



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2026

Thèse N° 175

Épreuve cardio-respiratoire : la VO₂ max expérience du CHU Mohammed VI de Marrakech

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 20/05/2026

PAR

Mme. CHAIMAA KICH

Née le 27 Avril 2000 à Marrakech

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS :

Épreuve d'effort cardio-respiratoire – Réadaptation cardiaque – VO₂ max – Seuil ventilatoire –
pouls d'O₂

JURY

M. A. KHATOURI

Professeur de Cardiologie

PRESIDENT

M. M. EL HATTAOUI

Professeur de Cardiologie

RAPPORTEUR

Mme. S. EL KARIMI

Professeur de Cardiologie

M. A. BOUZERDA

Professeur de Cardiologie

M. H. JALAL

Professeur de Cardiologie

JUGES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ إِنِّي عِلْمٌ



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالُوا سُبْحَنَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ

الْحَكِيمُ ﴿٣٢﴾

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

(سورة البقرة)



Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.

Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.

Les médecins seront mes frères.

Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.

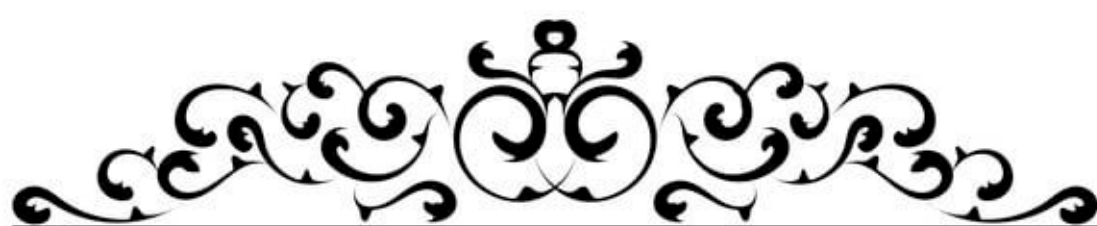
Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'userai pas de mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948





LISTE DES PROFESSEURS



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyens Honoraires

: Pr. Badie Azzaman MEHADJI

: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

: Pr. Mohammed BOUSKRAOUI

ADMINISTRATION

Doyen

: Pr. Said ZOUHAIR

Vice doyen de la Recherche et la Coopération

: Pr. Mohamed AMINE

Vice doyen des Affaires Pédagogiques

: Pr. Redouane EL FEZZAZI

Vice doyen Chargé de la Pharmacie

: Pr. Oualid ZIRAOU

Secrétaire Générale

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

LISTE NOMINATIVE DU PERSONNEL ENSEIGNANTS CHERCHEURS PERMANENT

N°	Nom et Prénom	Cadre	Spécialités
01	ZOUHAIR Said (Doyen)	P.E.S	Microbiologie
02	CHOULLI Mohamed Khaled	P.E.S	Neuro pharmacologie
03	BOUSKRAOUI Mohammed	P.E.S	Pédiatrie
04	KHATOURI Ali	P.E.S	Cardiologie
05	NIAMANE Radouane	P.E.S	Rhumatologie
06	AIT BENALI Said	P.E.S	Neurochirurgie
07	KRATI Khadija	P.E.S	Gastro-entérologie
08	SOUMMANI Abderraouf	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
09	RAJI Abdelaziz	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
10	SARF Ismail	P.E.S	Urologie
11	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	P.E.S	Ophtalmologie
12	AMAL Said	P.E.S	Dermatologie
13	ESSAADOUNI Lamiaa	P.E.S	Médecine interne
14	MANSOURI Nadia	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale

15	MOUTAJ Redouane	P.E.S	Parasitologie
----	-----------------	-------	---------------

16	AMMAR Haddou	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
17	CHAKOUR Mohammed	P.E.S	Hématologie biologique
18	EL FEZZAZI Redouane	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
19	YOUNOUS Said	P.E.S	Anesthésie-réanimation
20	BENELKHAÏAT BENOMAR Ridouan	P.E.S	Chirurgie générale
21	ASMOUKI Hamid	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
22	BOUMZEBRA Drissi	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
23	CHELLAK Saliha	P.E.S	Biochimie-chimie
24	LOUZI Abdelouahed	P.E.S	Chirurgie-générale
25	AIT-SAB Imane	P.E.S	Pédiatrie
26	GHANNANE Houssine	P.E.S	Neurochirurgie
27	OULAD SAIAD Mohamed	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
28	DAHAMI Zakaria	P.E.S	Urologie
29	EL HATTAOUI Mustapha	P.E.S	Cardiologie
30	AMINE Mohamed	P.E.S	Epidémiologie clinique
31	EL ADIB Ahmed Rhassane	P.E.S	Anesthésie-réanimation
32	ELFIKRI Abdelghani	P.E.S	Radiologie
33	ARSALANE Lamiae	P.E.S	Microbiologie-virologie
34	KAMILI El Ouafi El Aouni	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
35	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	P.E.S	Pédiatrie (Néonatalogie)
36	MATRANE Aboubakr	P.E.S	Médecine nucléaire
37	ADMOU Brahim	P.E.S	Immunologie
38	CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	P.E.S	Radiologie
39	MANOUDI Fatiha	P.E.S	Psychiatrie
40	BOURROUS Monir	P.E.S	Pédiatrie
41	TASSI Noura	P.E.S	Maladies infectieuses
42	NEJMI Hicham	P.E.S	Anesthésie-réanimation
43	LAOUAD Inass	P.E.S	Néphrologie
44	FOURAIJI Karima	P.E.S	Chirurgie
45	BOUKHIRA Abderrahman	P.E.S	Biochimie-chimie
46	KHALLOUKI Mohammed	P.E.S	Anesthésie-réanimation
47	BSISS Mohammed Aziz	P.E.S	Biophysique
48	EL OMRANI Abdelhamid	P.E.S	Radiothérapie

49	SORAA Nabila	P.E.S	Microbiologie-virologie
50	KHOUCHANI Mouna	P.E.S	Radiothérapie
51	JALAL Hicham	P.E.S	Radiologie
52	EL ANSARI Nawal	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques

53	AMRO Lamyac	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
54	OUALI IDRISSE Mariem	P.E.S	Radiologie
55	ZAHLANE Mouna	P.E.S	Médecine interne
56	BENJILALI Laila	P.E.S	Médecine interne
57	NARJIS Youssef	P.E.S	Chirurgie générale
58	RABBANI Khalid	P.E.S	Chirurgie générale
59	SAMLANI Zouhour	P.E.S	Gastro-entérologie
60	LAGHMARI Mehdi	P.E.S	Neurochirurgie
61	ABOUSSAIR Nisrine	P.E.S	Génétique
62	BENCHAMKHA Yassine	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
63	CHAFIK Rachid	P.E.S	Traumato-orthopédie
64	ABKARI Imad	P.E.S	Traumato-orthopédie
65	EL BOUIHI Mohamed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
66	LAKMICHI Mohamed Amine	P.E.S	Urologie
67	AGHOUTANE El Mouhtadi	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
68	HOCAR Ouafa	P.E.S	Dermatologie
69	EL KARIMI Saloua	P.E.S	Cardiologie
70	EL BOUCHTI Imane	P.E.S	Rhumatologie
71	QAMOUISS Youssef	P.E.S	Anesthésie réanimation
72	ZYANI Mohammad	P.E.S	Médecine interne
73	QACIF Hassan	P.E.S	Médecine interne
74	BEN DRISS Laila	P.E.S	Cardiologie
75	MOUFID Kamal	P.E.S	Urologie
76	EL BARNI Rachid	P.E.S	Chirurgie générale
77	KRIET Mohamed	P.E.S	Ophthalmologie
78	BOUCHENTOUF Rachid	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
79	ABOUCHADI Abdeljalil	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
80	BASRAOUI Dounia	P.E.S	Radiologie
81	RAIS Hanane	P.E.S	Anatomie Pathologique
82	BELKHOU Ahlam	P.E.S	Rhumatologie

83	ZAOUI Sanaa	P.E.S	Pharmacologie
84	MSOUGAR Yassine	P.E.S	Chirurgie thoracique
85	EL MGHARI TABIB Ghizlane	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
86	DRAISS Ghizlane	P.E.S	Pédiatrie
87	EL IDRISSE SLITINE Nadia	P.E.S	Pédiatrie
88	RADA Noureddine	P.E.S	Pédiatrie
89	BOURRAHOUAT Aicha	P.E.S	Pédiatrie

90	MOUAFFAK Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
91	ZIADI Amra	P.E.S	Anesthésie-réanimation
92	ANIBA Khalid	P.E.S	Neurochirurgie
93	TAZI Mohamed Illias	P.E.S	Hématologie clinique
94	ROCHDI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
95	FADILI Wafaa	P.E.S	Néphrologie
96	ADALI Imane	P.E.S	Psychiatrie
97	ZAHLANE Kawtar	P.E.S	Microbiologie- virologie
98	LOUHAB Nisrine	P.E.S	Neurologie
99	HAROU Karam	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
100	BOUKHANNI Lahcen	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
101	FAKHIR Bouchra	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
102	BENHIMA Mohamed Amine	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
103	HACHIMI Abdelhamid	P.E.S	Réanimation médicale
104	EL KHAYARI Mina	P.E.S	Réanimation médicale
105	AISSAOUI Younes	P.E.S	Anesthésie-réanimation
106	BAIZRI Hicham	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
107	ATMANE El Mehdi	P.E.S	Radiologie
108	EL AMRANI Moulay Driss	P.E.S	Anatomie
109	BELBARAKA Rhizlane	P.E.S	Oncologie médicale
110	ALJ Soumaya	P.E.S	Radiologie
111	OUBAHA Sofia	P.E.S	Physiologie
112	EL HAOUATI Rachid	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
113	BENALI Abdeslam	P.E.S	Psychiatrie
114	MLIHA TOUATI Mohammed	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
115	MARGAD Omar	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
116	KADDOURI Said	P.E.S	Médecine interne

117	ZEMRAOUI Nadir	P.E.S	Néphrologie
118	EL KHADER Ahmed	P.E.S	Chirurgie générale
119	DAROUASSI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
120	BENJELLOUN HARZIMI Amine	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
121	FAKHRI Anass	P.E.S	Histologie-embyologie cytogénétique
122	SALAMA Tarik	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
123	CHRAA Mohamed	P.E.S	Physiologie
124	ZARROUKI Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
125	AIT BATAHAR Salma	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
126	ADARMOUCH Latifa	P.E.S	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)

127	BELBACHIR Anass	P.E.S	Anatomie pathologique
128	HAZMIRI Fatima Ezzahra	P.E.S	Histologie-embyologie cytogénétique
129	EL KAMOUNI Youssef	P.E.S	Microbiologie-virologie
130	EL MEZOUARI El Mostafa	P.E.S	Parasitologie mycologie
131	SERGHINI Issam	P.E.S	Anesthésie-réanimation
132	ABIR Badreddine	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
133	GHAZI Mirieme	P.E.S	Rhumatologie
134	ZIDANE Moulay Abdelfettah	P.E.S	Chirurgie thoracique
135	LAHKIM Mohammed	P.E.S	Chirurgie générale
136	MOUHSINE Abdelilah	P.E.S	Radiologie
137	TOURABI Khalid	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
138	ARABI Hafid	P.E.S	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
139	BELHADJ Ayoub	P.E.S	Anesthésie-réanimation
140	BOUZERDA Abdelmajid	P.E.S	Cardiologie
141	ABDELFETTAH Youness	P.E.S	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle
142	REBAHI Houssam	P.E.S	Anesthésie-réanimation
143	BENNAOUI Fatiha	P.E.S	Pédiatrie
144	ZOUIZRA Zahira	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
145	SEBBANI Majda	P.E.S	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène)
146	FENANE Hicham	Pr Ag	Chirurgie thoracique
147	ABDOU Abdessamad	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
148	HAMMOUNE Nabil	P.E.S	Radiologie

149	ESSADI Ismail	P.E.S	Oncologie médicale
150	ALJALIL Abdelfattah	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
151	LAFFINTI Mahmoud Amine	P.E.S	Psychiatrie
152	RHARRASSI Issam	P.E.S	Anatomie-pathologique
153	ASSERRAJI Mohammed	P.E.S	Néphrologie
154	JANAH Hicham	P.E.S	Pneumo-phtisiologie
155	NASSIM SABAH Taoufik	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
156	ELBAZ Meriem	P.E.S	Pédiatrie
157	SEDDIKI Rachid	P.E.S	Anesthésie-réanimation
158	BELGHMAIDI Sarah	Pr Ag	Ophtalmologie
159	GEBRATI Lhoucine	MC Hab	Chimie
160	FDIL Naima	MC Hab	Chimie de coordination bio-organique
161	LOQMAN Souad	MC Hab	Microbiologie et Toxicologie
162	BAALLAL Hassan	Pr Ag	Neurochirurgie

163	BELFQUIH Hatim	Pr Ag	Neurochirurgie
164	AKKA Rachid	Pr Ag	Gastro-entérologie
165	BABA Hicham	Pr Ag	Chirurgie générale
166	MAOUJOUD Omar	Pr Ag	Néphrologie
167	SIRBOU Rachid	Pr Ag	Médecine d'urgence et de catastrophe
168	DAMI Abdallah	Pr Ag	Médecine Légale
169	AZIZ Zakaria	Pr Ag	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
170	ELOUARDI Youssef	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
171	LAHLIMI Fatima Ezzahra	Pr Ag	Hématologie clinique
172	NASSIH Houda	Pr Ag	Pédiatrie
173	LAHMINI Widad	Pr Ag	Pédiatrie
174	BENANTAR Lamia	Pr Ag	Neurochirurgie
175	EL FADLI Mohammed	Pr Ag	Oncologie médicale
176	AIT ERRAMI Adil	Pr Ag	Gastro-entérologie
177	CHETTATI Mariam	Pr Ag	Néphrologie
178	BOUTAKIOUTE Badr	Pr Ag	Radiologie
179	SAYAGH Sanae	Pr Ag	Hématologie
180	EL FAKIRI Karima	Pr Ag	Pédiatrie
181	EL FILALI Oualid	Pr Ag	Chirurgie Vasculaire périphérique
182	EL- AKHIRI Mohammed	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie

183	HAJJI Fouad	Pr Ag	Urologie
184	JALLAL Hamid	Pr Ag	Cardiologie
185	ZBITOU Mohamed Anas	Pr Ag	Cardiologie
186	RAISSI Abderrahim	Pr Ag	Hématologie clinique
187	EL HAKKOUNI Awatif	Pr Ag	Parasitologie mycologie
188	ACHKOUN Abdessalam	Pr Ag	Anatomie
189	DARFAOUI Mouna	Pr Ag	Radiothérapie
190	EL-QADIRY Rabiyy	Pr Ag	Pédiatrie
191	ELJAMILI Mohammed	Pr Ag	Cardiologie
192	HAMRI Asma	Pr Ag	Chirurgie Générale
193	ELATIQI Oumkeltoum	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
194	BENZALIM Meriam	Pr Ag	Radiologie
195	ABOULMAKARIM Siham	Pr Ag	Biochimie
196	LAMRANI HANCHI Asmae	Pr Ag	Microbiologie-virologie
197	HAJHOUI Farouk	Pr Ag	Neurochirurgie
198	EL KHASSOUI Amine	Pr Ag	Chirurgie pédiatrique
199	CHAHBI Zakaria	Pr Ag	Maladies infectieuses

200	MEFTAH Azzelarab	Pr Ag	Endocrinologie et maladies métaboliques
201	BELLASRI Salah	Pr Ag	Radiologie
202	ATMANI Noureddine	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
203	AABBASSI Bouchra	Pr Ag	Pédopsychiatrie
204	DOUIREK Fouzia	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
205	SAHRAOUI Houssam Eddine	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
206	RHEZALI Manal	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
207	ABALLA Najoua	Pr Ag	Chirurgie pédiatrique
208	MOUGUI Ahmed	Pr Ag	Rhumatologie
209	ZOUITA Btissam	Pr Ag	Radiologie
210	HAZIME Raja	Pr Ag	Immunologie
211	SALLAHI Hicham	Pr Ag	Traumatologie-orthopédie
212	BENCHAFAI Ilias	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
213	EL JADI Hamza	Pr Ag	Endocrinologie et maladies métaboliques
214	AZAMI Mohamed Amine	Pr Ag	Anatomie pathologique
215	FASSI FIHRI Mohamed jawad	Pr Ag	Chirurgie générale
216	AMINE Abdellah	Pr Ag	Cardiologie

217	CHETOUI Abdelkhalek	Pr Ag	Cardiologie
218	ROUKHSI Redouane	Pr Ag	Radiologie
219	ARROB Adil	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
220	MOULINE Souhail	Pr Ag	Microbiologie-virologie
221	AZIZI Mounia	Pr Ag	Néphrologie
222	BOUHAMIDI Ahmed	Pr Ag	Dermatologie
223	YANISSE Siham	Pr Ag	Pharmacie galénique
224	KHALLIKANE Said	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
225	ZIRAOUI Oualid	Pr Ag	Chimie thérapeutique
226	IDALENE Malika	Pr Ag	Maladies infectieuses
227	LACHHAB Zineb	Pr Ag	Pharmacognosie
228	ABOUDOURIB Maryem	Pr Ag	Dermatologie
229	AHBALA Tariq	Pr Ag	Chirurgie générale
230	EL AOUEME Amal	Pr Ag	Orthodontie et orthopédie dento-faciale
231	WARDA Karima	MCHab	Microbiologie
232	SBAI Asma	MCHab	Informatique
233	ABISSY Meriem	MC	Microbiologie
234	SLIOUI Badr	MC	Radiologie
235	CHEGGOUR Mouna	MC	Biochimie
236	BELARBI Marouane	MC	Néphrologie

237	EL AMIRI My Ahmed	MC	Chimie de Coordination bio-organique
238	LALAOUI Abdessamad	MC	Pédiatrie
239	ESSAFTI Meryem	MC	Anesthésie-réanimation
240	RACHIDI Hind	MC	Anatomie pathologique
241	FIKRI Oussama	MC	Pneumo-phtisiologie
242	EL HAMDAOUI Omar	MC	Toxicologie
243	EL HAJJAMI Ayoub	MC	Radiologie
244	BOUMEDIANE El Mehdi	MC	Traumato-orthopédie
245	RAFI Sana	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
246	JEBRANE Ilham	MC	Pharmacologie
247	LAKHDAR Youssef	MC	Oto-rhino-laryngologie
248	LGHABI Majida	MC	Médecine du Travail
249	AIT LHAJ El Houssaine	MC	Ophtalmologie
250	RAMRAOUI Mohammed-Es-said	MC	Chirurgie générale

251	EL MOUHAFID Faisal	MC	Chirurgie générale
252	AHMANN Hussein-choukri	MC	Radiologie
253	AIT M'BAREK Yassine	MC	Neurochirurgie
254	ELMASRIOUI Joumana	MC	Physiologie
255	FOURA Salma	MC	Chirurgie pédiatrique
256	LASRI Najat	MC	Hématologie clinique
257	BOUKTIB Youssef	MC	Radiologie
258	MOUROUTH Hanane	MC	Anesthésie-réanimation
259	BOUZID Fatima zahrae	MC	Génétique
260	MRHAR Soumia	MC	Pédiatrie
261	QUIDDI Wafa	MC	Hématologie
262	BEN HOUMICH Taoufik	MC	Microbiologie-virologie
263	FETOUI Imane	MC	Pédiatrie
264	FATH EL KHIR Yassine	MC	Traumato-orthopédie
265	NASSIRI Mohamed	MC	Traumato-orthopédie
266	AIT-DRISS Wiam	MC	Maladies infectieuses
267	AIT YAHYA Abdelkarim	MC	Cardiologie
268	DIANI Abdelwahed	MC	Radiologie
269	AIT BELAID Wafae	MC	Chirurgie générale
270	ZTATI Mohamed	MC	Cardiologie
271	HAMOUCHE Nabil	MC	Néphrologie
272	ELMARDOULI Mouhcine	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
273	BENNIS Lamiae	MC	Anesthésie-réanimation

274	BENDAOUD Layla	MC	Dermatologie
275	HABBAB Adil	MC	Chirurgie générale
276	CHATAR Achraf	MC	Urologie
277	OUMGHAR Nezha	MC	Biophysique
278	HOUMAIID Hanane	MC	Gynécologie-obstétrique
279	YOUSFI Jaouad	MC	Gériatrie
280	NACIR Oussama	MC	Gastro-entérologie
281	BABACHEIKH Safia	MC	Gynécologie-obstétrique
282	ABDOURAFIQ Hasna	MC	Anatomie
283	TAMOUR Hicham	MC	Anatomie
284	IRAQI HOUSSAINI Kawtar	MC	Gynécologie-obstétrique

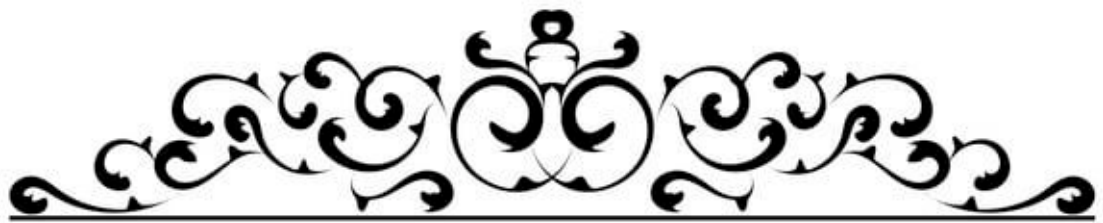
285	EL FAHIRI Fatima Zahrae	MC	Psychiatrie
286	BOUKIND Samira	MC	Anatomie
287	LOUKHNATI Mehdi	MC	Hématologie clinique
288	ZAHROU Farid	MC	Neurochirurgie
289	MAAROUFI Fathillah Elkarim	MC	Chirurgie générale
290	EL MOUSSAOUI Soufiane	MC	Pédiatrie
291	BARKICHE Samir	MC	Radiothérapie
292	ABI EL AALA Khalid	MC	Pédiatrie
293	AFANI Leila	MC	Oncologie médicale
294	EL MOULOUA Ahmed	MC	Chirurgie pédiatrique
295	LAGRINE Mariam	MC	Pédiatrie
296	DAFIR Kenza	MC	Génétique
297	CHERKAOUI RHAZOUANI Oussama	MC	Neurologie
298	ABAINOU Lahoussaine	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
299	BENCHANNA Rachid	MC	Pneumo-phthisiologie
300	EL GUAZZAR Ahmed (Militaire)	MC	Chirurgie générale
301	OULGHOUL Omar	MC	Oto-rhino-laryngologie
302	AMOCH Abdelaziz	MC	Urologie
303	ZAHLAN Safaa	MC	Neurologie
304	EL MAHFOUDI Aziz	MC	Gynécologie-obstétrique
305	CHEHBOUNI Mohamed	MC	Oto-rhino-laryngologie
306	LAIRANI Fatima ezzahra	MC	Gastro-entérologie
307	SAADI Khadija	MC	Pédiatrie
308	TITOU Hicham	MC	Dermatologie
309	EL GHOUL Naoufal	MC	Traumato-orthopédie
310	BAHI Mohammed	MC	Anesthésie-réanimation

311	RAITEB Mohammed	MC	Maladies infectieuses
312	DREF Maria	MC	Anatomie pathologique
313	ENNACIRI Zainab	MC	Psychiatrie
314	BOUSSAIDANE Mohammed	MC	Traumato-orthopédie
315	JENDOUI Omar	MC	Urologie
316	MANSOURI Maria	MC	Génétique
317	ERRIFAIY Hayate	MC	Anesthésie-réanimation
318	BOUKOUB Naila	MC	Anesthésie-réanimation

319	OUACHAOU Jamal	MC	Anesthésie-réanimation
320	EL FARGANI Rania	MC	Maladies infectieuses
321	IJIM Mohamed	MC	Pneumo-phtisiologie
322	AKANOUR Adil	MC	Psychiatrie
323	ELHANAFI Fatima Ezzohra	MC	Pédiatrie
324	MERBOUH Manal	MC	Anesthésie-réanimation
325	BOUROUMANE Mohamed Rida	MC	Anatomie
326	IJDDA Sara	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
327	GHARBI Khalid	MC	Gastro-entérologie
328	ATBIB Yassine	MC	Pharmacie clinique
329	MOURAFIQ Omar	MC	Traumato-orthopédie
330	ZAIZI Abderrahim	MC	Traumato-orthopédie
331	HENDY Iliass	MC	Cardiologie
332	HATTAB Mohamed Salah Koussay	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
333	DEBBAGH Fayrouz	MC	Microbiologie-virologie
334	OUASSIL Sara	MC	Radiologie
335	KOUYED Aicha	MC	Pédopsychiatrie
336	DRIOUICH Aicha	MC	Anesthésie-réanimation
337	TOURAIF Mariem	MC	Chirurgie pédiatrique
338	BENNAOUI Yassine	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
339	SABIR Es-said	MC	Chimie bio organique clinique
340	LAATITIOUI Sana	MC	Radiothérapie
341	IBBA Mouhsin	MC	Chirurgie thoracique
342	SAADOUNE Mohamed	MC	Radiothérapie
343	TLEMCANI Younes	MC	Ophtalmologie
344	SOLEH Abdelwahed	MC	Traumato-orthopédie
345	OUALHADJ Hamza	MC	Immunologie
346	BERGHALOUT Mohamed	MC	Psychiatrie
347	EL BARAKA Soumaya	MC	Chimie analytique-bromatologie
348	KARROUMI Saadia	MC	Psychiatrie
349	EL-OUAKHOUMI Amal	MC	Médecine interne
350	AJMANI Fatima	MC	Médecine légale
351	ZOUITEN Othmane	MC	Oncologie médicale
352	MENJEL Imane	MC	Pédiatrie
353	BOUCHKARA Wafae	MC	Gynécologie-obstétrique

354	ASSEM Oualid	MC	Pédiatrie
355	ELHANAFI Asma	MC	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
356	ABDELKHALKI Mohamed Hicham	MC	Gynécologie-obstétrique
357	ELKASSEH Mostapha	MC	Traumato-orthopédie
358	EL OUAZZANI Meryem	MC	Anatomie pathologique
359	HABBAB Mohamed	MC	Traumato-orthopédie
360	KHAMLIJ Aimad Ahmed	MC	Anesthésie-réanimation
361	EL KHADRAOUI Halima	MC	Histologie-embryologie-cyto-génétique
362	ELKHETTAB Fatimazahra	MC	Anesthésie-réanimation
363	SIDAYNE Mohammed	MC	Anesthésie-réanimation
364	ZAKARIA Yasmina	MC	Neurologie
365	BOUKAIDI Yassine	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
366	NABIL Mehdi	MC	Anesthésie-réanimation
367	KAAKOUA Mohamed	MC	Oncologie médicale
368	FIQHI Mohammed Kamal	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
369	BEN ELHEND Salah	MC	Radiologie
370	KHERRAB Anass	MC	Rhumatologie
371	AWATI El Mehdi	MC	Hématologie
372	HAOUANE Mohamed Amine	MC	Anatomie pathologique
373	BOUABBADI Salah eddine	MC	Ophtalmologie
374	MOUNIR Reda	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
375	AHCHOUCH Siham	MC	Hématologie clinique
376	AZRIOUIL Ouhb	MC	Traumato-orthopédie
377	CHALOUAH Badr	MC	Traumato-orthopédie
378	EL BEJJAJ Iatimad	MC	Anatomie pathologique
379	BABA Zineb	MC	Rhumatologie
380	OUSSAYEH Imane	MC	Anesthésie-réanimation

LISTE ARRÊTÉE LE 08/10/2025



DÉDICACES



لِلَّهِ

Au bon Dieu.

