	A study of test accuracy with: an independent, blinded comparison with a valid reference standard, ⁵ among consecutive persons with a defined clinical presentation ⁶	A prospective cohort study ⁷	A prospective cohort study	A randomised controlled trial
III-1	A pseudorandomised controlled trial (i.e. alternate allocation or some other method)	A study of test accuracy with: an independent, blinded comparison with a valid reference standard, ⁵ among non-consecutive persons with a defined clinical presentation ⁶	All or none ⁸	All or none ⁸	A pseudorandomised controlled trial (i.e. alternate allocation or some other method)
III-2	A comparative study with concurrent controls: <ul style="list-style-type: none"> Non-randomised, experimental trial⁹ Cohort study Case-control study Interrupted time series with a control group 	A comparison with reference standard that does not meet the criteria required for Level II and III-1 evidence	Analysis of prognostic factors amongst persons in a single arm of a randomised controlled trial	A retrospective cohort study	A comparative study with concurrent controls: <ul style="list-style-type: none"> Non-randomised, experimental trial Cohort study Case-control study
III-3	A comparative study without concurrent controls: <ul style="list-style-type: none"> Historical control study Two or more single arm study¹⁰ Interrupted time series without a parallel control group 	Diagnostic case-control study ⁷	A retrospective cohort study	A case-control study	A comparative study without concurrent controls: <ul style="list-style-type: none"> Historical control study Two or more single arm study
IV	Case series with either post-test or pre-test/post-test outcomes	Study of diagnostic yield (no reference standard) ¹¹	Case series, or cohort study of persons at different stages of disease	A cross-sectional study or case series	Case series

Tiré de : « NHMRC additional levels of evidence and grades for recommendations for developers of guidelines », 2009

Annexe 9 : Grille d'extraction des données

Tableau d'extraction des données	
Etude	
Date	
Auteur	
Titres	
Objectif	
Hypothèse	
Conclusion	
Méthodologie	
Design de l'étude	
Durée de l'étude	
Lieu de l'étude	
Population cible	
Outcome principal	
Outcomes secondaires	
Critères d'inclusion	
Critères d'exclusion	
Outil de mesure test VO2 peak (vélo/tapis)	
Critères de fin de test	
Description des personnes qui prennent les mesures	
Ethique	
Intervention IT	
Durée, fréquence	
Tps total (tout compris), tps d'IT (sans échauf.), tps à hte intensité	
Tps de travail / tps de repos	
Intensité de travail / intensité de repos	
Type d'appareil (vélo/tapis)	
Intervention par entraînement en continu	
Durée, fréquence	
Tps total (tout compris), tps à intensité cible	
Intensité cible	
Type d'appareil (vélo/tapis)	
Analyse des données	
Tests statistiques utilisés	

Grille d'extraction des données (suite)

Résultats			
Population avant intervention	Total	IT	Entr. Continu
Nombre			
Âge			
Genre (H/F)			
Classe NYHA (I/II/III)			
FE (%)			
FC (repos/peak/réserve)			
VE/VCO2			
VO2 peak (ml kg-1 min-1)			
Anaerobic threshold (% / ml kg-1 min-1)			
QR à VO2 peak			
Puissance de travail (W) ou Vitesse (km/h) et pente			
Dyspnée (RPE-Borg) (fin du test/à intensité cible)			
Qualité de vie			
Population après intervention			
Nombre (en excluant les drop outs)			
FE (%)			
FC (repos/peak/réserve)			
VE/VCO2			
VO2 peak (ml kg-1 min-1)			
Anaerobic threshold (% / ml kg-1 min-1)			
QR à VO2 peak			
Puissance de travail peak (W) ou Vitesse peak (km/h) et pente			
Dyspnée (RPE-Borg) (fin du test/à intensité cible)			
Qualité de vie			
Présence de tableaux			
Discussion			
Description des effets			
Limites de l'étude			
Explication des biais de l'étude			
Réflexion sur des recherches futures			
Qualité			
Score de qualité (PEDro scale, le 1er item ne compte pas)			
Commentaires personnels			