Le tout-puissant. Qui m'a inspiré. Qui m'a guidé dans le bon chemin. Je vous dois ce que je suis devenue. Soumission, louanges et remerciements pour votre clémence et miséricorde

اللَّهُمَّ

لَكَ الْحَمْدُ كُلُّهُ
وَلَكَ الشُّكْرُ كُلُّهُ

إلى أمي الحبيبة، صباح إيكو

وأنا أكتب هذه السطور، يمتلئ قلبي بالعاطفة والامتنان، وبحب لا تكفي الكلمات للتعبير عنه. اليوم أصل إلى لحظة حاسمة في حياتي، لحظة حلمت بها طويلاً وتمنيتها بشدة: نيل شهادة الدكتوراة في الطب. ولم يكن بإمكانني المضي قدماً دون أن أهديك هذا العمل، أنتِ القوة الصامتة خلف كل

خطواتي

لقد كان هذا العام ثقيلاً ومؤملاً وصعباً بالنسبة لك... لقد أرهقك المرض، واختبر صبرك، وهدد روتين حياتنا اليومي. ورؤيتك تتألمين كانت إحدى أعظم المحن في حياتي. ومع ذلك، رغم كل ما مررت به، واصلت تشجيعي ومنحي القوة حتى عندما كنت أنتِ في حاجة إليها. لقد علمتني معنى الشجاعة

الحقيقية، والإيمان، والقدرة على الصمود

أمي، إذا أصبحت اليوم طبيبة، فهذا لأنك غرزت في حب المثابرة، وقيمة العمل، ووهبتني القدرة الفريدة على الحب بلا حدود. لقد نسيت نفسك لكي أتمكن من الوجود، وحملت أحلامي كما لو كانت أحلامك. كل الليالي التي قضيتها في الدراسة، وكل العقبات التي تجاوزتها... كان وراء كل

منها وجهك، وصوتك، ودعاؤك

أدعو الله من كل قلبي أن يشفيك، ويخفف عنك الألم، ويمنحك الصحة والنور الذي تستحقينه. وألتمس رحمته ليحفظك بجانبني طويلاً، طويلاً جداً... لأن كل ما أنا عليه، فهو بفضلك أنت

إلى والدي العزيز جداً، عبد الرحمن كيش

عندما أصل إلى هذا الفصل من حياتي، فصل طالما انتظرتة وعملت من أجله بجهد، لا يسعني إلا أن

أفكر فيك، في كل ما قدمته لي منذ اليوم الأول الذي فتحت فيه عيني على هذا العالم

أبي... إذا كنت اليوم على وشك نيل شهادة الدكتوراة في الطب، فهذا نجاحك أيضاً، ثمرة

تضحياتك، وصبرك، وحبك الهادئ العميق. لقد كنت دائماً هناك، صلباً، هادئاً، مطمئناً... لقد

علمتني أن القوة الحقيقية لا تحتاج إلى صخب أو كلمات، بل تُظهر نفسها من خلال الأفعال، وقد

كنت أنت مثلاً حياً لذلك في كل مراحل حياتي

منذ طفولتي، حملت أحلامي على كتفيك، وناضلت لتمنحني كل فرص النجاح، حتى عندما لم

تكن الحياة رحيمة معك. عملت بلا كلل، وتنازلت عن الكثير لتمنحني كل شيء، ولم تشتك أبداً.

حبك لا يحتاج للكثير من الكلمات، لكنه يظهر في أفعالك، في نظراتك، وفي حضورك الذي

منحني دائماً شعوراً بالأمان لا يوصف

اليوم، وأنا أصبح طبيبة، أدرك مدى ما غرسته فيّ من قيم أساسية: الإرادة، والكرامة، والحكمة، والقوة

الداخلية. لقد نشأت وأنا أراك... أتعلم منك... وبفضلك تمكنت من الصمود في أصعب اللحظات

شكراً لك يا أبي، على كل ما قدمته في صمت. شكراً على ثقتك بي، حتى عندما كنت أفقر إليها.

شكراً على الأبواب التي فتحتها، والخواجز التي كسرتها، والطرق التي أنرتها. شكراً على هذا القلب

الكبير الذي تخفيه خلف حيائك

أدعو الله من كل قلبي أن يحفظك بصحة جيدة، وأن يمنحك عمراً طويلاً، وسلاماً، وسعادة، ونوراً.

ليشهد نجاحي مراراً وتكراراً، ولأستطيع أن أجعل فخورين، الشخصين اللذين قدما كل شيء من

أجلي: أمي وأنت

A mon très cher Ilyass Alliouï :

My purple ..En arrivant à ce moment si important de ma vie, un moment que j'ai construit avec patience, fatigue, doute mais aussi beaucoup d'espoir, je ne peux m'empêcher de penser à toi... À ta présence qui a illuminé mon chemin, à ta force qui m'a portée, à ton amour qui m'a donné du courage quand j'en manquais.

Ilyass, tu as été plus qu'un compagnon, plus qu'un soutien... tu as été mon refuge dans les jours difficiles, mon équilibre quand tout devenait lourd, et ma motivation silencieuse quand je me croyais au bout. Tu as cru en moi même dans ces moments où je n'arrivais plus à croire en moi-même. Tu m'as offert ton temps, ta patience, ta douceur, et cette manière unique que tu as de me rassurer juste par ta présence.

Chaque étape de ce parcours, tu l'as vécue à mes côtés. Tu as vu mes nuits blanches, mes stress, mes larmes, mes petites victoires et mes grandes peurs... et tu es resté, toujours avec un mot doux, un regard qui apaise, un sourire qui me rappelle pourquoi je me bats.

Et puis... il y a eu ce jour qui a changé le sens de nos vies. Le 12 mai, le jour où notre fille **Chahd** est arrivée. Un jour que je ne pourrai jamais oublier. Un jour où j'ai vu dans tes yeux un mélange de fierté, d'émotion et d'amour immense. À cet instant-là, j'ai compris que toutes les difficultés avaient un sens, que chaque sacrifice nous guidait vers ce miracle. Notre fille... notre lumière, notre plus belle réussite. Sa venue a transformé notre histoire, elle a donné une nouvelle profondeur à mes efforts et un nouveau souffle à mes rêves. Et toi, en devenant père, tu es devenu encore plus grand à mes yeux : plus doux, plus attentif, plus fort. J'ai vu naître en toi un amour sans limite, un amour qui me touche chaque jour.

Merci d'être cet homme qui marche à mes côtés avec loyauté et patience. Merci de rendre chaque jour plus doux malgré les épreuves. Merci d'être le père merveilleux de notre Chahouda. Merci pour ton amour, celui qui m'a portée jusqu'ici et qui continuera à me porter encore.

Je demande à Dieu de te garder en santé, de protéger notre famille, et de nous accorder un avenir rempli de paix, de bonheur et de rêves accomplis.

À mes chères sœurs et à mon cher frère :

À toi, **Imane**, ma grande sœur, ma seconde maman...

Merci pour ta sagesse, ta tendresse et ta force tranquille. Tu as toujours veillé sur moi comme personne, tu m'as portée dans les moments difficiles, et tu as cru en moi même quand j'étais à bout. Une grande partie de ce que je suis aujourd'hui, je te le dois.

À toi, **Oumaïma**, ma sœur, ma confidente et ma complice...

Merci d'avoir été mon soutien de chaque instant, celle avec qui je pouvais rire, pleurer, douter et rêver. Tu as été un pilier dans mon parcours, une amie précieuse que la vie m'a donnée pour embellir mes jours et adoucir mes nuits.

À toi, **Aziza**, ma petite sœur, mon âme jumelle...

Merci pour ta lumière, ta fraîcheur, ta douceur et cet amour pur que tu donnes sans calcul. Ta présence m'a souvent apaisée, tes mots m'ont souvent relevée, et ton cœur m'a toujours rappelé l'essentiel. Tu es une partie de moi.

Et à toi, **Zakaria**, mon ange, mon frère au cœur le plus pur...

Merci pour ta présence qui réchauffe, ton sourire qui apaise, ta tendresse qui nous unit tous. Tu m'as appris ce que veut vraiment dire aimer sans condition. Ton innocence, ta joie et ta lumière ont rempli notre maison et nos cœurs. Tu es une bénédiction dans nos vies.

Aujourd'hui, si j'atteins ce moment si important, ce n'est pas seulement grâce à mes efforts, mais aussi grâce à vous quatre. Merci pour votre amour, votre force et pour tout ce que vous représentez dans ma vie.

À ma chère Oumaïma Labiad, ma sœur de cœur, ma
cinquième sœur :

Je ne sais même pas par où commencer tant je ressens de gratitude pour toi. Tu n'es pas seulement mon amie, tu es devenue un membre de ma famille, une personne sur qui je peux toujours compter. Partout où je me tourne, je sais que je trouverai en toi le soutien, l'écoute et le réconfort.

Tu m'as tendu la main quand j'en avais le plus besoin, tu m'as ouvert ta maison comme si j'étais de ta propre famille, et tu m'as offert ton amour et ta chaleur sans jamais rien demander en retour. Grâce à toi, j'ai trouvé un foyer, un refuge, et un sentiment d'appartenance qui dépasse tout.

Je ne pourrai jamais oublier tout ce que tu as fait pour moi, toutes ces fois où tu as été là, silencieuse mais présente, pour me relever, me protéger et me rappeler que je ne suis jamais seule. Tu as transformé ma vie par ta générosité, ta gentillesse et ton cœur immense.

Merci pour tout, Oumaïma... pour ton amour sororal, ta patience, ton écoute et pour cette place unique que tu occupes dans ma vie. Je suis tellement chanceuse de t'avoir, et je veux que tu saches que je t'aimerai toujours comme une sœur, avec tout mon cœur.

À mes chères amies, Hajar Hebboul, Khawla Bahous, Safaa
Laasri, Hasna Yakine, Oumaima Khoutaibi, Aïssam
Kherrou et Hayat Khaouaja :

Merci d'être toujours là, de partager mes joies, mes rires et mes moments
difficiles. Votre amitié, votre soutien et votre présence rendent ma vie
plus belle chaque jour.

Chaque moment passé avec vous est un trésor, chaque sourire, chaque
conseil, chaque éclat de rire reste gravé dans mon cœur. Vous êtes plus
que des amies, vous êtes une famille choisie, des âmes qui rendent mon
quotidien lumineux.

Je suis tellement chanceuse de vous avoir à mes côtés.

À toute ma famille :

Merci d'avoir fait partie de mon parcours, chacun à sa manière. Ce
succès est aussi le vôtre, car il puise sa force dans les racines que nous
partageons. Je suis honorée de porter notre nom de famille. Je vous
souhaite à tous santé, bonheur et paix.

À toutes les personnes de cœur :

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apporté leur soutien, leurs encouragements et leur bienveillance tout au long de ce parcours, et dont les noms n'ont pu être cités ici.

À la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech

(FMPM) :

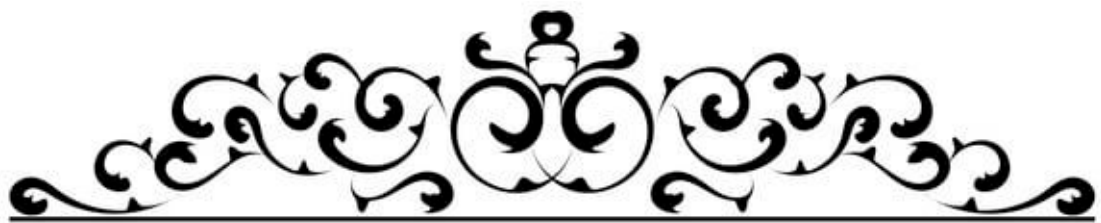
Merci d'avoir été bien plus qu'un simple lieu d'étude.

Vous avez été mon Alma mater, mon défi, et mon second foyer pendant toutes ces années.

Dans vos amphithéâtres, j'ai grandi ; dans vos couloirs, j'ai appris la patience, la passion et le sens de la responsabilité.

Chaque jour passé entre vos murs a été une étape qui m'a rapprochée du rêve que je vis aujourd'hui.

Je vous adresse ma profonde gratitude pour le savoir, l'encadrement et la lumière que vous avez semés sur mon chemin.



REMERCIEMENTS



À NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DU JURY :

PROFESSEUR KHATOURI ALI

**MÉDECIN COLONEL MAJOR, PROFESSEUR DE CARDIOLOGIE ET CHÉF DE
PÔLE MÉDICALE**

Nous sommes profondément honorés de vous compter parmi nous en tant que président du jury de cette thèse. Votre compétence professionnelle unanimement reconnue, alliée à vos remarquables qualités humaines, suscite l'admiration et le respect de tous. Vous incarnez un modèle de rigueur, d'intégrité et de dévouement dans l'exercice de la profession.

Veuillez trouver, cher Maître, à travers ce modeste travail, l'expression de notre très haute considération et de notre profond respect

À NOTRE MAÎTRE ET RAPPORTEUR DE THÈSE :

PROFESSEUR EL HATTAOUI MUSTAPHA

CHÉF DE SERVICE DE CARDIOLOGIE À L'HÔPITAL ARRAZI CHU

MOHAMMED VI :

Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre bienveillance et votre grande générosité. Merci de m'avoir offert l'opportunité d'être votre thésarde et de réaliser ce travail sous votre encadrement. Malgré vos nombreuses obligations professionnelles, vous m'avez toujours accordé un accueil attentif et un soutien constant.

Je vous suis infiniment reconnaissante, chère Maître, pour le temps précieux que vous avez consacré à ce travail, ainsi que pour vos conseils avisés, votre rigueur et votre accompagnement empreint de bienveillance. Je suis honorée et fière d'avoir bénéficié de votre enseignement, et j'espère avoir répondu à vos attentes. Veuillez trouver, cher Maître, dans ce travail, l'expression de mon estime sincère et de mon profond respect.

À NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE :

PROFESSEUR SALOUA EL KARIMI

PROFESSEUR AGRÉGÉ AU SERVICE DE CARDIOLOGIE AU CHU

MOHAMMED VI DE MARRAKECH

Je vous fais un grand honneur en acceptant de vous associer au jury de cette thèse. Votre disponibilité, votre bienveillance, votre compétence scientifique ainsi que vos grandes qualités humaines et professionnelles m'inspirent une profonde admiration et un immense respect. Veuillez accepter, chère Maître, l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

À NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE :

PROFESSEUR BOUZERDA ABDELMAJID

PROFESSEUR AGRÉGÉ AU SERVICE DE CARDIOLOGIE DE L'HÔPITAL

MILITAIRE AVICENNE DE MARRAKECH

Nous tenons à vous remercier sincèrement pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de siéger au sein du jury de cette thèse. Votre expertise scientifique, votre regard critique et la qualité de vos remarques constituent un apport précieux à ce travail. Votre engagement et votre rigueur professionnelle nous inspirent une grande estime.

Veuillez agréer, cher Maître, l'expression de notre profond respect et de notre vive reconnaissance.

À NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE :

PROFESSEUR HAMID JALAL

**PROFESSEUR AGRÉGÉ AU SERVICE DE CARDIOLOGIE DE L'HÔPITAL
MILITAIRE AVICENNE DE MARRAKECH**

Nous sommes très honorés par votre acceptation de faire partie du jury de cette thèse. Votre parcours exemplaire, ainsi que vos remarquables qualités humaines et professionnelles, font de vous une référence et un modèle pour nous. Nous vous remercions sincèrement pour l'attention et l'intérêt que vous accordez à ce travail.

Veillez agréer, cher Maître, l'expression de notre profond respect et de notre vive reconnaissance

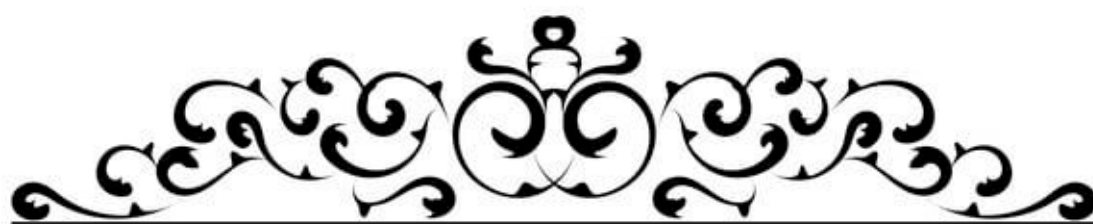
À NOTRE MAÎTRE ET CO-RAPPORTEUR DE THÈSE :

PROFESSEUR ZTATI MOHAMED

**PROFESSEUR ASSISTANT AU SERVICE DE CARDIOLOGIE AU CHU
MOHAMMED VI DE MARRAKECH**

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'enseignant qui m'a toujours soutenue avec une disponibilité et une bienveillance constante. Je vous remercie sincèrement pour votre accompagnement précieux, votre écoute attentive et votre présence chaque fois que j'ai eu besoin de vos conseils ou de votre aide. Votre soutien indéfectible, votre générosité et votre engagement ont été pour moi d'un grand réconfort et une source de motivation tout au long de ce travail.

Veillez trouver, cher Maître, à travers cette thèse, l'expression de ma reconnaissance la plus sincère, de mon estime profonde et de mon respect le plus absolu.



ABRÉVIATIONS

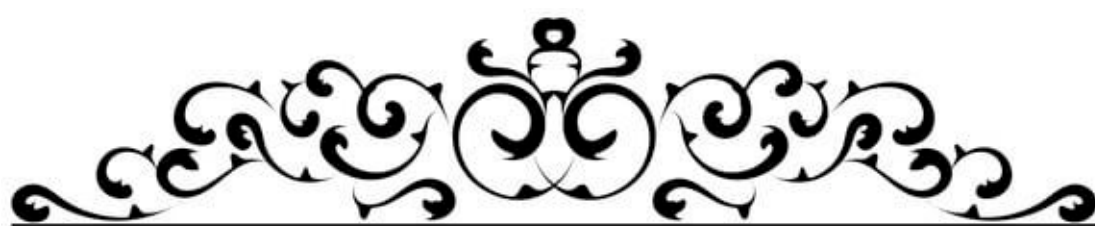


Liste des abréviations :

ATP	: Adénosine triphosphate
CHU	: Centre hospitalier universitaire
CRF	: Cardiorespiratory fitness (capacité cardiorespiratoire)
ECG	: Électrocardiogramme
EFX	: Épreuve d'effort cardio-respiratoire
ERS	: European Respiratory Society
ESTS	: European Society of Thoracic Surgeons
ETP	: Éducation thérapeutique du patient
ETT	: Échocardiographie transthoracique
FC	: Fréquence cardiaque
FDRCV	: Facteurs de risque cardiovasculaires
FEVG	: Fraction d'éjection du ventricule gauche
HTA	: Hypertension artérielle
IC	: Insuffisance cardiaque
IMC	: Indice de masse corporelle
MET	: Metabolic equivalent of task (équivalent métabolique, 1 MET $\approx$ 3,5 ml/kg/min)
NYHA	: New York Heart Association (classification fonctionnelle de la dyspnée)
OMS	: Organisation mondiale de la santé
OUES	: Oxygen Uptake Efficiency Slope (pente d'efficacité de la captation d'oxygène)
ppoVO₂ max	: Predicted postoperative VO ₂ max (VO ₂ max postopératoire prédite)
RC	: Réadaptation cardiaque
RER	: Respiratory Exchange Ratio (quotient respiratoire)
SCA	: Syndrome coronarien aigu
SRAA	: Système rénine-angiotensine-aldostérone
SV1	: Premier seuil ventilatoire

VE/VCO₂ : Pente ou ratio ventilation minute / production de CO₂

VES : Volume d'éjection systolique



FIGURES ET TABLEAUX



Liste des tableaux :

Tableau I : Répartition des patients selon les critères d'inclusion et d'exclusion

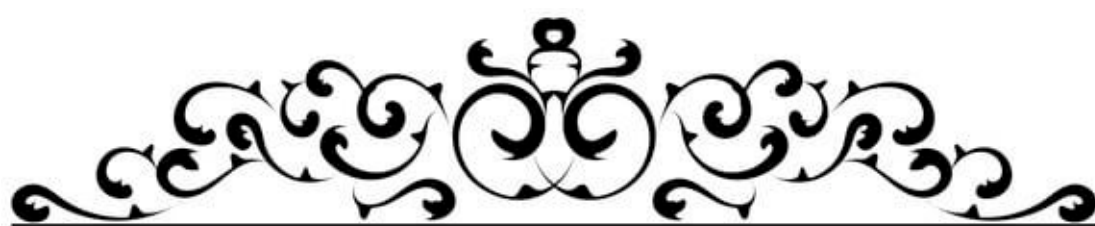
Tableau II : Répartition des patients selon la moyenne d'âge

Tableau III : Répartition des patients selon le sexe

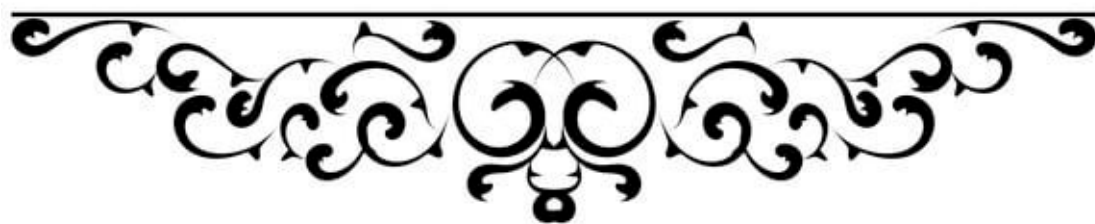
Liste des figures :

- Figure 1** : Répartition des patients selon la tranche d'âge
- Figure 2** : Répartition des patients selon le sexe
- Figure 3** : Répartition des patients selon l'IMC
- Figure 4** : Répartition des patients selon l'indication
- Figure 5** : Répartition des patients selon les FDRCV
- Figure 6** : Répartition des patients selon la dyspnée
- Figure 7** : Répartition des patients selon les stades de la NYHA
- Figure 8** : Répartition des patients selon la FEVG
- Figure 9** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la VO₂ max pré-réadaptation et la VO₂ max théorique
- Figure 10** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le SV1 pré-réadaptation
- Figure 11** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en pré-réadaptation
- Figure 12** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le pouls d'O₂
- Figure 13** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la pente VE/VCO₂
- Figure 14** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la VO₂ max pré- et post-réadaptation
- Figure 15** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le SV1 pré- et post-réadaptation
- Figure 16** : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en post-réadaptation
- Figure 17** : Courbe de VO₂ max en pré-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque
- Figure 18** : Courbe de RER en pré-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque
- Figure 19** : Courbe de VO₂ max en post-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque
- Figure 20** : Répartition des patients déconditionnés selon la VO₂ max pré-reconditionnement et la VO₂ max théorique
- Figure 21** : Répartition des patients déconditionnés selon le SV1 pré-reconditionnement

- Figure 22** : Répartition des patients déconditionnés selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en pré-reconditionnement
- Figure 23** : Répartition des patients déconditionnés selon le pouls d'O₂
- Figure 24** : Répartition des patients déconditionnés selon la pente VE/VCO₂
- Figure 25** : Répartition des patients déconditionnés selon la VO₂ max pré- et post-reconditionnement
- Figure 26** : Répartition des patients déconditionnés selon le SV1 pré- et post-reconditionnement
- Figure 27** : Répartition des patients déconditionnés selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en post-reconditionnement
- Figure 28** : Épreuve d'effort chez un patient déconditionné avant reconditionnement (VO₂ max = 18 ml/kg/min, soit 48% de la valeur théorique)
- Figure 29** : Courbe de RER en pré-reconditionnement chez un patient déconditionné
- Figure 30** : Épreuve d'effort chez le même patient après reconditionnement (VO₂ max = 30 ml/kg/min, soit 75% de la valeur théorique)
- Figure 31** : Répartition des patients ischémiques selon la VO₂ max et la VO₂ max théorique
- Figure 32** : Répartition des patients ischémiques selon le SV1
- Figure 33** : Répartition des patients ischémiques selon le pouls d'O₂
- Figure 34** : Répartition des patients ischémiques selon la pente VE/VCO₂
- Figure 35** : Répartition des patients lobectomies selon la VO₂ max
- Figure 36** : Répartition des patients lobectomies selon le SV1

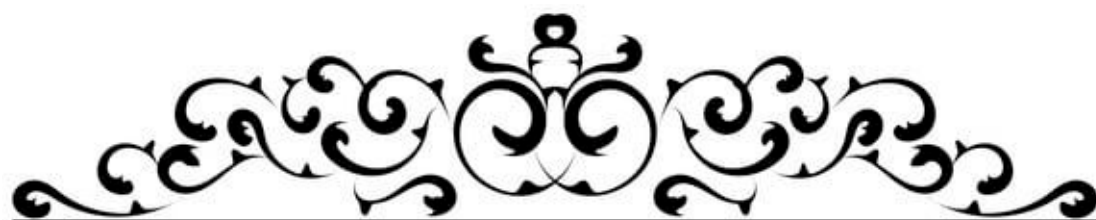


PLAN



INTRODUCTION	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
I. Type d'étude	5
II. Population étudiée	5
III. Méthodes	6
RÉSULTATS	11
I. Données épidémiologiques	12
1. L'âge	12
2. Le sexe	12
II. Données anthropométriques	13
1. Indice de masse corporelle (IMC)	13
III. Indication de l'épreuve cardio-respiratoire	14
IV. Facteurs de risque cardiovasculaires (FDRCV)	15
V. Données cliniques	16
1. Signes fonctionnels : dyspnée	16
VI. Données paracliniques	18
1. Échocardiographie transthoracique (ETT)	18
VII. Groupe insuffisance cardiaque	19
1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire (EFX) pré-réadaptation	19
2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-réadaptation	19
3. Illustration clinique du profil d'insuffisance cardiaque	26
VIII. Groupe déconditionné	28
1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire pré-reconditionnement	28
2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-reconditionnement	32
3. Illustration clinique du profil déconditionné	35
IX. Groupe ischémique	37
1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire pré-réadaptation	37
X. Groupe lobectomie	40

1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire pré-réadaptation	40
DISCUSSION	43
I. Généralités	44
1. La VO2 max	44
2. La réadaptation cardiaque	47
II. Discussion des résultats	49
1. Données épidémiologiques	49
2. Données anthropométriques	54
3. Indication de l'épreuve cardio-respiratoire	55
4. Facteurs de risque cardiovasculaires (FDRCV)	56
5. Données cliniques	60
6. Données paracliniques	61
7. Groupe insuffisance cardiaque	63
8. Groupe déconditionné	71
9. Groupe ischémique	79
10. Groupe lobectomie	82
CONCLUSION	84
RÉSUMÉ	87
ANNEXES	94
BIBLIOGRAPHIE	98



INTRODUCTION



La consommation maximale d'oxygène (VO₂ max) est définie comme la quantité maximale d'oxygène qu'un individu peut capter, transporter et utiliser au sein des tissus actifs lors d'un effort exhaustif [1]. Fondamentalement, elle représente le plafond supérieur du système de transport et d'utilisation de l'oxygène, intégrant de manière synergique les systèmes respiratoire, cardiovasculaire et musculo-métabolique [2]. Cette mesure est régie par l'équation de Fick, qui établit que la VO₂ est le produit du débit cardiaque maximal et de la différence artério-veineuse en oxygène [3]. Elle est aujourd'hui universellement reconnue comme le critère de référence pour évaluer la capacité cardiorespiratoire (CRF) et la réserve fonctionnelle du cœur [1].

Au-delà de la performance physique, la VO₂ max s'est imposée comme un véritable signe vital clinique et un puissant prédicteur de santé globale [4]. De nombreuses études épidémiologiques ont démontré une relation inverse directe entre la capacité cardiorespiratoire et le risque de mortalité toutes causes confondues, ainsi que de morbidité cardiovasculaire [3]. L'impact pronostique est tel qu'une augmentation de la capacité d'exercice, même de seulement 1 MET (environ 3,5 ml/kg/min), est associée à une amélioration de la survie de 10 à 25 % [5]. À l'inverse, une faible VO₂ max est un indicateur de risque plus puissant que des facteurs traditionnels comme le tabagisme, l'hypertension ou le diabète [5].

L'épreuve d'effort cardiorespiratoire (EFX) constitue l'outil de choix pour mesurer objectivement ce paramètre, utilisant généralement un tapis roulant ou un cyclo-ergomètre [3]. Contrairement aux tests conventionnels, l'EFX permet une analyse souffle par souffle des échanges gazeux, identifiant non seulement la VO₂ max mais aussi le seuil ventilatoire (SV1), marqueur de la capacité aérobie sous-maximale [3]. En milieu clinique, il est fréquent que les patients s'arrêtent avant d'atteindre un plateau de consommation d'oxygène en raison de symptômes ; on utilise alors le terme de VO₂ max, qui demeure un indicateur pronostique fondamental, notamment dans l'insuffisance cardiaque ou pour l'indication d'une transplantation cardiaque [3].

C'est dans ce cadre que nous avons mené une étude rétrospective descriptive portant sur les patients ayant bénéficié d'une épreuve cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max au sein du service de cardiologie.

L'objectif de ce travail est de rapporter l'expérience du service et d'analyser, sur le plan épidémiologique, les patients admis pour épreuve d'effort cardio-respiratoire (EFX). Cette étude a pour objectifs spécifiques :

- Décrire le profil épidémiologique, clinique et paraclinique des patients adressés pour EFX.
- Étudier les principaux paramètres cardio-respiratoires, notamment la VO₂ max, le SV1, le RER, le pouls d'O₂ et la pente VE/VCO₂, dans les différents groupes de patients.
- Évaluer l'impact de la réadaptation ou du reconditionnement sur la VO₂ max et sur ces paramètres associés.
- Discuter la place de l'EFX et de la VO₂ max dans la prise en charge et la stratification du risque chez nos patients.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Type d'étude :

Il s'agit d'une étude rétrospective, descriptive, réalisée au sein du service de cardiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech, portant sur 27 patients ayant bénéficié d'une épreuve cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max, sur une période de 2 ans, de mars 2024 à avril 2026.

II. Population étudiée :

Notre travail a concerné l'ensemble des patients adultes (> 18 ans) ayant effectivement bénéficié d'une épreuve d'effort cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max par analyse des échanges gazeux (ergospirométrie) au service de cardiologie.

1. Les critères d'inclusion et d'exclusion :

Tableau I : Répartition des patients selon les critères d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion	- Tous les patients hospitalisés ou suivis au service de cardiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech et ayant bénéficié d'une épreuve d'effort cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max validée sur la base des données cliniques et techniques du compte-rendu.
Les critères d'exclusion	- Patients avec des tests non maximaux (RER < 1,10 ou FC max < 85 % FC théorique). - Les patients avec des dossiers médicaux incomplets ne permettant pas une analyse fiable. - Les patients perdus de vue dès la première consultation

III. Méthodes :

1. Recueil des données :

Les informations ont été extraites des dossiers médicaux, des registres d'épreuves d'effort du service de cardiologie et des comptes rendus techniques des tests cardio-respiratoires. Les variables étudiées concernaient :

1.1. Les données épidémiologiques :

- Âge, sexe, poids (kg), taille (cm).
- FDRCV :
 - **Diabète** : trouble métabolique chronique caractérisé par une élévation persistante de la glycémie, nécessitant un traitement hygiéno-diététique et/ou médicamenteux.
 - **Hypertension artérielle (HTA)** : élévation chronique de la pression artérielle, généralement définie par des valeurs $\geq 140/90$ mmHg ou un traitement antihypertenseur en cours.
 - **Dyslipidémie** : anomalie des lipides sanguins (cholestérol et/ou triglycérides), spontanée ou traitée, favorisant l'athérosclérose.
 - **Tabac** : intoxication tabagique active ou ancienne, habituellement définie par une consommation régulière de cigarettes ou équivalent.
 - **Sexe masculin** : Appartenance au sexe masculin, considérée comme facteur de risque cardiovasculaire avant un certain âge.
 - **Obésité** : excès de masse grasse défini par un indice de masse corporelle (IMC) ≥ 30 kg/m².
 - **Ménopause** : arrêt définitif des règles, spontanée ou induite, constituant un facteur de risque cardiovasculaire chez la femme.
 - **Hérédité coronaire** : antécédents de maladie coronarienne prématurée chez un parent du premier degré (homme < 55 ans, femme < 65 ans).

→ **Sédentarité** : absence d'activité physique régulière ou niveau d'exercice insuffisant par rapport aux recommandations (activité physique faible ou inexistante au quotidien).

– Antécédents chirurgicaux.

1.2. Indication de l'épreuve :

Les patients ont été répartis en différents groupes selon l'indication de l'épreuve :

- Groupe insuffisance cardiaque.
- Groupe déconditionné.
- Groupe ischémique.
- Groupe lobectomie.

1.3. Les données cliniques :

Sur le plan fonctionnel, étaient systématiquement recherchés une dyspnée d'effort et/ou de repos, une orthopnée, une dyspnée paroxystique nocturne, des épisodes de palpitations, des douleurs thoraciques d'allure angineuse, des syncopes ou lipothymies, ainsi qu'une fatigabilité ou une intolérance à l'effort.

Sur le plan clinique, étaient systématiquement recherchés les signes d'insuffisance cardiaque et de congestion (râles crépitants pulmonaires, turgescence jugulaire, hépatomégalie, œdèmes des membres inférieurs). La fréquence cardiaque, la pression artérielle et la saturation pulsée en oxygène au repos étaient systématiquement mesurées. La présence de douleurs thoraciques, de souffle cardiaque, de cyanose ou de signes de mauvaise perfusion périphérique était également notée.

1.4. Les données paracliniques :

- Un ECG à la recherche de :
 - Troubles du rythme.
 - FC de repos.
 - Signes d'ischémie.
 - Trouble de repolarisation.
- Une radio thoracique à la recherche de : l'index cardio-thoracique et la transparence parenchymateuse.
- Une ETT précisant les données suivantes :
 - FEVG.
 - Fonction diastolique E/E'.
 - Les signes en faveur d'une hypertension pulmonaire étaient recherchés : estimation de la pression artérielle pulmonaire systolique à partir du flux de régurgitation tricuspide, dilatation des cavités droites, déplacement paradoxal du septum interventriculaire, dilatation du tronc de l'artère pulmonaire et de la veine cave inférieure, présence éventuelle d'un épanchement péricardique.
- Autre.

1.5. Les paramètres de l'épreuve d'effort cardio-respiratoire

– **Objectif de l'épreuve :**

Ces données ont été systématiquement recueillies à partir des comptes rendus techniques standardisés des épreuves d'effort, permettant une analyse homogène de la pratique locale et l'évaluation de l'impact pronostique des paramètres cardio-respiratoires mesurés.

- **Protocole :** l'épreuve a été réalisée sur un cycloergomètre selon un protocole de rampe individualisé, avec augmentation de la charge toutes les minutes.

– **Critères d'arrêt de l'épreuve :**

- Épuisement du patient.
- Douleur thoracique.
- Anomalies ECG significatives.
- Hypotension ou réponse tensionnelle anormale.
- Dyspnée sévère.

• **Les paramètres analysés comprenaient :**

Capacité fonctionnelle :

- VO₂ max : ml/kg/min (..... % de la valeur théorique)

Réponse cardiovasculaire :

- Pouls d'O₂ : ml/battement

Réponse ventilatoire :

- VE/VCO₂ slope :
- Seuil ventilatoire (SV1) :

Paramètres supplémentaires :

- RER (quotient respiratoire) :

1.6. Conclusion :

- **Capacité fonctionnelle globale :** normale / altérée.
- **Orientation :**
 - Réadaptation cardiaque.
 - Accord pour chirurgie.
 - Reconditionnement.
 - Exploration complémentaire.
 - Optimisation thérapeutique.

2. Analyses statistiques :

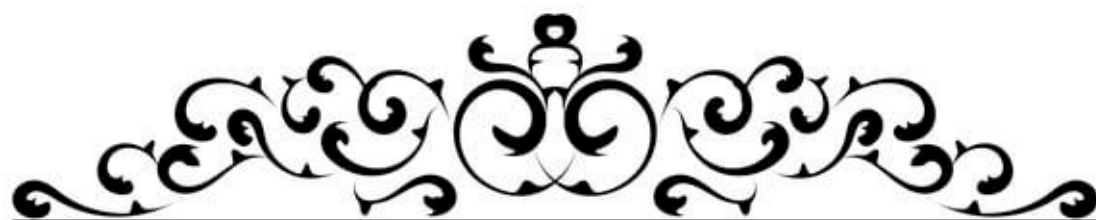
Les données ont été soumises à une analyse statistique, avec l'expression des variables quantitatives par leur moyenne, ainsi que des variables qualitatives par leurs fréquences et pourcentages. La saisie et le traitement des données ont été effectués à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2025. La saisie des textes et des tableaux a été réalisée dans le logiciel Microsoft Word 2025, permettant ainsi une analyse statistique descriptive.

3. Considérations éthiques :

Cette étude a été menée dans le respect total des principes éthiques de la recherche biomédicale conformément à la Déclaration d'Helsinki. L'anonymat et la confidentialité des données des patients ont été strictement respectés. Aucune information nominative n'a été utilisée dans l'analyse ou la présentation des résultats.

L'autorisation de réaliser l'étude a été obtenue auprès du service de cardiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech après accord du comité de recherche du service.

Étant une étude rétrospective à visée descriptive, elle n'a impliqué aucune intervention supplémentaire ni modification de la prise en charge des patients.



RÉSULTATS



I. Données épidémiologiques :

Notre série porte sur 27 patients ayant bénéficié d'une épreuve d'effort cardio-respiratoire, pris en charge sur une période de deux ans, de mars 2024 à avril 2026.

1. L'âge :

La moyenne d'âge des patients de notre étude était de 61,33 ans avec des extrêmes allant de 38 ans à 75 ans.

La tranche d'âge entre 56 et 65 ans représentait la majorité des patients de notre étude, soit 40,74 % des cas (11 patients).

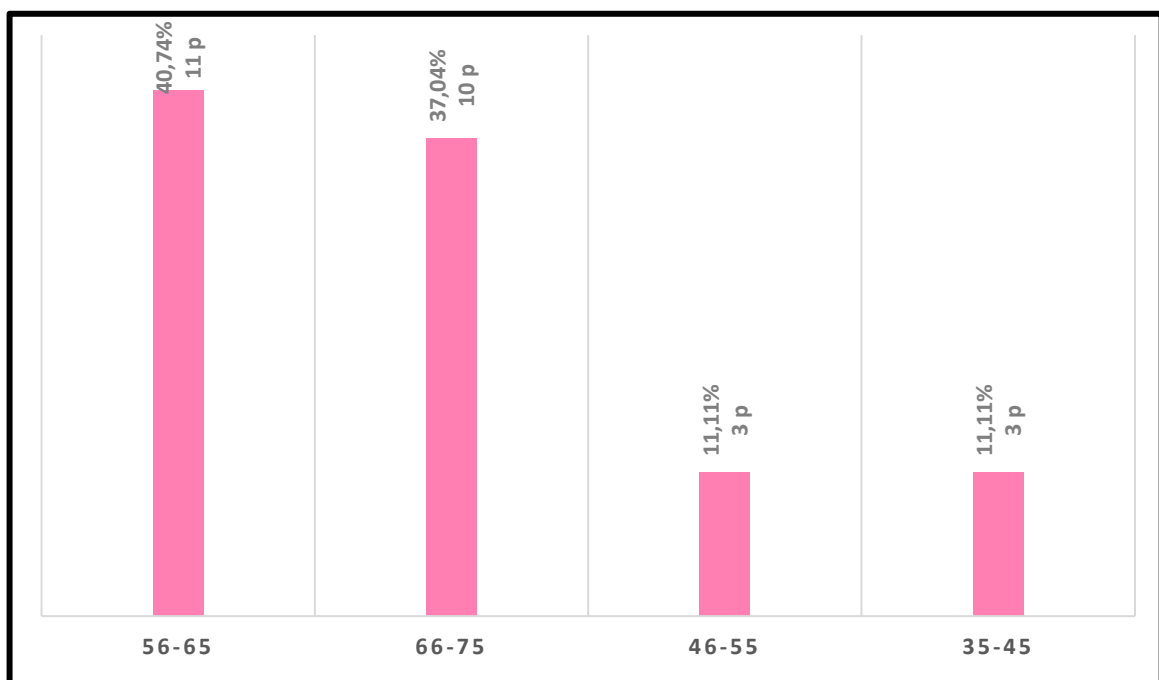


Figure 1 : Répartition des patients selon la tranche d'âge

2. Le sexe :

On note une prédominance masculine avec 16 hommes, soit 59,25 %, et 11 femmes, soit 40,74 %, et un sex-ratio H/F de 1,45.

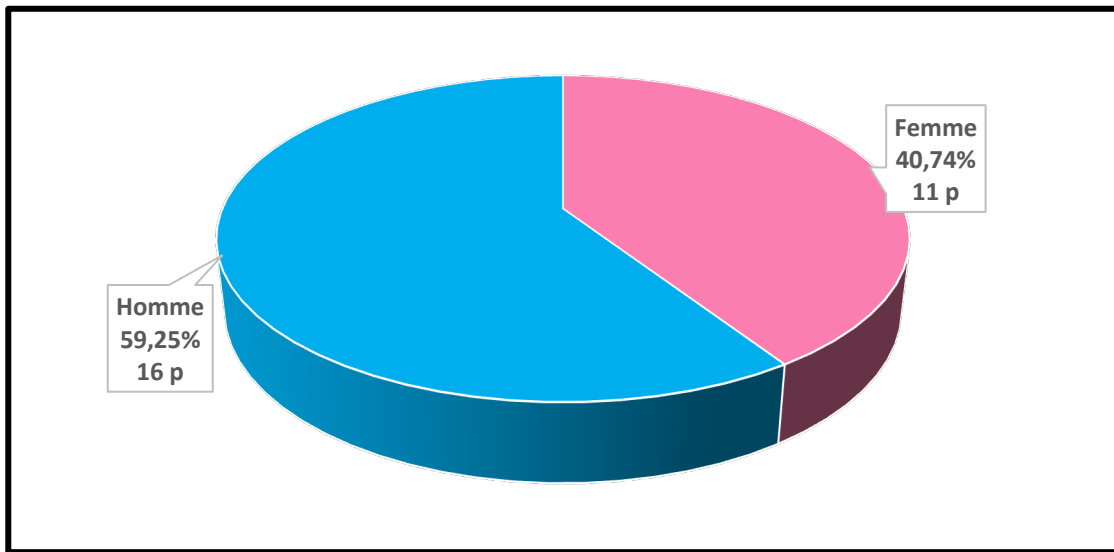


Figure 2 : Répartition des patients selon le sexe

II. Données anthropométriques :

1. Indice de masse corporelle (IMC) :

L'analyse de l'indice de masse corporelle (IMC) a montré une prédominance du surpoids, retrouvée chez 26 patients, soit 96,3 % de l'effectif, avec un IMC compris entre 25 et 29 kg/m². Un seul patient présentait un IMC normal, compris entre 18 et 24 kg/m², représentant 3,7 % de la population étudiée.

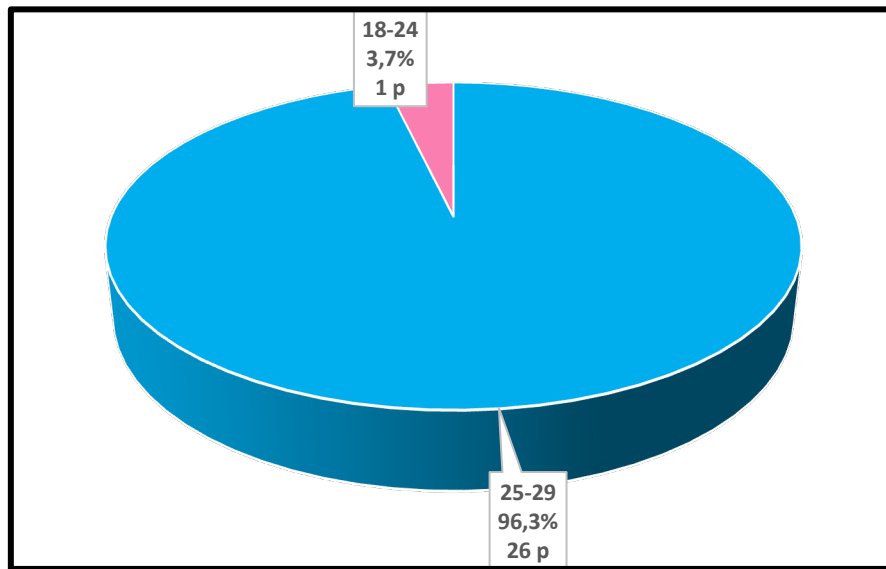


Figure 3 : Répartition des patients selon l'IMC

III. Indication de l'épreuve cardio-respiratoire :

Dans notre série les indications de l'épreuve cardio-respiratoire étaient dominées par :

- L'insuffisance cardiaque, retrouvée chez 12 patients, soit 44,44 %.
- L'évaluation préopératoire concernait 7 patients, soit 25,93 %.
- L'exploration d'une dyspnée est présente chez 5 patients, soit 18,52 %.
- Cardiopathie ischémique, retrouvée chez 3 patients, soit 11,11 %.