Annexe 10 : Résultats de l'évaluation de la qualité, échelle PEDro

Échelle PEDro

Évaluation de la qualité des articles sélectionnés

Études	critères d'éligibilité*	répartition aléatoire des sujets	répartition par assignation secrète	groupes similaires	sujets "en aveugle"	thérapeutes "en aveugle"	examinateurs "en aveugle"	>85% des mesures obtenues	intention de traiter	comparaisons statistiques intergroupes	estimation des effets de la variabilité	Score PEDro (0 à 10)
Dimopoulos 2006	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	5
Fu 2011	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	5
Iellamo 2012	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	6
Roditis 2007	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	6
Smart 2012	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	6
Wisloff 2007	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	5

* cet item n'est pas pris en compte dans le score

Annexe 11 : Critères de Framingham

Critères majeurs

Dyspnée paroxystique nocturne
Orthopnée
Turgescence jugulaire
Râles crépitants pulmonaires
3^e bruit
Rapport cardiothoracique > 0,5
Œdème pulmonaire à la radiographie thoracique

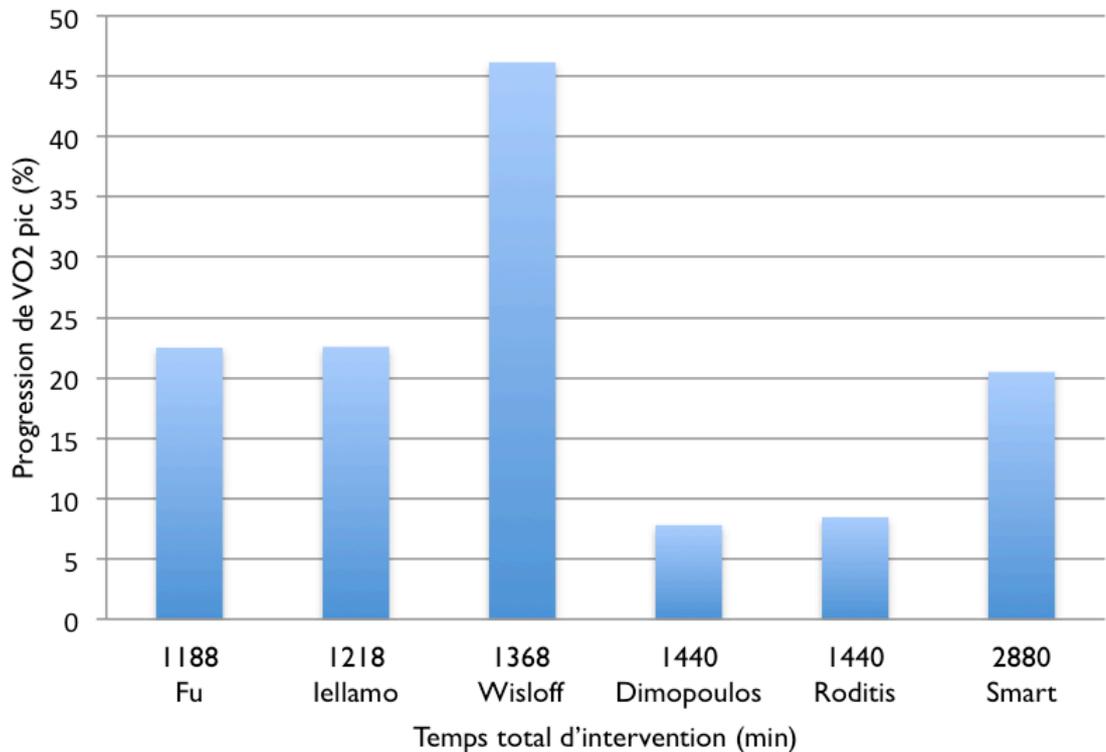
Critères mineurs

Œdème périphérique
Toux nocturne
Dyspnée à l'effort
Hépatomégalie
Épanchement pleural
Tachycardie > 120 batt/min
Perte de poids > 4,5 kg/5 j