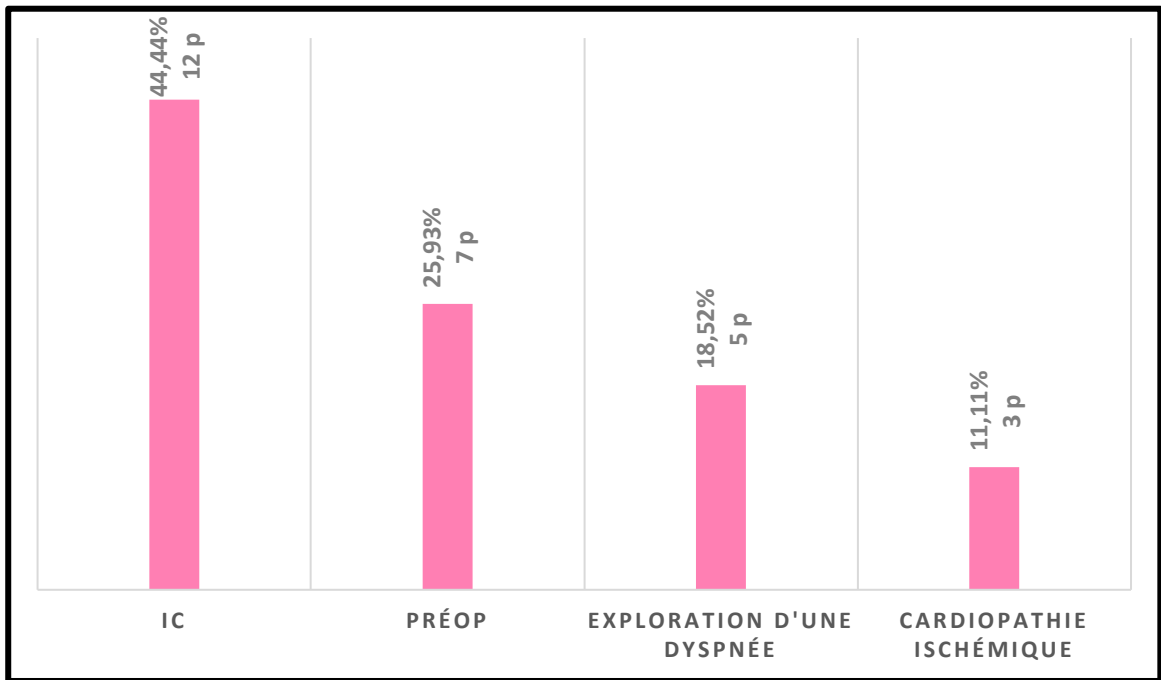


Figure 4 : Répartition des patients selon l'indication

IV. Facteurs de risque cardiovasculaires (FDRCV) :

On note que les FDRCV ont été dominés par :

- La sédentarité : chez 21 patients, soit 77,78 %
- Le diabète : chez 16 patients, soit 59,26 %
- Le sexe masculin : chez 16 patients, soit 59,26 %
- La dyslipidémie : chez 15 patients, soit 55,56 %
- L'hypertension artérielle : chez 14 patients, soit 51,85 %.
- Le tabagisme : chez 14 patients, soit 51,85 %.

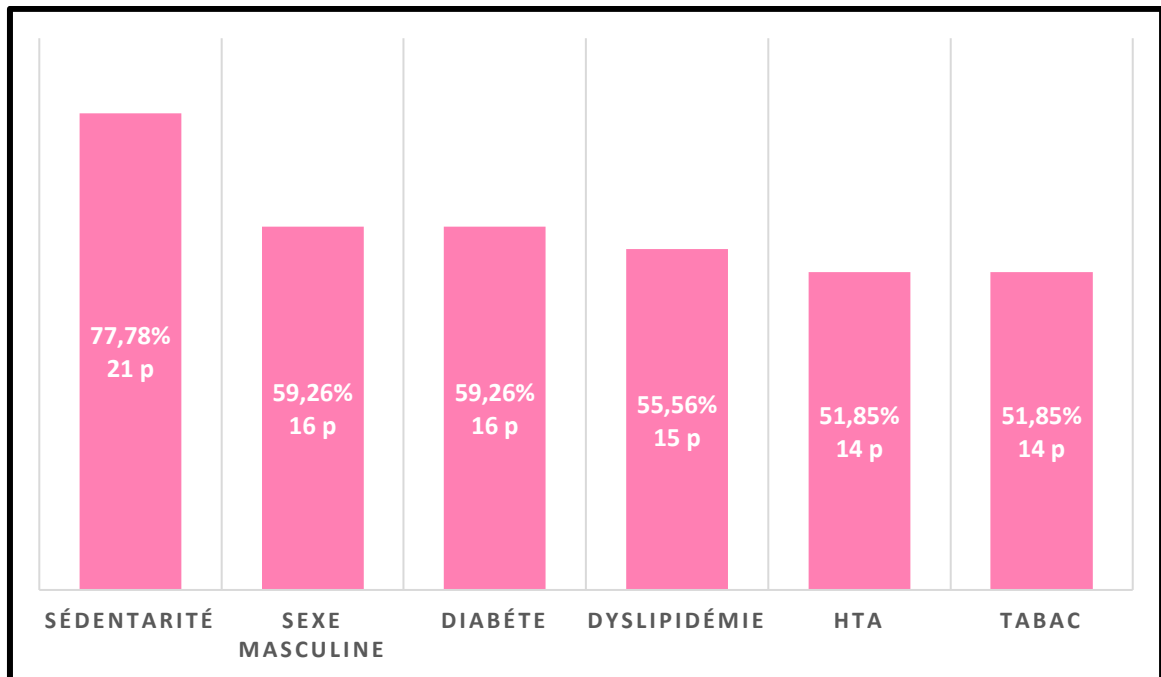


Figure 5 : Répartition des patients selon les FDRCV

V. Données cliniques :

1. Signes fonctionnels : Dyspnée :

1.1. Prévalence de la dyspnée :

La dyspnée était présente chez la majorité des patients :

- 20 patients, soit 74,07 % présentaient une dyspnée.
- 7 patients, soit 25,93 % n'étaient pas dyspnéiques.

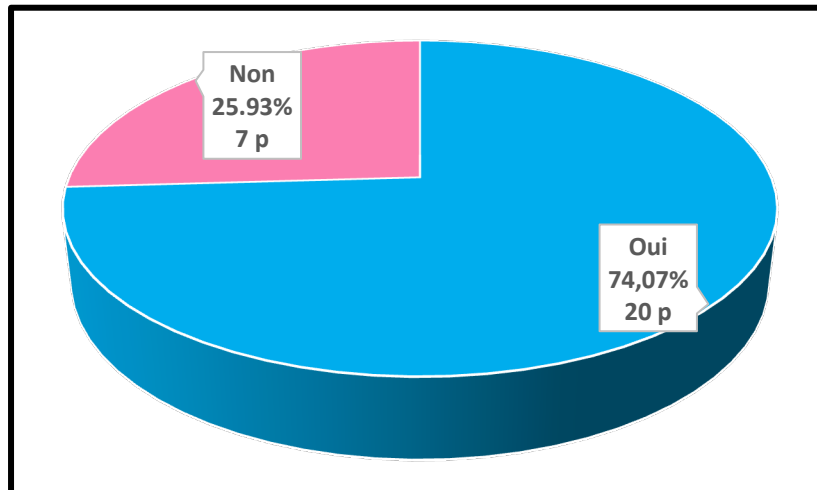


Figure 6 : Répartition des patients selon la dyspnée

1.2. Stades de la dyspnée :

La répartition des patients selon la classification fonctionnelle NYHA était la suivante :

- 7 patients, soit 25,93 % étaient au stade I.
- 8 patients, soit 29,63 % étaient au stade II.
- 9 patients, soit 33,33 % étaient au stade III.
- 3 patients, soit 11,11 % étaient au stade IV.

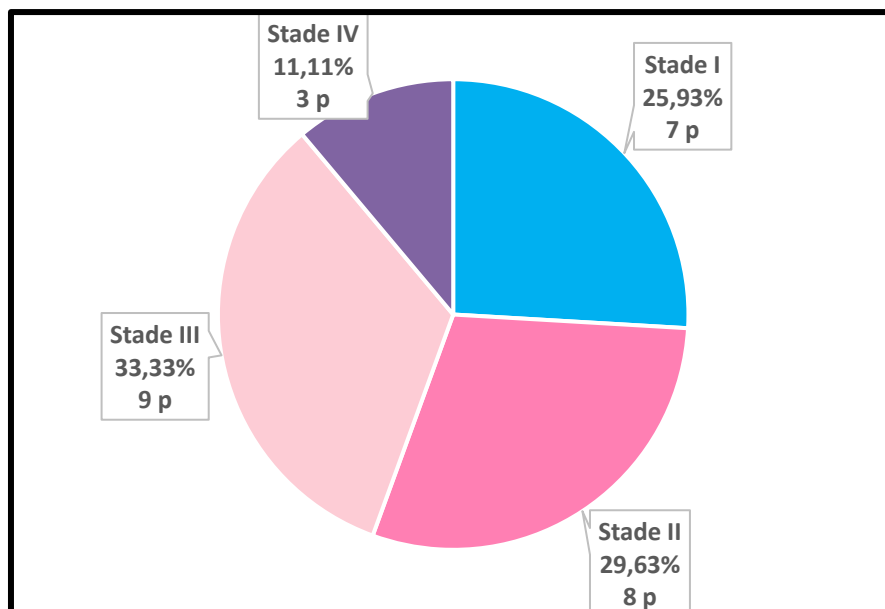


Figure 7 : Répartition des patients selon les stades de la NYHA

VI. Données paracliniques :

1. Échocardiographie transthoracique (ETT) :

Tous les patients ont bénéficié d'une ETT ; l'évaluation de la fonction systolique montre une prédominance de la FEVG conservée ($\geq 50\%$), observée chez 13 patients (48,15 %).

Néanmoins, une altération de la FEVG est retrouvée chez plus de la moitié des patients :

- Modérée (40–49 %) chez 4 patients (14,81 %).
- Sévère ($< 40\%$) chez 10 patients (37,04 %).

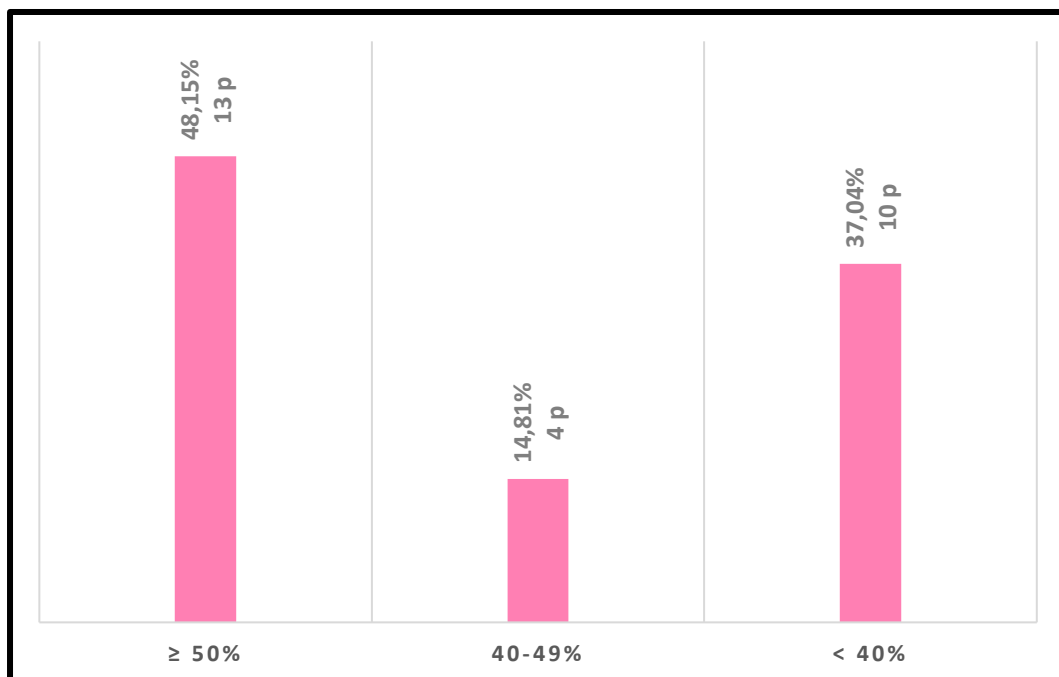


Figure 8 : Répartition des patients selon la FEVG

VII. Groupe insuffisance cardiaque :

1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire (EFX) pré-réadaptation :

1.1. VO₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

La VO₂ max pré se situe entre 9 et 14 ml/kg/min, pour une moyenne de 11,75 ml/kg/min dans ce groupe, tandis que la VO₂ max théorique se situe entre 30 et 49%, avec une moyenne de 43,33%

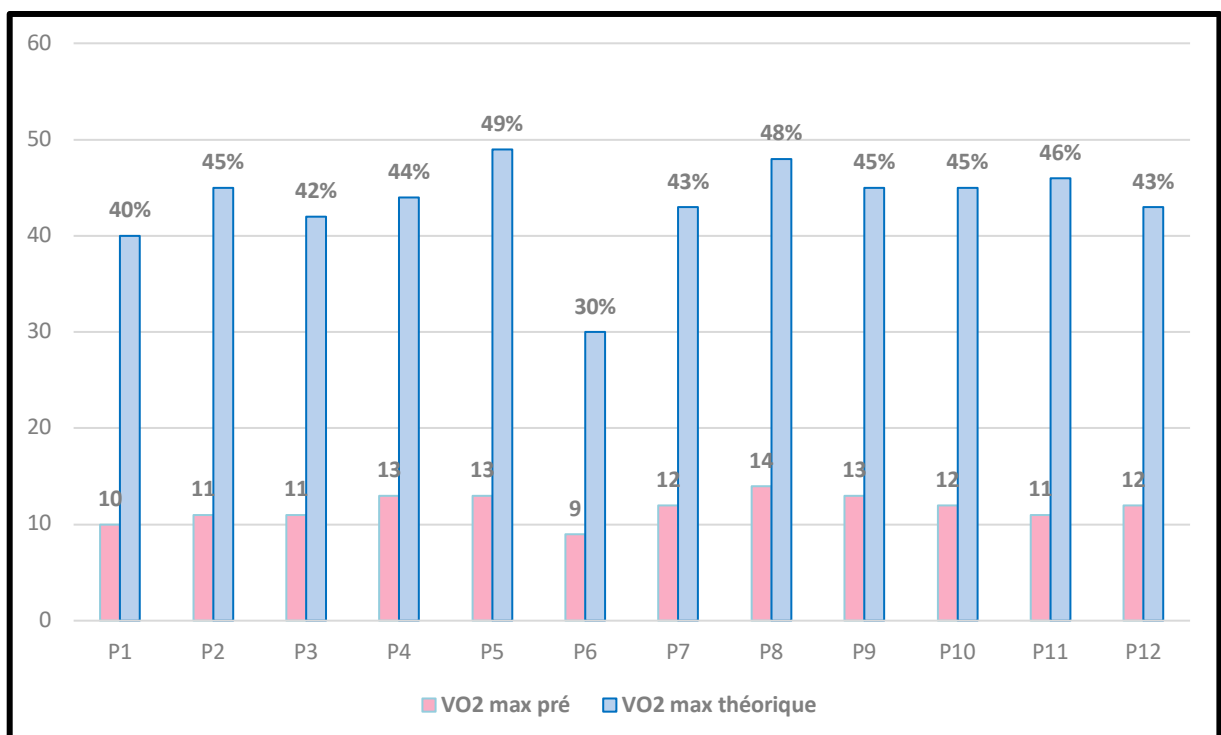


Figure 9 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la VO₂ max pré-réadaptation et la VO₂ max théorique

1.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Les valeurs du SV1 en pré-réadaptation chez les patients insuffisants cardiaques sont comprises entre 8 et 12 ml/kg/min, pour une valeur moyenne de 9,92 ml/kg/min.

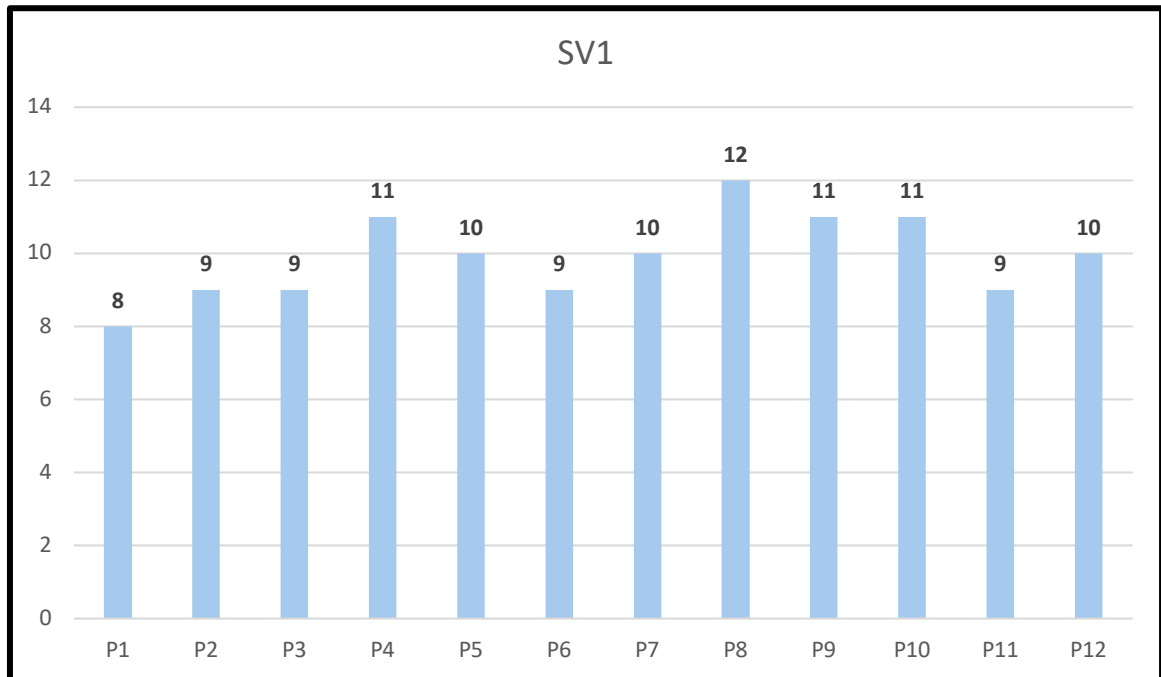


Figure 10 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le SV1 pré-réadaptation

1.3. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Les valeurs de RER maximal en pré-réadaptation chez les patients insuffisants cardiaques sont comprises entre 1,02 et 1,10, pour une valeur moyenne d'environ 1,07. Chaque patient atteint ce RER maximal après un temps d'effort variant de 4 à 7,8 minutes, avec un temps moyen d'environ 6 minutes.

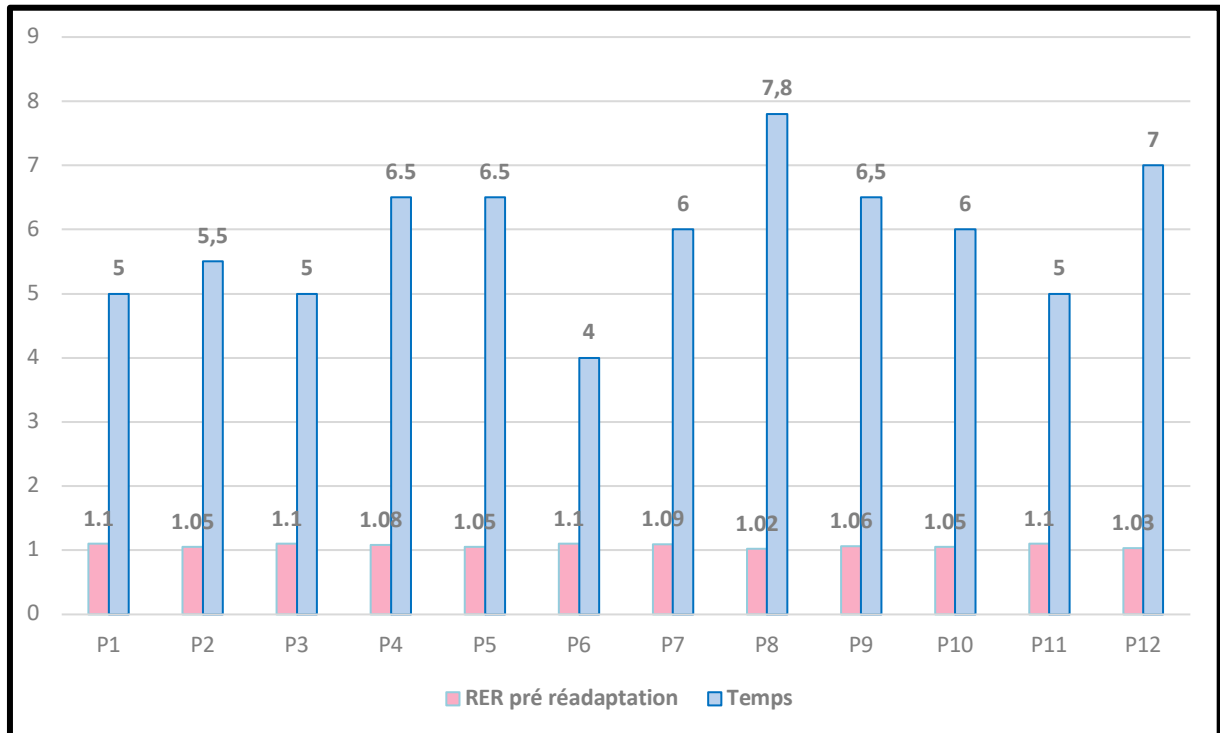


Figure 11 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en pré-réadaptation

1.4. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Les valeurs du pouls d'O₂ en pré-réadaptation chez les patients insuffisants cardiaques sont comprises entre 5 et 9 ml/battement, pour une valeur moyenne de 6,67 ml/battement.

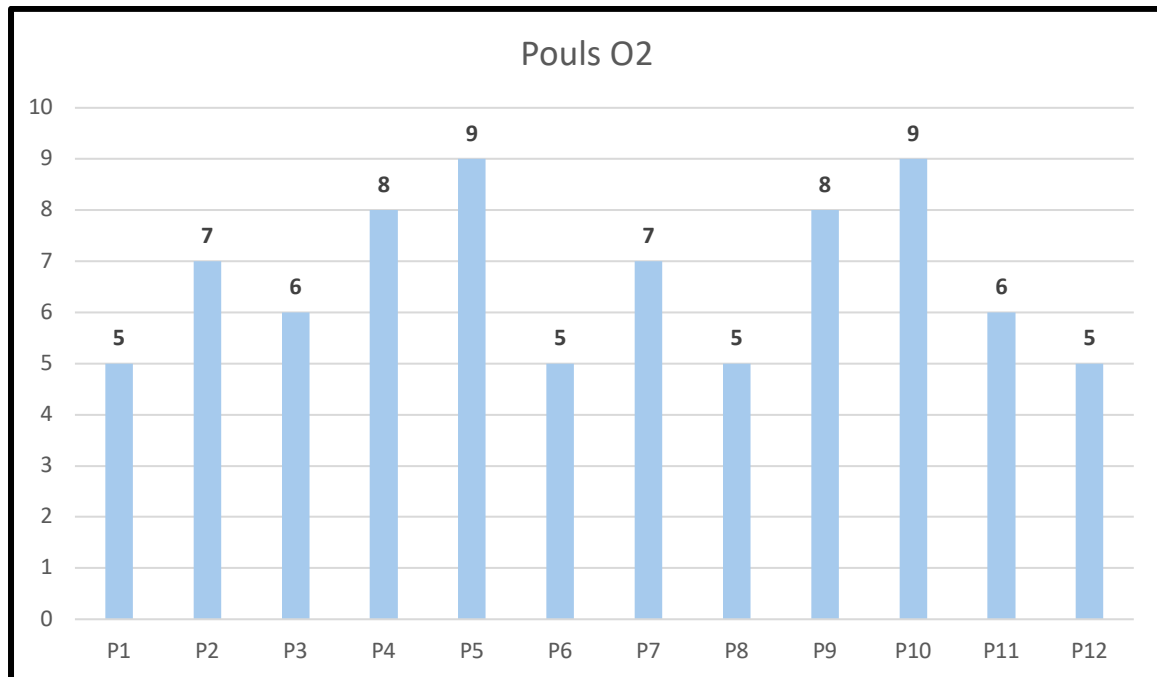


Figure 12 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le pouls d'O2

1.5. Pente VE/VCO₂ :

Chez les patients insuffisants cardiaques, la pente VE/VCO₂ présente des valeurs individuelles comprises entre 32 et 45, pour une valeur moyenne de 38.

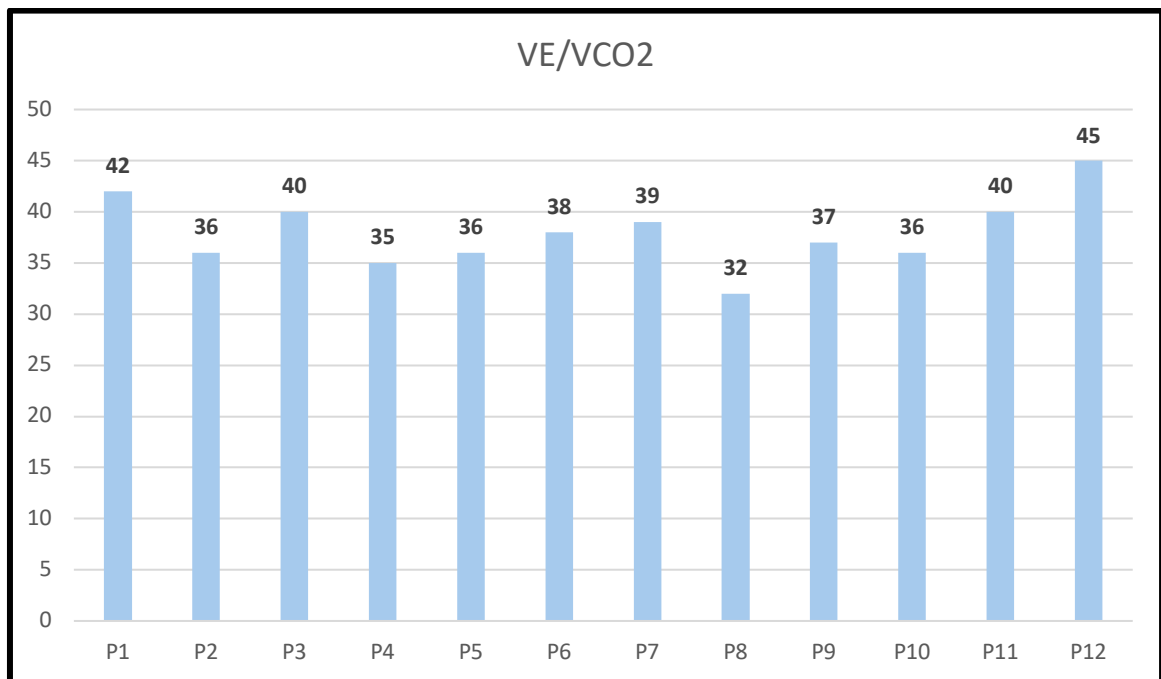


Figure 13 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la pente VE/VCO₂

2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-réadaptation :

2.1. VO₂ max :

Chez les 12 patients insuffisants cardiaques, la VO₂ max moyenne est passée de 11,75 à 16,75 ml/kg/min après réadaptation.

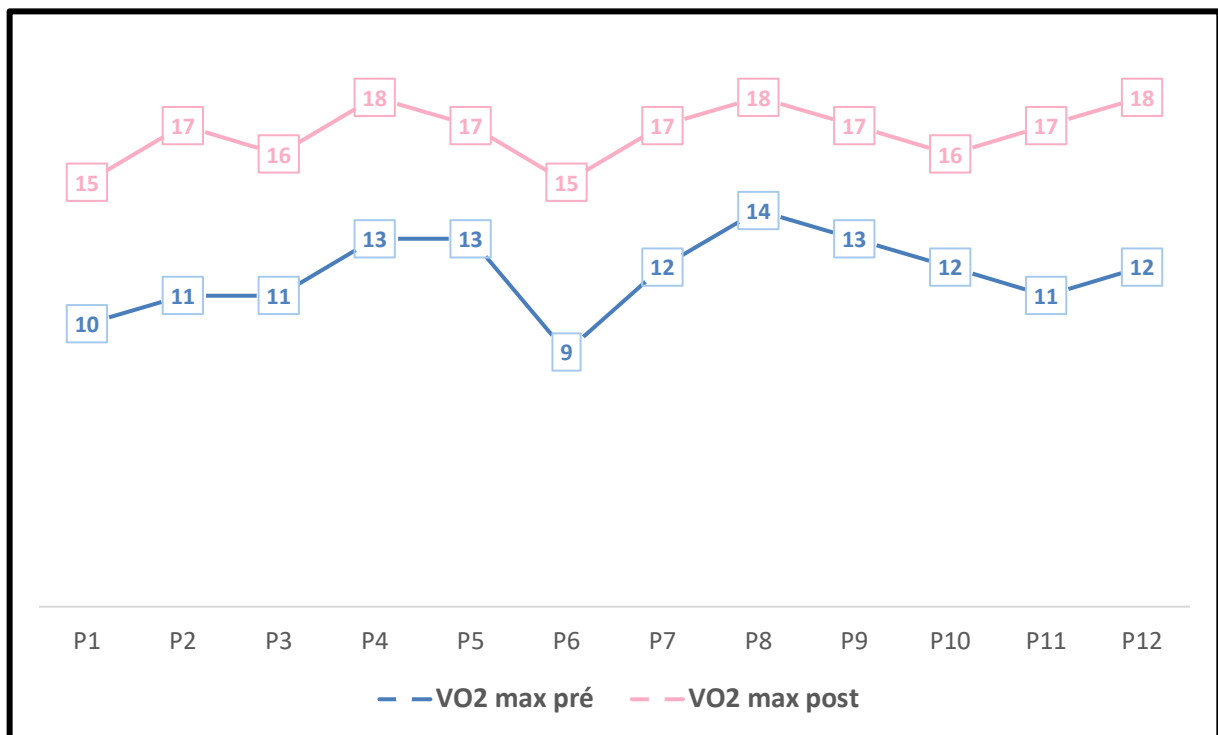


Figure 14 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon la VO₂ max pré- et post-réadaptation

2.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Chez les 12 patients insuffisants cardiaques, la valeur moyenne du SV1 est passée de 9,92 ml/kg/min en pré-réadaptation à 11,92 ml/kg/min en post-réadaptation.

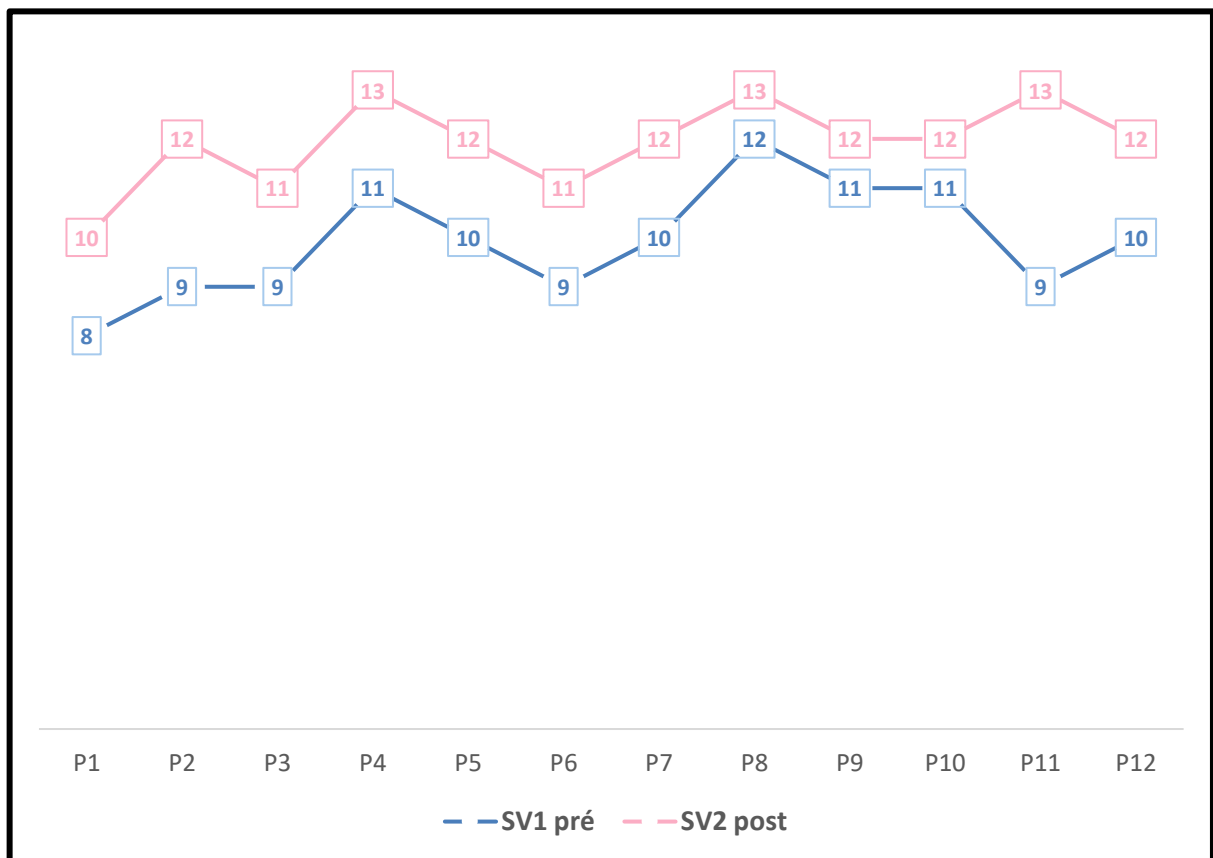


Figure 15 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le SV1 pré- et post-réadaptation.

2.3. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Les valeurs de RER maximal en post-réadaptation chez les patients insuffisants cardiaques sont comprises entre 1,08 et 1,13, pour une valeur moyenne d'environ 1,10. Le temps nécessaire pour atteindre ce RER maximal varie de 7,5 à 11 minutes, avec un temps moyen autour de 9 minutes.

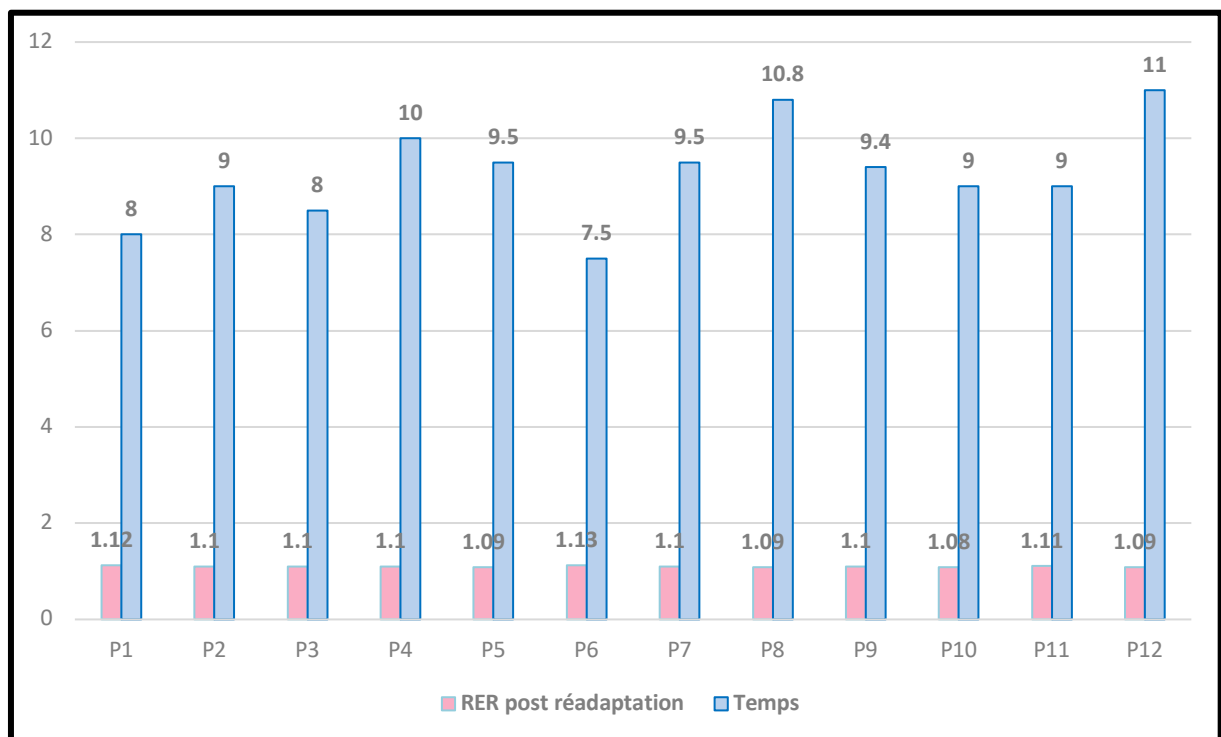


Figure 16 : Répartition des patients insuffisants cardiaques selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en pré-réadaptation

3. Illustration clinique du profil d'insuffisance cardiaque :

Chez ce patient insuffisant cardiaque suivi dans notre service depuis un an, correctement optimisé sur le plan thérapeutique mais restant symptomatique avec une dyspnée de stade III, ce qui a motivé la réalisation d'une épreuve d'effort cardiorespiratoire. L'épreuve de VO₂ max met en évidence des courbes VO₂ et VCO₂ accolées dès le début de l'effort, une VO₂ à 12 ml/kg/min avec des signes de gravité de l'IC : trémulation des courbes (Figure 17), un pouls d'O₂ proche de la valeur de repos (5 ml/battement), une pente VE/VCO₂ à 45, un RER maximal est atteint à 9 minutes d'effort (Figure 18).

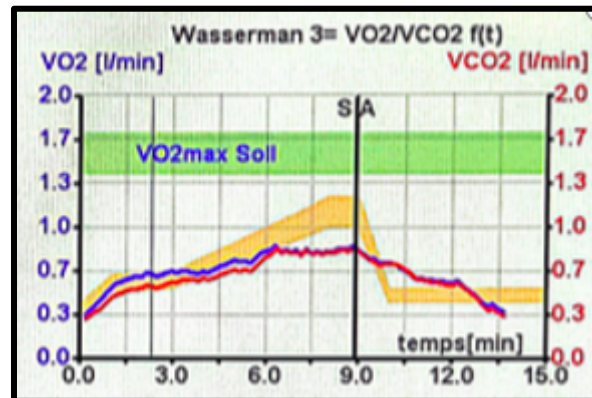


Figure 17 : Courbe de VO₂ max en pré-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque

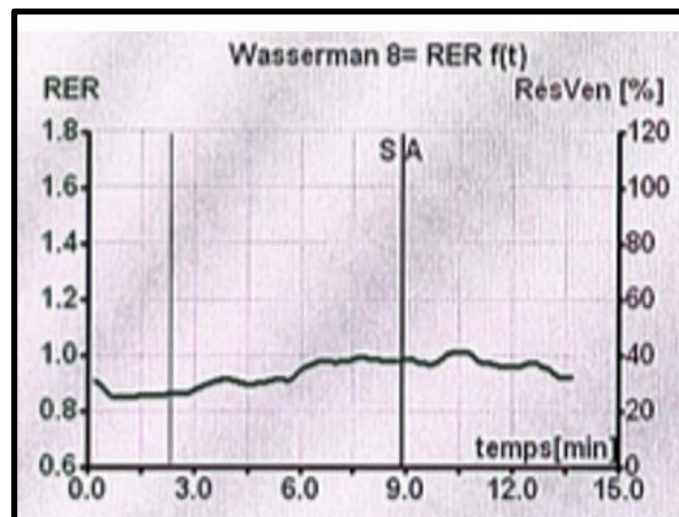


Figure 18 : Courbe de RER en pré-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque

La conduite a consisté à proposer un programme de réadaptation cardiovasculaire léger, inférieur à 5 METs, avec une fréquence cardiaque d'entraînement autour de 95 battements/min, associant une marche quotidienne de 15 minutes et la participation aux activités ménagères (par exemple, plier le linge, faire le lit), avec un contrôle prévu à 3 à 6 mois.

Après trois mois de réadaptation, on note une amélioration globale des paramètres fonctionnels, avec une VO₂ max augmentée de 12 à 18 ml/kg/min (Figure 19), un pouls d'O₂ passé de 5 à 11 ml/battement, une pente VE/VCO₂ à 36, un RER maximal est atteint à 11 min (Il a gagné en endurance) et surtout une nette amélioration des symptômes d'effort.

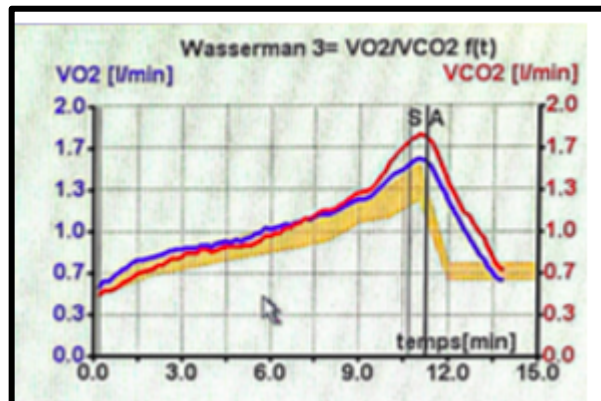


Figure 19 : Courbe de VO₂ max en post-réadaptation chez un patient insuffisant cardiaque

VIII. Groupe déconditionné :

1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire pré-reconditionnement :

1.1. VO₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

Chez les cinq patients déconditionnés (P1 à P5), la VO₂ max pré-réadaptation varie de 16 à 20 ml/kg/min (moyenne 18,2 ml/kg/min), alors que la VO₂ max théorique varie de 50 à 60 % (moyenne 55,6 %).

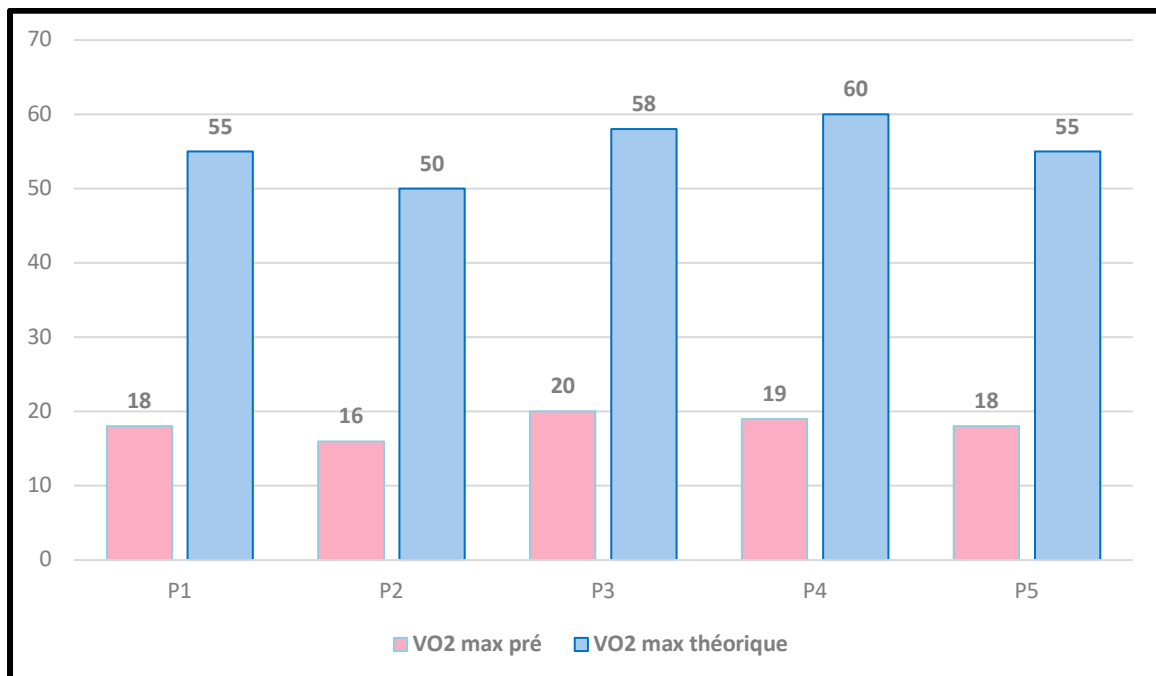


Figure 20 : Répartition des patients déconditionnés selon la VO₂ max pré-reconditionnement et la VO₂ max théorique

1.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Les valeurs du SV1 en pré-réadaptation chez les patients du groupe déconditionné sont comprises entre 12 et 13 ml/kg/min, pour une valeur moyenne de 12,8 ml/kg/min.

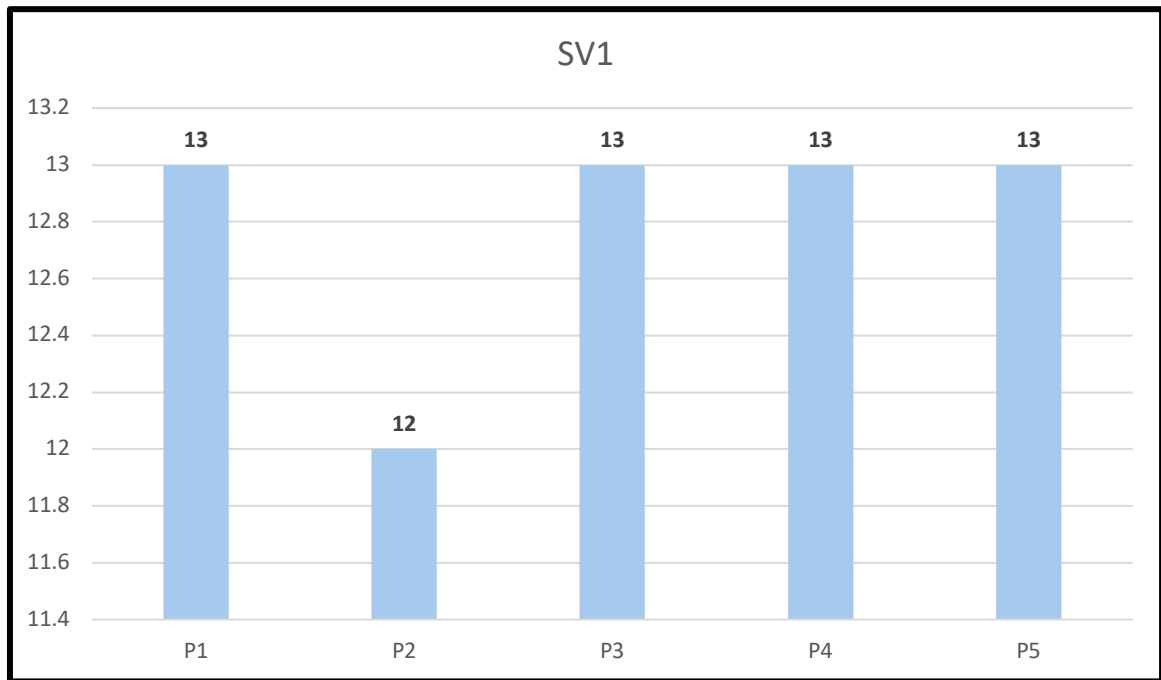


Figure 21 : Répartition des patients déconditionnés selon le SV1 pré-reconditionnement

1.3. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Les valeurs de RER maximal en pré-reconditionnement chez les patients déconditionnés sont comprises entre 1,05 et 1,10, pour une valeur moyenne d'environ 1,08. Le temps nécessaire pour atteindre ce RER maximal varie de 7 à 9 minutes, avec un temps moyen voisin de 8 minutes.

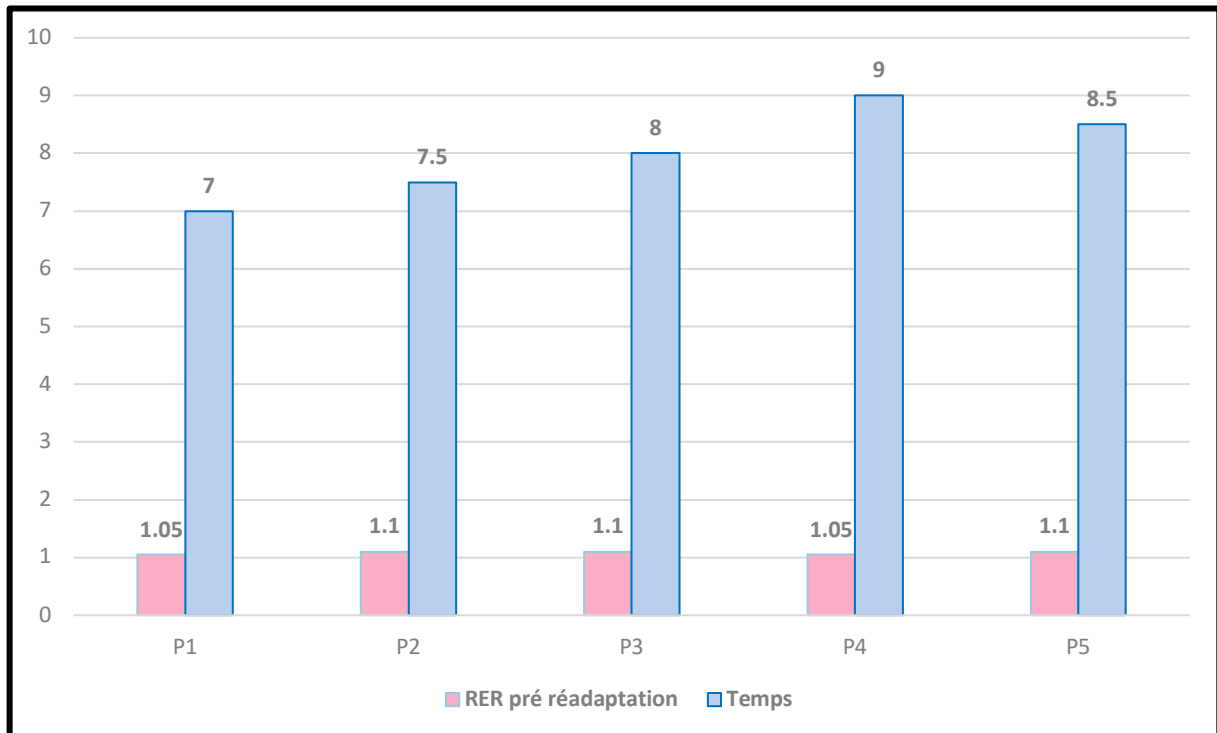


Figure 22 : Répartition des patients déconditionnés selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en pré-reconditionnement

1.4. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Les valeurs du pouls d'O₂ chez les patients du groupe déconditionné sont comprises entre 16 et 23 ml/battement, pour une valeur moyenne de 20,4 ml/battement.