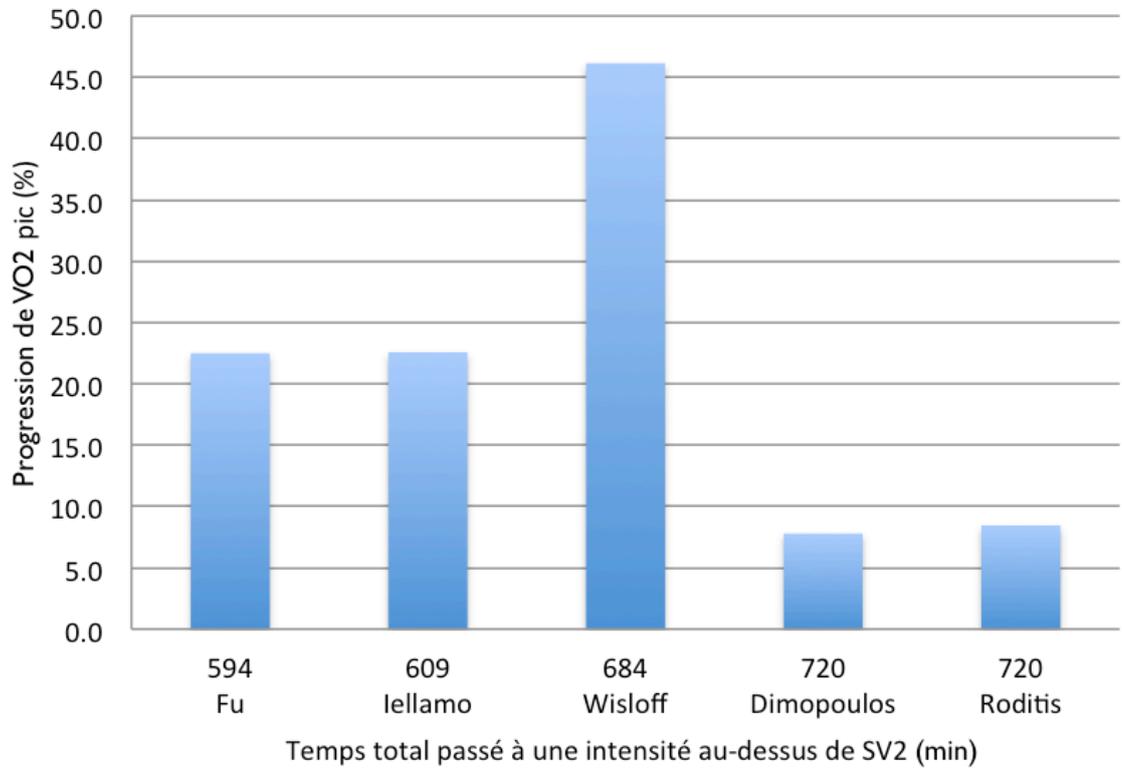
Insuffisance cardiaque si : présence de 2 critères majeurs ou de 1 critère majeur et de 2 critères mineurs.

Tiré de : www.resic38.org (consulté le 26.04.2012)

Annexe 12 : Progression de VO₂ pic en fonction du temps total d'intervention



Annexe 13 : Progression de la VO₂ pic en fonction du temps total passé à une intensité au-dessus de SV2



LEXIQUE

Abrév. utilisée	Définition	Abrév. en anglais
AVQ	activité de la vie quotidienne	ADL
CI	confidence interval, intervalle de confiance	
CO ₂	gaz carbonique	-
EC	entraînement continu	-
ECG	électrocardiogramme	-
ESC	European Society of Cardiology	-
FC	fréquence cardiaque	HR
FC pic	pic de fréquence cardiaque	HR peak
FCR	fréquence cardiaque de réserve	HRR
FE	fraction d'éjection (du ventricule gauche)	LVEF
IC	insuffisant cardiaque	CHF
ICD	insuffisant cardiaque droit	-
ICG	insuffisant cardiaque gauche	-
IT	interval training	-
MLHFQ	Minnesota Living With Heart Failure Questionnaire	-
NYHA	New York Heart Association	-
PWR	peak work rate, pic d'intensité	-
Qc	débit cardiaque	CO
QR	quotient respiratoire	RER
RCT	randomized control trial	-
SF-36	Short Form (36) Health Survey	-
SL 1, 2	seuil lactique 1, 2	LT
SV 1, 2	seuil ventilatoire 1, 2	VT
VCO ₂	production de gaz carbonique	-
VE	ventilation	-
VES	volume d'éjection systolique	-
VO ₂ pic	pic de consommation d'oxygène	VO ₂ peak