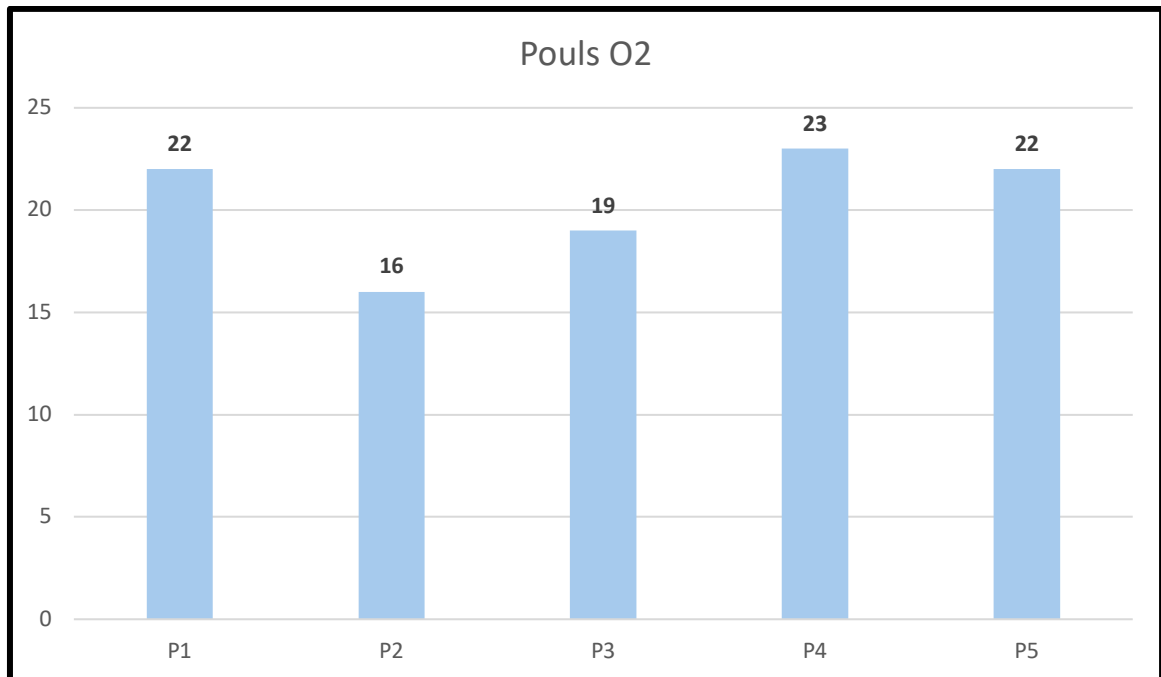


Figure 23 : Répartition des patients déconditionnés selon le pouls d'O₂

1.5. Pente VE/VCO₂ :

Les valeurs de la pente VE/VCO₂ chez les patients du groupe déconditionné sont comprises entre 27 et 30, pour une valeur moyenne de 28,4.

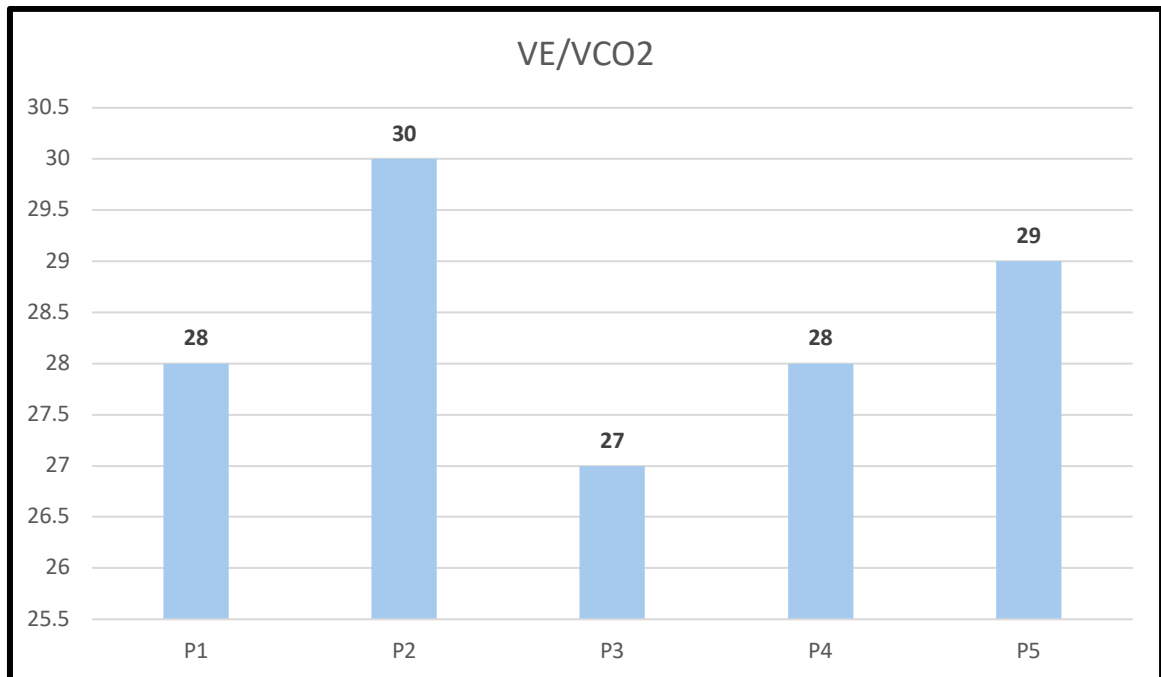


Figure 24 : Répartition des patients déconditionnés selon la pente VE/VCO₂

2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-reconditionnement :

2.1. VO₂ max :

Chez les 5 patients déconditionnés, la VO₂ max moyenne est passée de 18,2 à 27,6 ml/kg/min après réadaptation.

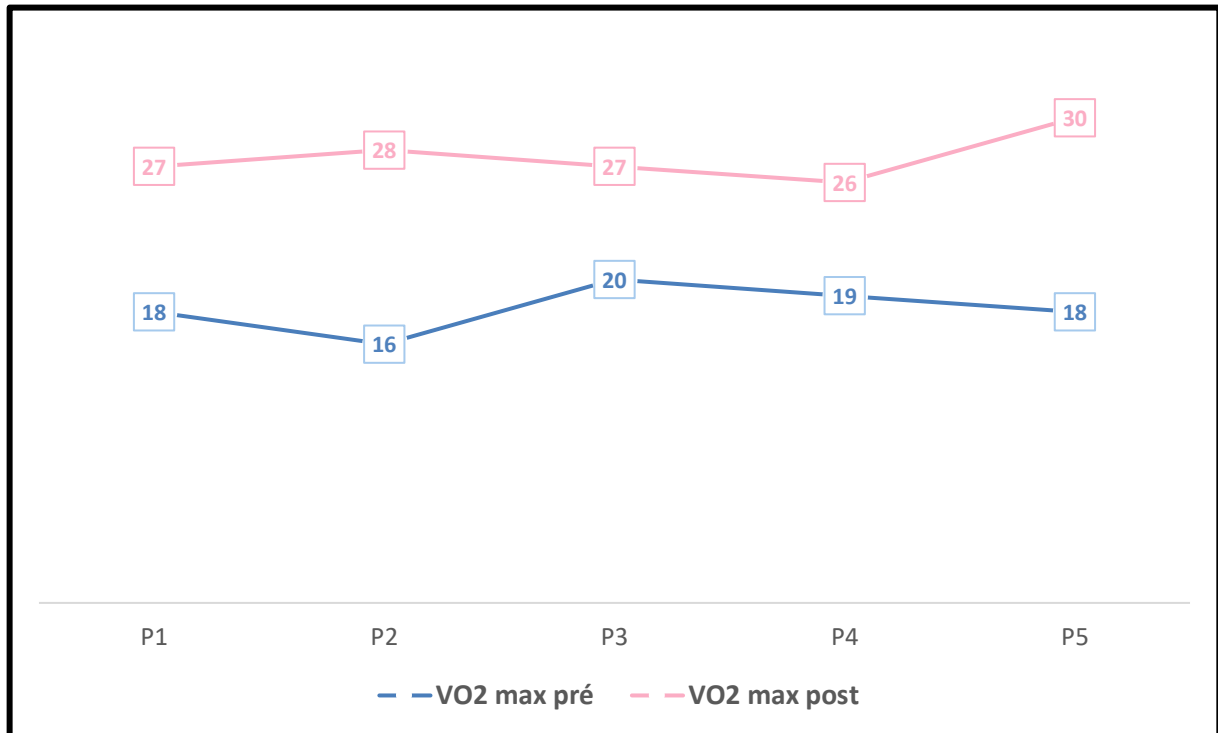


Figure 25 : Répartition des patients déconditionnés selon la VO₂ max pré- et post-reconditionnement

2.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Chez les cinq patients déconditionnés, l'évolution du SV1 avant et après réadaptation s'accompagne d'une augmentation de la valeur moyenne de 12,8 à 16,2 ml/kg/min.

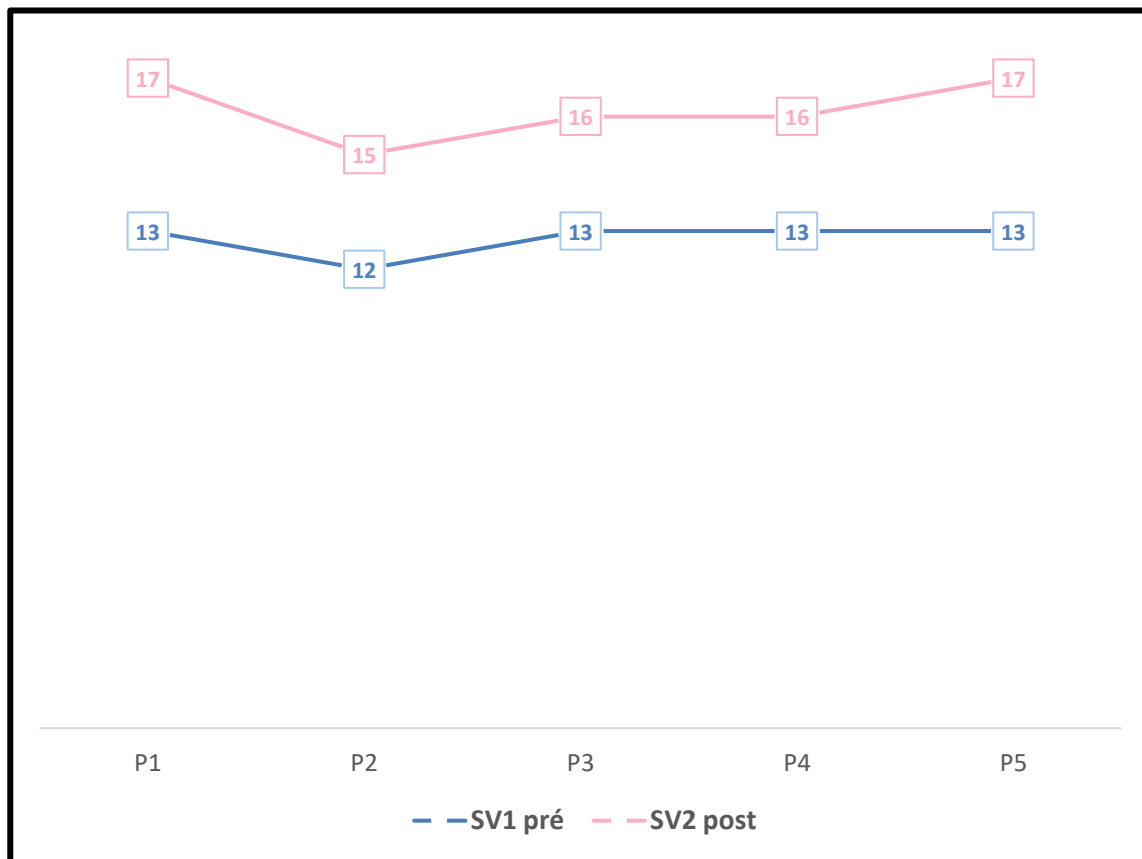


Figure 26 : Répartition des patients déconditionnés selon le SV1 pré- et post-reconditionnement

2.3. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Les valeurs de RER maximal en post-reconditionnement chez les patients déconditionnés sont comprises entre 1,10 et 1,15, pour une valeur moyenne d'environ 1,12. Le temps nécessaire pour atteindre ce RER maximal varie de 10,5 à 13 minutes, avec un temps moyen voisin de 11,9 minutes.

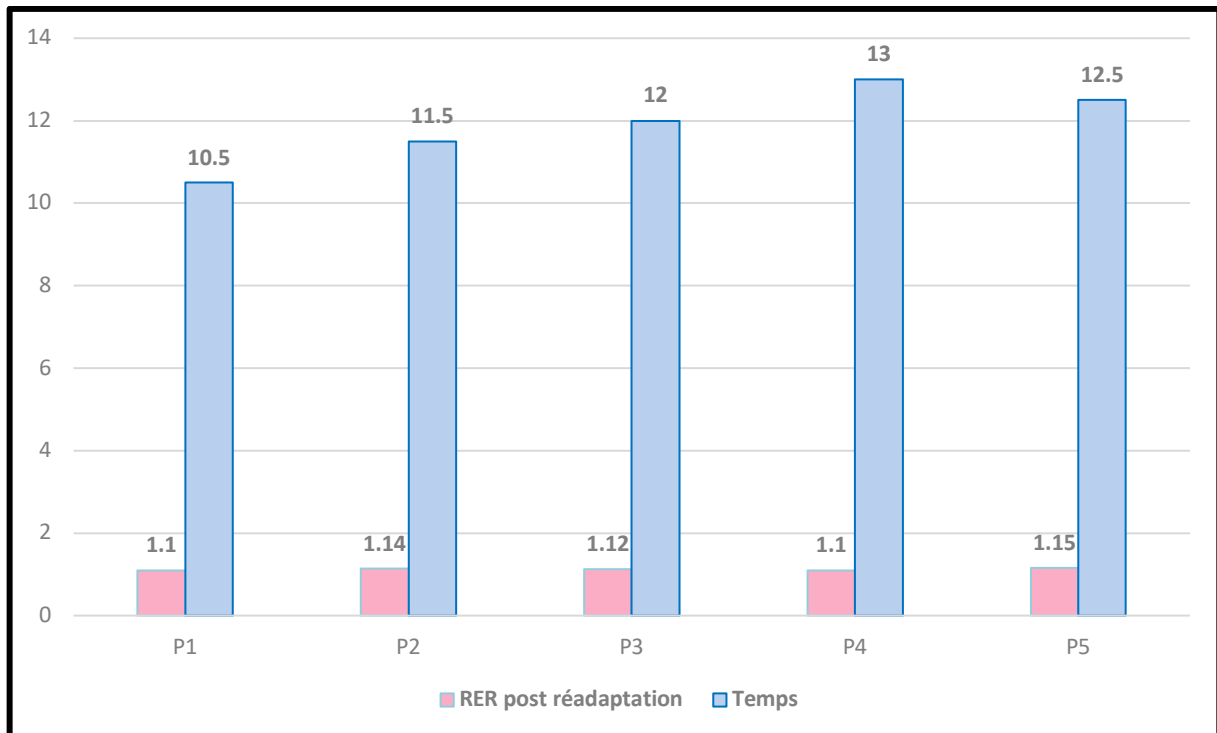


Figure 27 : Répartition des patients déconditionnés selon le RER maximal et le temps pour l'atteindre en post-reconditionnement

3. Illustration clinique du profil déconditionné :

Chez ce patient déconditionné, la VO₂ max initiale était de 18 ml/kg/min, soit 48 % de la valeur théorique (Figure 28), ce qui correspond à environ 6 MET et traduit une altération modérée de la capacité fonctionnelle. Avec un RER maximal atteint à 9 min d'effort (Figure 29).

Sur la base de cette évaluation, un programme de réentraînement progressif a été instauré, centré sur la marche rapide (≈ 8 km/h), complétée par le vélo et la natation, avec une prescription individualisée en fonction des MET et de la fréquence cardiaque, et l'utilisation d'une montre connectée pour faciliter l'autosurveillance de l'intensité.

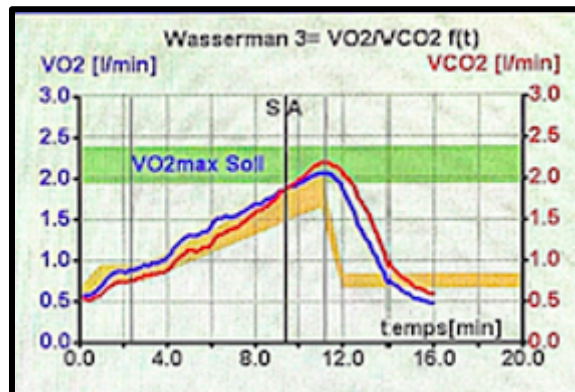


Figure 28 : Épreuve d'effort chez un patient déconditionné avant reconditionnement (VO₂ max = 18 ml/kg/min, soit 48 % de la valeur théorique).

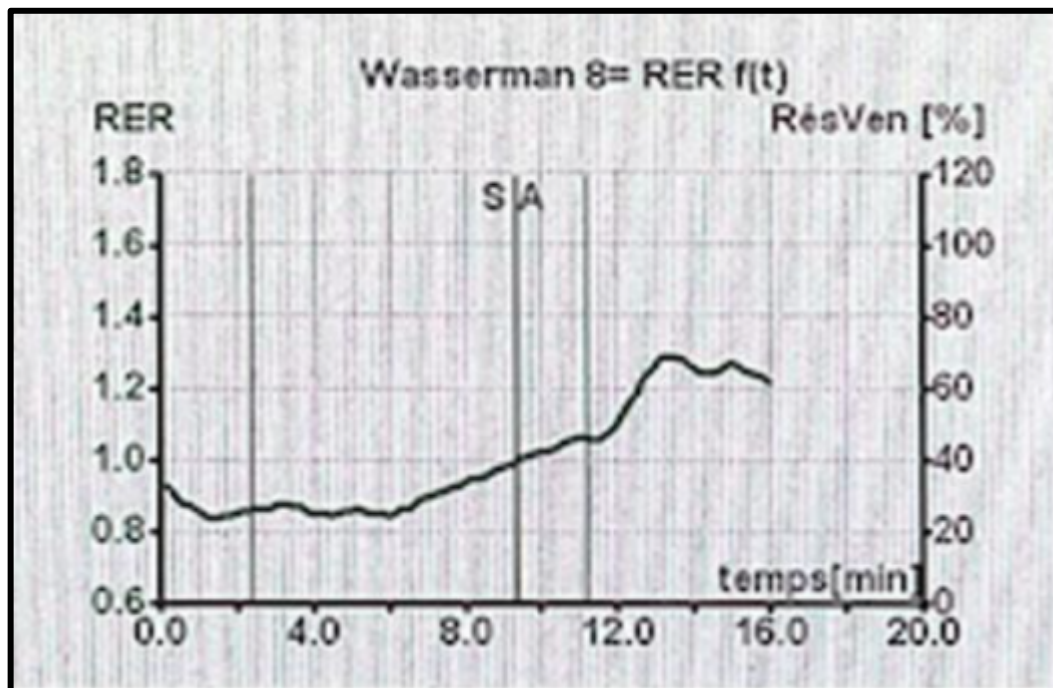


Figure 29 : Courbe de RER en pré-reconditionnement chez un patient déconditionné

Après trois mois de reconditionnement, la VO₂ max est passée de 18 à 30 ml/kg/min, soit 75 % de la VO₂ théorique, avec un déplacement du premier seuil ventilatoire de 4 à 8 minutes (Figure 30). Le patient a gagné en endurance, avec un RER maximal atteint à 21 minutes d'effort contre 9 minutes en pré-reconditionnement, ce qui confirme un reconditionnement aérobie marqué et une amélioration nette des symptômes à l'effort.

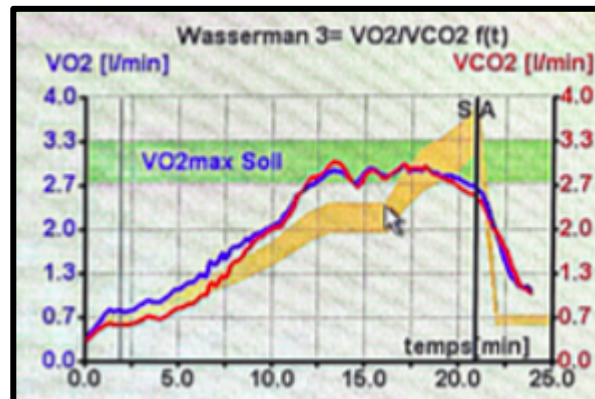


Figure 30 : Épreuve d'effort chez le même patient après reconditionnement (VO₂ max = 30 ml/kg/min, soit 75 % de la valeur théorique).

IX. Groupe ischémique :

1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire :

1.1. VO₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

Chez les trois patients ischémiques (P1 à P3), la VO₂ max varie de 15 à 17 ml/kg/min (moyenne 16 ml/kg/min), tandis que les VO₂ max théoriques correspondantes sont comprises entre 60 et 68 %, avec une valeur moyenne de 64,33 %.

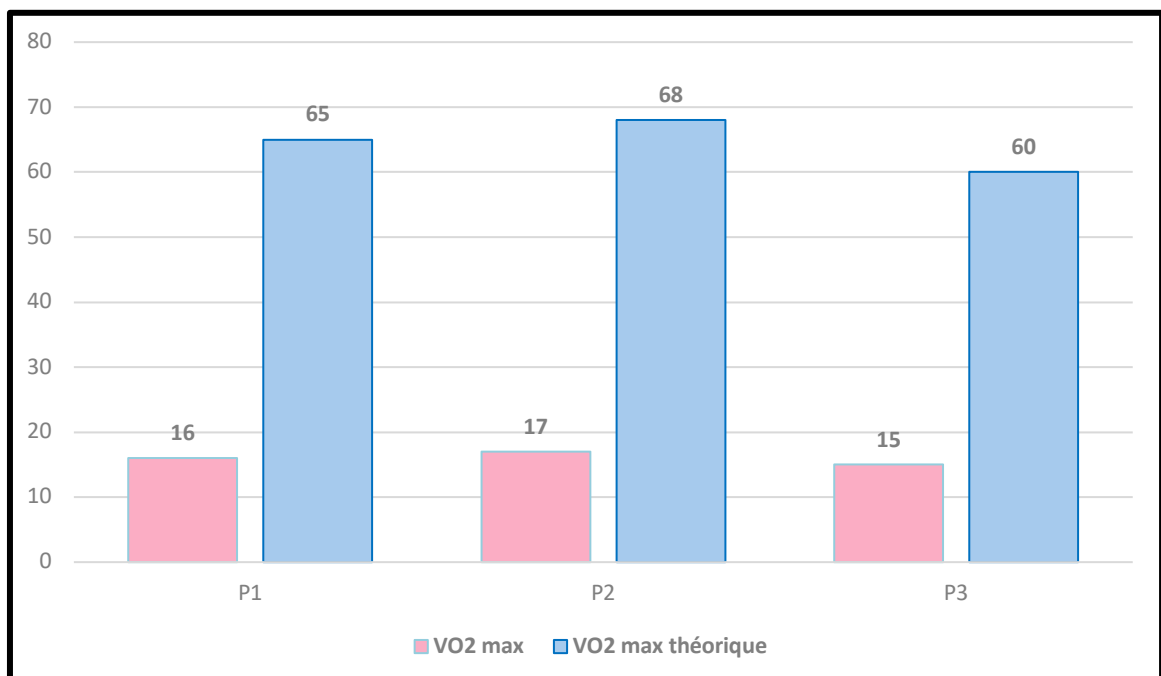


Figure 31 : Répartition des patients ischémiques selon la VO₂ max et la VO₂ max théorique

1.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Les valeurs du SV1 chez les patients coronariens ischémiques sont comprises entre 10 et 12 ml/kg/min, pour une valeur moyenne de 11 ml/kg/min.

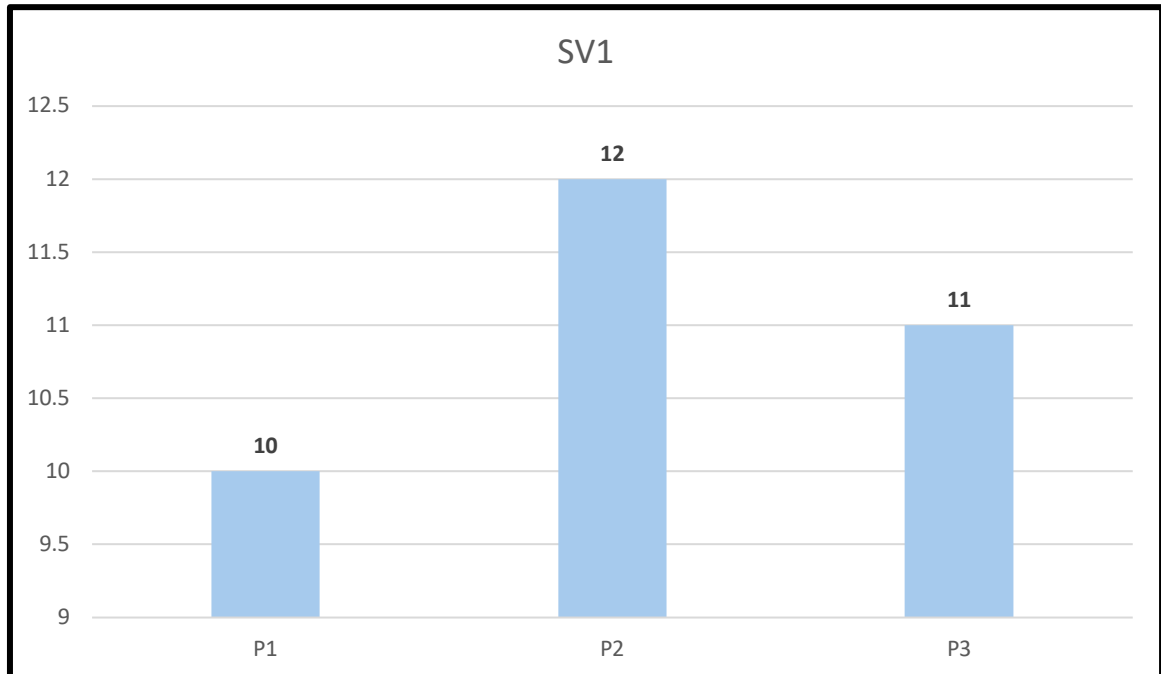


Figure 32 : Répartition des patients ischémiques selon le SV1

1.3. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Les valeurs du pouls d'O₂ chez les patients ischémiques sont comprises entre 11 et 13 ml/battement, pour une valeur moyenne de 11,67 ml/battement.

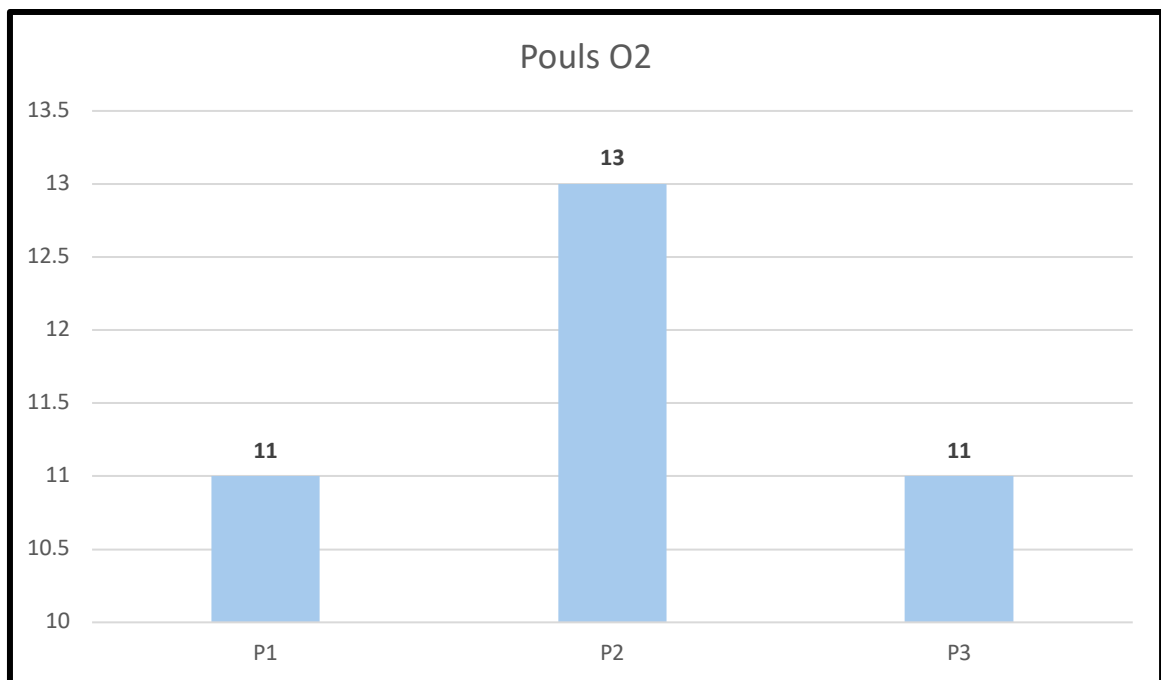


Figure 33 : Répartition des patients ischémiques selon le pouls d'O₂

1.4. Pente VE/VCO₂ :

Chez les patients coronariens ischémiques, les valeurs de la pente VE/VCO₂ sont comprises entre 31 et 34, pour une valeur moyenne de 32,33.

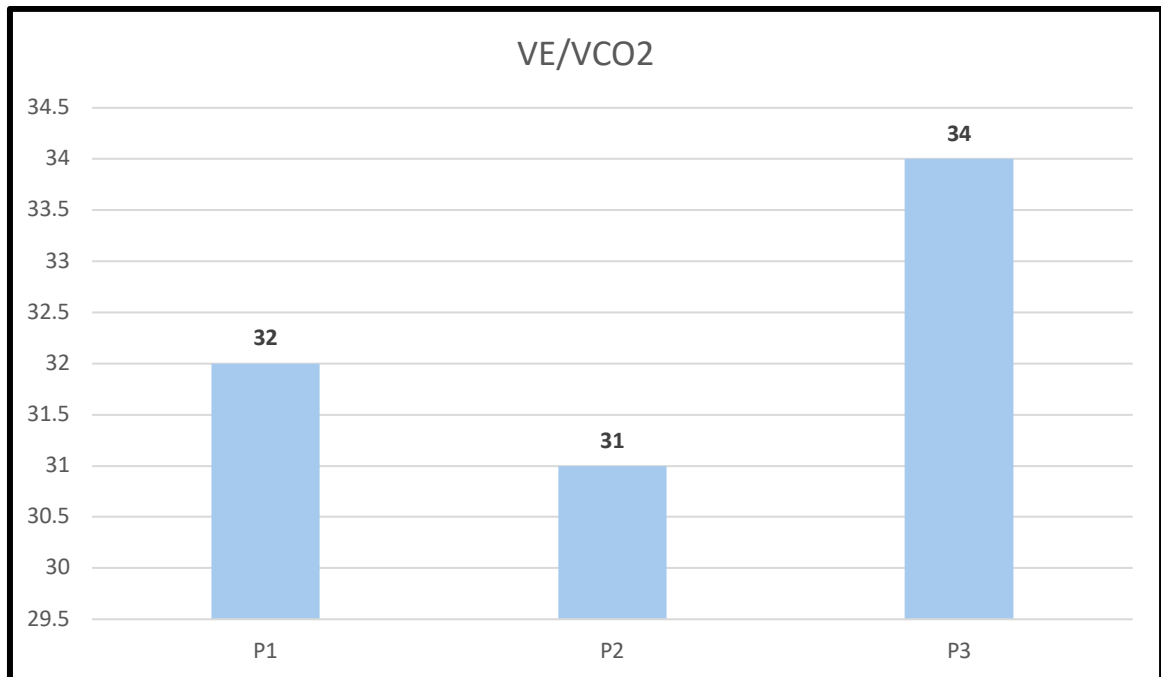


Figure 34 : Répartition des patients ischémiques selon la pente VE/VCO₂

X. Groupe lobectomie :

1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire :

1.1. VO₂ max :

Chez les sept patients du groupe lobectomie (P1 à P7), les valeurs individuelles de VO₂ max varient de 12 à 19 ml/kg/min, pour une valeur moyenne de 15,71 ml/kg/min.

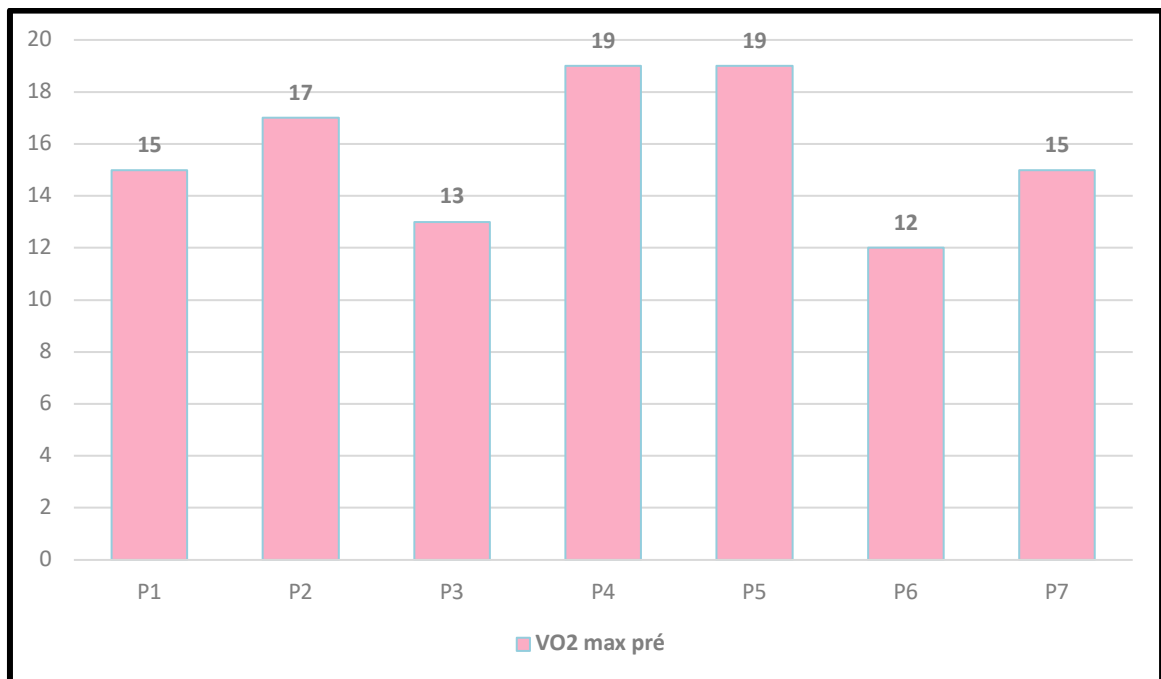


Figure 35 : Répartition des patients lobectomies selon la VO₂ max

1.2. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Les valeurs du SV1 chez les patients du groupe lobectomie sont comprises entre 8 et 12 ml/kg/min, pour une valeur moyenne de 10,43 ml/kg/min.

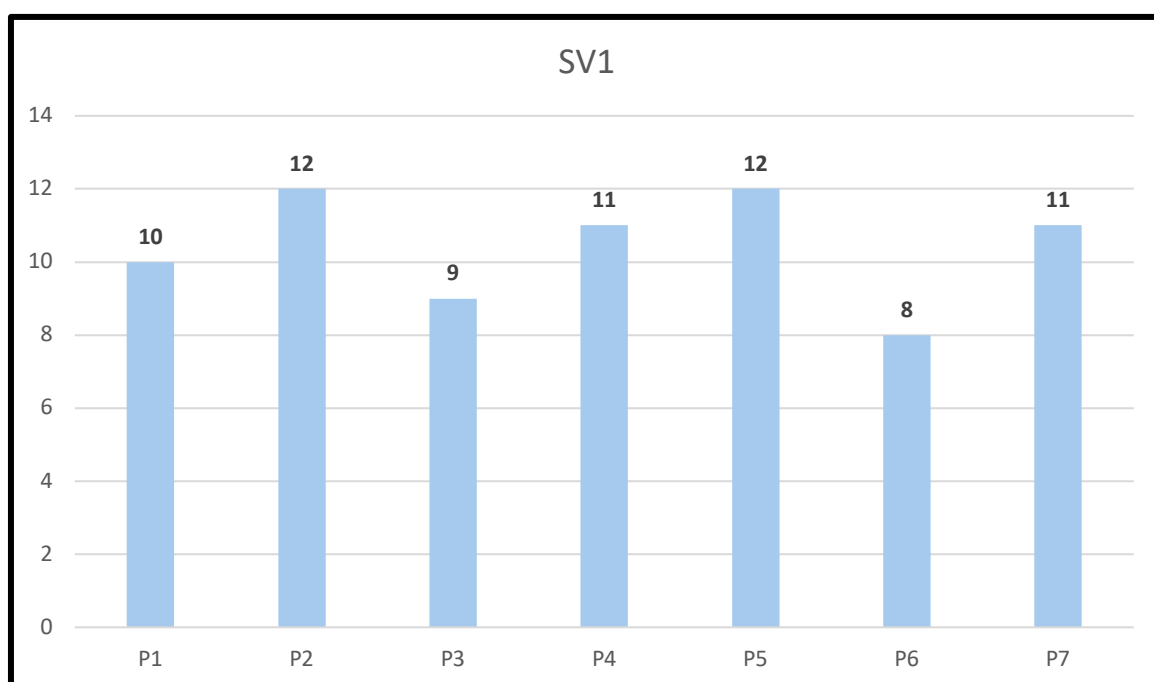


Figure 36 : Répartition des patients lobectomies selon le SV1



DISCUSSION



I. Généralités :

1. La VO₂ max :

Elle est largement considérée comme le critère de référence (gold standard) pour mesurer la capacité cardiorespiratoire (CRF) et la capacité fonctionnelle du cœur. Une VO₂ max élevée est un prédicteur de succès dans les sports d'endurance, tandis qu'une valeur faible est un indicateur fort d'inactivité physique et de risques accrus de maladies cardiorespiratoires.

1.1. Définition de la VO₂ max :

La consommation maximale d'oxygène (VO₂ max) représente le débit maximal d'utilisation de l'oxygène par les tissus au cours d'un exercice physique intense et prolongé [6]. Elle est définie comme l'aptitude d'un individu à capter l'oxygène, à le transporter via le système cardiovasculaire et à l'utiliser au niveau des mitochondries des cellules musculaires pour produire de l'énergie (ATP) par voie aérobie [7].

C'est le paramètre de référence pour évaluer l'aptitude physique aérobie et la capacité fonctionnelle d'un individu [1,10] .

1.2. Le principe de Fick : fondement physiologique :

Sur le plan mathématique et physiologique, la VO₂ est régie par l'équation de Fick, qui illustre l'interaction entre les fonctions cardiaque et musculaire : $VO_2 = FC \times VES \times (CaO_2 - CvO_2)$ [7].

→ **FC (fréquence cardiaque) × VES (volume d'éjection systolique)** : représente le débit cardiaque (apport d'oxygène par le cœur) [7].

→ **CaO₂ - CvO₂ (différence artério-veineuse)** : représente la capacité des muscles à extraire l'oxygène du sang [7].

Ainsi, une altération de la VO₂ max chez un patient cardiaque peut résulter soit d'une défaillance de la "pompe" (dysfonction centrale), soit d'un déconditionnement musculaire (dysfonction périphérique) [1,11].

1.3. Concept de plateau et de VO₂ pic :

- **VO₂ max** : théoriquement, lors d'un effort triangulaire (charge croissante), la consommation d'oxygène augmente linéairement jusqu'à atteindre un plateau, niveau où elle ne progresse plus malgré l'augmentation de l'intensité de l'effort [6,9].

- **VO₂ pic** : en pratique clinique, notamment chez les patients cardiaques ou les sujets sédentaires, ce plateau est rarement observé. On utilise alors le terme de VO₂ pic, qui correspond à la valeur la plus élevée atteinte juste avant l'arrêt de l'effort par épuisement [10].

1.4. Facteurs de variation et valeurs normales :

La VO₂ max n'est pas une valeur fixe ; elle varie selon plusieurs facteurs :

- **L'âge** : il diminue progressivement avec le vieillissement [11].
- **Le sexe** : elle est généralement plus basse chez la femme (environ 30–35 ml/kg/min chez le sujet sain) que chez l'homme [6].
- **L'entraînement** : les sportifs d'endurance peuvent atteindre des valeurs de 70 à 80 ml/kg/min [6].
- **La pathologie** : chez l'insuffisant cardiaque, elle peut tomber entre 10 et 20 ml/kg/min [6].

Une aptitude aérobie est considérée comme normale lorsqu'elle est supérieure à 80 % de la valeur théorique prédite (souvent par les équations de Wasserman ou de Cooper) [7,10].

1.5. Intérêt clinique en cardiologie :

L'évaluation de la VO₂ max revêt plusieurs intérêts majeurs :

- **Pronostic** : une faible VO₂ max est un prédicteur puissant de morbi-mortalité cardiovasculaire [6,8]. Chaque gain de 1 MET (3,5 ml/min/kg) obtenu après réadaptation réduit le risque de mortalité de 8 % à 20 % [6,12].
- **Diagnostic** : elle permet d'identifier l'origine d'une dyspnée d'effort (cardiaque, respiratoire ou musculaire) [10,13].

- **Suivi** : elle sert de guide pour prescrire l'intensité du réentraînement en réadaptation cardiaque et pour mesurer l'efficacité des traitements [10,14].

1.6. Paramètres sous-maximaux associés :

Si l'épreuve n'est pas maximale, d'autres indices dérivés de l'EFX sont précieux :

- **Le premier seuil ventilatoire (SV1)** : reflet du niveau d'effort que le patient peut maintenir sans fatigue excessive (seuil d'adaptation périphérique) [6,10].
- **La pente VE/VCO₂** : marqueur de l'efficacité ventilatoire, très sensible aux anomalies de perfusion pulmonaire [7,10].
- **Le pouls d'O₂ (VO₂/FC)** : il correspond au volume d'oxygène consommé par battement cardiaque (ml/battement) et reflète le produit du volume d'éjection systolique et de la différence artérioveineuse en oxygène. Il est utilisé comme indicateur indirect du débit cardiaque à l'effort et sa courbe permet de distinguer une limitation cardiaque centrale d'un déconditionnement périphérique [6].
- **Le rapport d'échanges respiratoires (RER)** : Il correspond au rapport entre la production de gaz carbonique (CO₂) et la consommation d'oxygène (O₂) par minute. C'est le principal critère objectif pour déterminer si un patient a fourni un effort maximal [6]. On considère généralement qu'un test est maximal lorsque le RER est supérieur à 1,1 [6]. Un RER > 1,0 indique que le métabolisme anaérobie a pris le relais du métabolisme aérobie, entraînant une production excessive de CO₂ pour tamponner l'acidose lactique produite par les muscles [15].
- **L'OUES** : Indice de l'efficacité du transport de l'oxygène, calculable même sur un effort sous-maximal [6].

2. La réadaptation cardiaque :

La réadaptation cardiaque est définie par l'OMS comme l'ensemble des activités nécessaires pour influencer favorablement le processus évolutif de la maladie cardiovasculaire, tout en assurant aux patients la meilleure condition physique, mentale et sociale possible [6]. Il s'agit d'une intervention multidisciplinaire, systémique et personnalisée, considérée aujourd'hui comme un pilier central de la prévention secondaire [16].

2.3. Objectifs et principes fondamentaux :

La finalité de la RC est de permettre aux patients de devenir les acteurs responsables de l'optimisation de leur état de santé [6]. Son fondement repose sur un trépied thérapeutique indissociable [6,10]:

- **Le réentraînement physique** : élément clé visant à améliorer la performance myocardique et périphérique par des exercices programmés et gradués [6].
- **L'optimisation du traitement médical** : titration des thérapeutiques (bêtabloquants, inhibiteurs du SRAA) adaptée au mode de vie et à la réponse à l'effort [6].
- **L'éducation thérapeutique (ETP)** : acquisition de compétences pour gérer les facteurs de risque (sevrage tabagique, nutrition, observance) et reconnaître les signes d'alerte [6].

2.4. Les trois phases de la réadaptation :

Le protocole de prise en charge se déroule classiquement en trois étapes chronologiques [16]:

- **Phase I (hospitalière)** : débute dès la stabilisation clinique à l'hôpital après un événement aigu (infarctus, chirurgie) [9,10]. Elle vise la mobilisation précoce pour prévenir les complications de l'alitement et préparer le retour à domicile [9].

- **Phase II (ambulatoire ou convalescence active)** : Phase de 2 à 3 mois (environ 20 à 36 séances) réalisée en centre spécialisé sous surveillance cardiologique [16]. C'est ici qu'intervient l'épreuve d'effort initiale pour calibrer le réentraînement [12].
- **Phase III (Maintenance)** : phase à long terme, voire à vie, au cours de laquelle le patient maintient les bénéfices acquis de manière autonome ou semi-autonome, grâce à des mesures hygiéno-diététiques et à une activité physique régulière [9].

2.5. Indications et contre-indications :

La RC fait l'objet d'une recommandation de classe I pour les principales cardiopathies[17]

→ **Indications** [18]:

- SCA.
- Angine de poitrine stable.
- Post-angioplastie.
- Pontage aorto-coronarien.
- Insuffisance cardiaque stable.
- Chirurgie valvulaire.
- Transplantation cardiaque.
- Artériopathie des membres inférieurs.

→ **Contre-indications** : Elles sont principalement temporaires et incluent [19]:

- Le SCA non stabilisé.
- L'insuffisance cardiaque décompensée.
- Les troubles du rythme ventriculaire graves non contrôlés.
- L'hypertension artérielle pulmonaire sévère.
- Toute pathologie infectieuse évolutive.

2.6. Bénéfices cliniques et physiologiques :

L'apport de la RC sur le pronostic vital et fonctionnel est scientifiquement démontré [20] :

- **Morbi-mortalité** : elle réduit la mortalité cardiovasculaire de 20 à 26 % et le risque de ré-hospitalisation d'environ 30 % [6].
- **Capacité fonctionnelle** : elle permet une amélioration notable de la VO₂ max (gain moyen de 20 à 30 %) et du seuil ventilatoire (SV1), reculant ainsi le seuil d'ischémie et de fatigue [6].
- **Physiopathologie** : elle améliore la fonction endothéliale, diminue le stress oxydatif, augmente le tonus vagal et favorise la stabilisation des plaques d'athérome [16].
- **Psychologie et qualité de vie** : elle réduit l'anxiété et la dépression, renforce la confiance en soi et facilite la réinsertion socioprofessionnelle [6].

II. Discussion des résultats :

1. Données épidémiologiques :

1.1. L'âge :

Dans notre série, l'âge moyen était de 61,33 ans, avec une prédominance de la tranche 56–65 ans (40,74 %) et des extrêmes allant de 38 à 75 ans. Cela traduit une population de cardiologie adulte relativement âgée. À l'échelle nationale, nos résultats restent proches de ceux rapportés à Rabat, où l'âge moyen était de 57,29 ± 10,1 ans dans l'étude de Lazrak [6], de 60 ± 9,8 ans dans la thèse d'Abdelali avec des extrêmes de 36 à 76 ans [10], et de 59,92 ± 11,85 ans dans l'étude de réadaptation chez la femme marocaine, avec un pic entre 65 et 74 ans [9]. Notre moyenne légèrement plus élevée suggère que les patients de Marrakech sont vus à un stade un peu plus tardif de leur pathologie, ou que le bassin de recrutement comprend davantage de sujets âgés.

Dans notre contexte local, l'âge moyen de 61,33 ans situe notre population à un niveau intermédiaire. Il est inférieur à celui observé dans l'insuffisance cardiaque ischémique à Marrakech, où l'âge moyen était de 67,2 ans avec 61% des patients entre 60 et 79 ans [21], mais nettement supérieur à celui rapporté en chirurgie thoracique à Marrakech, avec un âge moyen de 44,8 ans [22].

Sur le plan international, au Canada, l'étude du Toronto Rehabilitation Institute rapportait une moyenne identique de 62 ± 10 ans [6]. En Chine, l'âge moyen était de $61,9 \pm 8,7$ ans [18], tandis qu'en Inde il était de 60 ± 12 ans [10]. En Europe, une méta-analyse retrouvait un âge moyen de 56 ans, avec une grande variabilité allant de 49,3 à 71 ans [23]. En Allemagne, Lesniak et al. rapportaient un âge plus jeune, de $53,8 \pm 7,3$ ans, ce qui s'expliquait par un critère d'inclusion limitant les patients à moins de 65 ans [10]. Au Japon, le recrutement était plus âgé, avec 62,5 % de patients de plus de 70 ans [24]. Enfin, en France, l'étude menée à Wattrelos retrouvait un âge moyen de 57 ans, donc légèrement inférieur au nôtre [25].

Tableau II : Répartition des patients selon la moyenne d'âge

Pays / Région	Âge moyen / répartition d'âge
Notre série (Marrakech)	61,33 ans
Canada [11]	62 ± 10 ans
Chine [16]	$61,9 \pm 8,7$ ans
Inde [13]	60 ± 12 ans
Europe (méta-analyse) [26]	56 ans
Allemagne [13]	$53,8 \pm 7,3$ ans
Japon [27]	62,5 % de patients de plus de 70 ans
France (Wattrelos) [28]	57 ans

1.2. Le sexe :

Dans notre série, la prédominance masculine est modérée, avec 59,25 % d'hommes et 40,74 % de femmes, soit un sex-ratio H/F de 1,45. Ce profil est plus équilibré que celui retrouvé dans plusieurs cohortes africaines et maghrébines, mais reste conforme à la tendance générale de sous-représentation féminine décrite dans la littérature.

Au Maroc, dans l'étude d'Azhani et al. menée à l'Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V de Rabat, la population était majoritairement masculine, avec 90 % d'hommes et seulement 10 % de femmes [6].

De même, dans la thèse d'Abdelali (2021) réalisée à Rabat, les hommes représentaient 81,8 % de la population étudiée, contre 18,2 % de femmes, soit un sex-ratio de 4,5 [10]. Une autre série marocaine rapportait également une forte prédominance masculine, avec 70 % d'hommes [9].

Par ailleurs une étude sur l'insuffisance cardiaque ischémique a rapporté une prédominance masculine massive de 81,5 % [21]. Enfin, dans l'étude consacrée à la réadaptation cardiaque du valvulaire opéré, la prédominance masculine était aussi retrouvée, avec 55 % d'hommes [26].

En Europe, la répartition par sexe varie également selon les séries. En Allemagne, Lesniak et al. rapportaient seulement 22,7 % de femmes [6]. Au Portugal, la proportion féminine était encore plus faible, avec 14 % de femmes [6].

En France, dans une étude portant sur la réadaptation cardiaque après revascularisation à Wattrelos, les hommes représentaient 79 % des patients contre 21 % de femmes [25].

À l'inverse, certaines séries européennes montrent une répartition un peu plus équilibrée, comme en Suède, où le groupe de modélisation du test d'Ekblom-Bak comprenait environ 53,9 % d'hommes [27].

En Asie, la répartition est également variable selon les populations étudiées. En Chine, une étude menée à l'Université des Sports de Pékin chez des étudiants en thérapie manuelle retrouvait 67,5 % d'hommes contre 32,5 % de femmes [28].

En Inde, une étude portant sur des athlètes et des témoins sains montrait une répartition plus équilibrée, avec 53,33 % d'hommes et 46,66 % de femmes [29].

À Taiwan, au contraire, une étude chez 166 adultes sains destinée à prédire la VO₂ max rapportait 40 % d'hommes et 60 % de femmes [30], illustrant une prédominance féminine plus inhabituelle dans la littérature.

Aux États-Unis, l'étude COACH rapportait 38 % de femmes, un chiffre proche de notre résultat, tandis que l'essai HF-ACTION n'en comptait que 28 % [6].

Tableau III : Répartition selon le sexe

Pays / Région	% Hommes	% Femmes
Notre série	59,25%	40,74%
Maroc : Hôpital Militaire de Rabat (Azhani et al.) [6]	90%	10%
Maroc : thèse de Abdelali (2021) [13]	81,8%	18,2%
Maroc : autre série [10]	70%	30%
Maroc : insuffisance cardiaque ischémique [24]	81,5%	18,5%
Maroc : réadaptation cardiaque du valvulaire opéré [25]	55%	45%
Allemagne [11]	77,3%	22,7%
Portugal [11]	86%	14%
France : réadaptation cardiaque après revascularisation à Wattrelos [26]	79%	21%
Suède : test d'Ekblom-Bak [27]	53,9%	46,1%
Chine : Université des Sports de Pékin [28]	67,5%	32,5%
Inde : athlètes et témoins sains [29]	53,33%	46,66%
Taiwan : adultes sains pour prédire la VO2 max [30]	40%	60%
États-Unis : étude COACH [11]	62%	38%
États-Unis : essai HF-ACTION [11]	72%	28%

Bien que notre étude montre une meilleure inclusion des femmes que la moyenne marocaine, la prédominance masculine reste la règle. Plusieurs facteurs expliquent cette tendance globale retrouvée dans la littérature :

- **Orientation médicale** : Les sources indiquent que les femmes sont **moins souvent référées** par leurs médecins vers les épreuves d'effort et la réadaptation après un événement cardiaque [9].
- **Barrières socio-culturelles** : Les patientes expriment souvent des difficultés liées aux **obligations familiales** et ménagères, ou une réticence vis-à-vis des groupes d'exercice mixtes [31].
- **Perception de la maladie** : Une perception erronée selon laquelle ces tests sont réservés aux hommes ou aux sujets très sportifs freine l'adhésion féminine [9,31].

2. Données anthropométriques :

2.1. Indice de masse corporelle (IMC) :

L'analyse de l'indice de masse corporelle a montré une nette prédominance du surpoids. En effet, 96,3 % des patients, présentaient un IMC compris entre 25 et 29 kg/m², tandis qu'un seul patient, représentant 3,7 %, avait un IMC normal. Cette répartition traduit une population très homogène sur le plan pondéral, dominée par l'excès de poids.

Nos résultats s'inscrivent dans la tendance générale observée au Maroc, mais avec une concentration plus marquée dans la tranche du surpoids. À Rabat, l'étude d'Abdelali (2021) rapportait un IMC moyen de $26,8 \pm 3,3$ kg/m² ; parmi 33 patients, 18 étaient en surpoids et 6 obèses [10]. L'étude de Lazrak (2019) retrouvait également un IMC moyen de $26,56 \pm 7,3$ kg/m², avec une population décrite comme globalement en surcharge pondérale [6]. Dans la série de Graham (2020) portant sur des femmes à Rabat, la médiane de l'IMC était de 28,68 kg/m², avec 82,05 % de patientes en surpoids ou obèses [9].

2.2. L'impact de l'IMC sur la VO₂ max :

La prédominance du surpoids dans notre population a des implications directes sur l'interprétation de la VO₂ max. Un IMC élevé est fréquemment associé à une diminution de la condition physique, à un déconditionnement musculaire et à une augmentation du coût énergétique de l'effort [32].

Par ailleurs, la VO₂ max exprimée en ml/kg/min peut être mécaniquement diminuée chez les patients en surpoids, puisque le poids corporel total entre dans le calcul, alors que le tissu adipeux consomme peu d'oxygène [33]. Cela peut conduire à sous-estimer la capacité fonctionnelle réelle du patient si l'on ne tient compte que du poids total [34].

2.3. Intérêt clinique et réadaptation :

Sur le plan clinique, cette surcharge pondérale quasi constante renforce l'intérêt de l'épreuve cardio-respiratoire dans notre service, non seulement pour évaluer la capacité fonctionnelle, mais aussi pour orienter la prise en charge thérapeutique [21].

Dans ce contexte, la réadaptation cardiaque et les conseils hygiéno-diététiques ont une place essentielle, car une réduction même modeste du poids peut améliorer les paramètres cardiorespiratoires et métaboliques [5]. Ainsi, notre cohorte illustre bien le lien étroit entre excès pondéral, limitation fonctionnelle et intérêt pronostique de l'évaluation à l'effort.

3. Indication de l'épreuve cardio-respiratoire :

Dans notre série, les indications de l'épreuve cardio-respiratoire étaient dominées par l'insuffisance cardiaque, retrouvée chez 44,44 % des patients. Cette fréquence élevée s'explique par la place centrale de la VO₂ max dans cette pathologie, car l'EFX constitue l'examen de référence pour apprécier le pronostic, objectiver la limitation fonctionnelle et aider à discuter une transplantation cardiaque lorsque la VO₂ max devient très basse [11], en particulier autour de 14 ml/kg/min, voire 12 ml/kg/min sous bêtabloquants [35].

Cette prédominance à Marrakech contraste avec plusieurs séries marocaines, notamment à Rabat, où l'insuffisance cardiaque ne représentait que 1,6 % dans la série de Lazrak [6] et 2,56 % dans celle de Graham [9]. Cela suggère que notre service utilise l'EFX surtout comme outil de stratification du risque chez des patients plus sévèrement atteints, plutôt que comme un simple examen de suivi post-infarctus stabilisé.

L'évaluation préopératoire arrivait en deuxième position avec 25,93 % des indications. Ce recours est logique, car l'épreuve cardio-respiratoire permet d'estimer la réserve fonctionnelle avant une chirurgie majeure [11] et d'identifier les patients à risque de complications postopératoires [10].

La dyspnée représentait ensuite 18,52 % des indications, l'EFX étant alors particulièrement utile pour préciser l'origine de l'essoufflement, qu'elle soit cardiaque, respiratoire ou liée au déconditionnement [11]. Au contexte international, l'évaluation de la dyspnée inexpliquée reste l'une des indications fondamentales de l'ergospirométrie dans la littérature mondiale, permettant une approche diagnostique intégrée [11].

Enfin, la maladie coronarienne ne représentait que 11,11 % des cas, ce qui est nettement inférieur aux séries marocaines où la cardiopathie ischémique domine largement, comme chez Abdelali avec 97 % [10], chez Lazrak avec 82,4 % [6], ou chez Graham avec 69,23 % [9]. Ainsi, dans notre contexte, l'EFX apparaît moins centrée sur la coronaropathie stable et davantage orientée vers les situations complexes, notamment l'insuffisance cardiaque, l'évaluation préopératoire et la dyspnée inexpliquée.

4. Facteurs de risque cardiovasculaire (FDRCV) :

4.1. La sédentarité :

La sédentarité constitue, dans notre série, le facteur de risque le plus fréquent, avec un taux de 77,78 %.

Cette proportion est nettement supérieure à celle rapportée dans l'étude de l'Hôpital Militaire de Rabat, où elle était de 40 % [26], ainsi qu'à celle observée dans une cohorte de réadaptation à Wattrelos, en France, où elle atteignait 58,19 % [25]. Ce résultat souligne le poids important de l'inactivité physique dans notre population et renforce l'intérêt du réentraînement à l'effort dans ce contexte [26].

La sédentarité est reconnue comme un facteur de risque indépendant qui aggrave l'hypertension et le diabète [25]. Sa forte prévalence dans notre étude confirme qu'il s'agit d'un problème majeur de santé publique au 21^e siècle [36]. La littérature montre d'ailleurs que les sujets sédentaires présentent un risque de maladie coronarienne deux fois plus élevé que chez les individus actifs [37]. Par ailleurs, une sédentarité prolongée s'accompagne d'une baisse marquée de la VO₂ max, pouvant aller jusqu'à 27 % en seulement 20 jours d'immobilisation [38], ce qui explique la faible capacité cardiorespiratoire souvent retrouvée chez les patients hospitalisés. Cette diminution de la capacité cardiorespiratoire est particulièrement importante à considérer, car chaque augmentation de la capacité d'exercice de 1 MET est associée à une amélioration de la survie de 10 à 25 % [28].

4.2. Le diabète :

Le diabète occupe une place majeure dans notre série, avec une prévalence de 59,26 %, ce qui en fait l'un des principaux déterminants du profil de risque observé. Ce taux est nettement supérieur à celui rapporté dans plusieurs séries marocaines, notamment à Rabat, où Lazrak retrouvait 35,3 % [6], et Abdelali 42,42 % [10]. Il dépasse également les chiffres observés à Marrakech dans une cohorte d'insuffisance cardiaque ischémique, où la prévalence atteignait 46 % [26].

À l'international, l'écart est encore plus marqué, avec des fréquences plus faibles rapportées en Allemagne 16,3 % et au Portugal 14 % [10], tandis que les séries européennes se situent généralement entre 18 % et 30 % [25].

Cette forte représentation du diabète dans notre population est importante à souligner, car le diabète de type 2 altère l'utilisation du glucose comme substrat énergétique [3], favorise le dysfonctionnement mitochondrial musculaire et contribue ainsi à la diminution de la VO₂ max [39]. En pratique, cela renforce l'intérêt d'une prise en charge structurée associant contrôle métabolique et réadaptation à l'effort.

4.3. Le sexe :

Le sexe masculin, qui représente 59,26 % de notre population, reste majoritaire dans notre étude et s'inscrit dans le profil épidémiologique classique des cardiopathies ischémiques. Cette prédominance est conforme aux données de la littérature, selon lesquelles l'homme est exposé plus précocement au risque d'athérosclérose, alors que les œstrogènes exercent chez la femme un effet protecteur avant la ménopause [26].

Ainsi, la différence de fréquence observée entre les sexes s'explique en partie par des mécanismes biologiques, mais aussi par une exposition plus précoce des hommes aux facteurs de risque cardiovasculaire [40].

4.4. La dyslipidémie :

La dyslipidémie occupe une place importante dans notre série, avec une prévalence de 55,56 %, ce qui traduit un profil cardiovasculaire particulièrement athérogène. Ce taux est supérieur à celui rapporté à Rabat, où Lazrak retrouvait 26,5 % [6], et Abdelali 28 %. À l'international, notre résultat reste également au-dessus de plusieurs séries européennes, notamment en Allemagne où la dyslipidémie concernait 16,3 % des patients et au Portugal où elle ne touchait que 14 % [10].

Cette fréquence élevée est cliniquement importante, car la dyslipidémie favorise l'athérosclérose, la dysfonction endothéliale et la rigidité artérielle, avec un retentissement direct sur la capacité à l'effort [39]. Elle participe ainsi au vieillissement vasculaire précoce et peut contribuer à la diminution de la VO₂ max observée chez les patients cardiaques [41].

Dans notre contexte, elle renforce l'intérêt d'une prise en charge globale associant correction des facteurs de risque, traitement hypolipémiant et réadaptation cardiaque structurée.

4.5. L'HTA :

Dans notre série, l'HTA concernait 51,85 % des patients, ce qui situe notre population dans une fourchette intermédiaire par rapport à la littérature.

À l'échelle nationale, ce taux est supérieur à celui rapporté par Lazrak à Rabat (32,1 %) [6] et plus proche de celui observé chez la population féminine étudiée par Graham (48,72 %) [9]. Il est également proche des résultats de l'Hôpital Militaire de Marrakech (51 %) [21], ce qui confirme que l'HTA reste un problème majeur de santé publique au Maroc [21].

Sur le plan international, notre fréquence reste inférieure à celle observée dans plusieurs séries européennes et asiatiques, où l'HTA dépasse souvent 60 % des patients cardiaques, notamment en Allemagne (66,8 %) et dans l'étude de Popovic (69,7 %) [10]. En France, la prévalence rapportée est aussi plus élevée, atteignant 64,36% dans le Nord de la France [25]. L'HTA contribue au vieillissement vasculaire précoce [41], en favorisant la dysfonction endothéliale et la rigidité artérielle, ce qui limite le transport de l'oxygène vers les muscles à l'effort et peut donc altérer la performance lors de l'épreuve cardio-respiratoire [39].

4.6. Le tabagisme :

Le tabagisme concernait 51,85 % de nos patients, ce qui en fait un facteur de risque important dans notre série. Ce taux est comparable à celui retrouvé par Abdelali à Rabat, qui rapportait 54,5 % [10], mais il reste inférieur à celui observé par Lazrak, où la fréquence atteignait 70,6 % [6], ainsi qu'à la population militaire locale où elle avoisinait 71 % [21].

Ces chiffres confirment que le tabac demeure très fréquent dans les populations coronariennes marocaines, avec une variabilité selon les centres et les profils recrutés.

Sur le plan physiopathologique, le tabagisme constitue un facteur causal majeur de maladie coronaire, car il favorise l'athérosclérose, la vasoconstriction et la diminution de la tolérance à l'effort. Il est aussi associé à un risque plus élevé d'abandon des programmes de réadaptation cardiaque [26], ce qui renforce l'intérêt d'une prise en charge structurée du sevrage tabagique dès le début du parcours de soins. Dans ce contexte, sa prévalence élevée dans notre série souligne l'importance de l'évaluation fonctionnelle et de l'éducation thérapeutique dans la prévention secondaire [36].

5. Données cliniques :

5.1. Signes fonctionnels : Dyspnée :

a. Prévalence de la dyspnée :

La dyspnée était présente chez 74,07 % de nos patients, ce qui montre que notre population était globalement symptomatique au moment de l'évaluation. Ce taux est inférieur à celui rapporté dans l'étude de l'Hôpital Militaire Avicenne de Marrakech, où la dyspnée était quasi constante avec 96,9 % des patients atteints [21], mais il reste supérieur à celui retrouvé dans la chirurgie thoracique à Marrakech, où elle n'était présente que dans 44,4% des cas [2], ainsi que celui rapporté dans l'étude de Abdelali à Rabat (2021), où 97 % des patients avaient un examen clinique initial normal au repos [10].

Notre série se situe donc à un niveau intermédiaire, traduisant un recrutement plus diversifié, allant de patients insuffisants cardiaques symptomatiques à d'autres en cours d'exploration ou de réadaptation.

b. Stades de la dyspnée :

La classification NYHA montre également une atteinte fonctionnelle non négligeable, avec 25,93 % de classe I, 29,63 % de classe II, 33,33 % de classe III et 11,11 % de classe IV.

Ainsi, plus de 44,44 % de nos patients étaient en classes III ou IV, ce qui reflète une limitation fonctionnelle marquée. Cette répartition diffère des séries de réadaptation plus stables, comme au Japon, l'étude de Nishijima et al, où seuls les patients de classe I ou II étaient inclus [42], et elle se rapproche davantage des populations de réadaptation cardiaque européennes, souvent dominées par les classes II et III [6]. Cela souligne que notre centre prend en charge des patients symptomatiques, parfois très fragiles, chez qui l'épreuve cardio-respiratoire apporte une valeur ajoutée importante pour quantifier objectivement la réserve fonctionnelle et orienter la réadaptation.

6. Données paracliniques :

6.1. Échocardiographie transthoracique (ETT) :

L'évaluation échocardiographique a montré dans notre série une atteinte de la fonction systolique non négligeable. En effet, 48,15 % des patients avaient une FEVG conservée, alors que 51,85 % présentaient une altération de la fonction systolique, dont 37,04 % avaient une FEVG sévèrement réduite, inférieure à 40 %. Ces résultats traduisent le recrutement d'une population cardiaque globalement fragile, souvent prise en charge à un stade déjà avancé de sa pathologie. Cette sévérité fonctionnelle concorde d'ailleurs avec les stades cliniques observés précédemment, notamment la fréquence importante des classes NYHA III et IV.

Comparativement aux données marocaines, notre population apparaît plus sévèrement atteinte que celles rapportées à Rabat. Dans l'étude de Graham, la FEVG était conservée chez 64,10 % des patientes et les altérations sévères ne concernaient que 12,82 % des cas [9]. Dans la cohorte d'Abdelali, la FEVG moyenne était de 53 ± 10 %, avec 55 % de FEVG préservée et seulement 6 % d'altération sévère [10]. L'expérience de Lazrak montrait également une FEVG moyenne préservée, autour de $51,87 \pm 12,3$ % [6].

À Marrakech, notre série se distingue donc par une proportion plus élevée de dysfonction systolique sévère, ce qui suggère que les patients adressés au CHU Mohammed VI arrivent souvent à un stade plus avancé de cardiopathie que ceux des centres de Rabat, où l'on retrouve davantage de patients stabilisés après revascularisation.

Sur le plan international, nos résultats sont également plus sévères que ceux rapportés dans plusieurs cohortes de réadaptation. Au Portugal, Rosa et al. décrivaient une FEVG moyenne de $54,1 \pm 9,9 \%$ [6], tandis qu'en France, à l'Hôpital Léopold Bellan, la moyenne était de $52,7 \pm 12,1\%$ [10]. Ces données sont plus proches de cohortes de patients relativement stables. En revanche, notre série se rapproche des populations d'insuffisance cardiaque sévère, comme dans l'étude HF-ACTION, qui ciblait des patients avec une FEVG $\leq 35 \%$ [6,9]. Cela confirme que notre travail inclut une proportion importante de patients à haut risque, pour lesquels l'épreuve cardio-respiratoire prend tout son sens.

Il est important de rappeler que la FEVG de repos ne reflète pas toujours fidèlement la capacité fonctionnelle réelle du patient [6]. Un sujet avec une FEVG très altérée peut parfois conserver une VO₂ max relativement correcte grâce à une adaptation périphérique satisfaisante [8], alors qu'un patient avec une FEVG préservée peut présenter une limitation importante à l'effort en raison d'un déconditionnement musculaire ou d'une dysfonction diastolique [43]. Ainsi, la relation entre FEVG et capacité d'exercice reste imparfaite, ce qui justifie l'intérêt de la mesure de la VO₂ max dans notre population [44].

Sur le plan pronostique, la présence de 37,04 % de patients avec une FEVG inférieure à 40 % mérite une attention particulière. Dans cette catégorie, le risque cardiovasculaire est plus élevé et la surveillance à l'effort doit être prudente [10]. L'épreuve cardio-respiratoire permet alors d'objectiver la réserve fonctionnelle réelle et d'orienter la réadaptation de façon adaptée, parfois sous une forme plus progressive ou segmentaire [6,10]. Dans ce contexte, la VO₂ max constitue un outil essentiel pour compléter l'évaluation échocardiographique et mieux guider la prise en charge des patients cardiaques [6].

7. Groupe insuffisance cardiaque :

7.1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire (EFX) pré-réadaptation :

a. VO₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

Dans notre série, le groupe d'insuffisance cardiaque présente la VO₂ max moyenne la plus basse, avec 11,75 ml/kg/min, traduisant une limitation fonctionnelle majeure. Cette valeur situe la majorité de ces patients dans une zone de capacité aérobie sévèrement réduite, compatible avec les tableaux d'insuffisance cardiaque avancée décrits dans la littérature, où une VO₂ pic comprise entre 10 et 20 ml/kg/min est typique des profils les plus sévères [6].

Selon la classification de Weber, une VO₂ pic entre 10 et 16 ml/kg/min correspond à la classe C, caractérisée par une atteinte modérée à sévère de la capacité d'effort [5]; à 11,75 ml/kg/min, nos patients se situent au cœur de cette catégorie, confirmant le poids fonctionnel de la maladie dans ce groupe. Sur le plan pronostique, cette valeur se rapproche des seuils utilisés dans les recommandations internationales pour la transplantation cardiaque [35]: une VO₂ max inférieure à 10 ml/kg/min, ou comprise entre 11 et 14 ml/kg/min selon l'âge et le traitement bêtabloquant, constitue en effet un critère fort pour discuter l'inscription sur liste de greffe [40]. La proximité de notre moyenne (11,75 ml/kg/min) avec ces seuils renforce le caractère préoccupant du profil de nos insuffisants cardiaques.

Comparée à d'autres populations chroniques, cette valeur apparaît particulièrement basse. Des études menées chez des patients atteints de sclérose en plaques sévèrement fatigués rapportent par exemple des VO₂ max autour de 11,3 ml/kg/min, soit des niveaux de déconditionnement extrêmes similaires à ceux observés dans notre cohorte [40].

À l'inverse, des travaux réalisés chez des patients diabétiques de type 2, notamment en Amérique du Nord, montrent des VO₂ max moyennes proches de 20 ml/kg/min [40], soit presque le double de celle de nos insuffisants cardiaques, soulignant le caractère singulièrement altéré de la capacité aérobie dans notre série.

Sur le plan physiopathologique, cette VO₂ max effondrée traduit la combinaison d'une défaillance centrale et périphérique. La dysfonction de la pompe cardiaque limite l'augmentation du débit cardiaque à l'effort, alors que, en aval, le déconditionnement musculaire, la réduction de la masse musculaire fonctionnelle et la mauvaise extraction périphérique de l'oxygène aggravent encore la chute de la VO₂ [8]. Ce double mécanisme explique que, malgré une optimisation thérapeutique médicamenteuse, ces patients conservent une dyspnée avancée (NYHA III-IV) et une tolérance à l'effort très réduite [6]. Dans ce contexte, la VO₂ max mesurée par épreuve cardio-respiratoire apparaît comme un marqueur intégrateur de la sévérité de l'insuffisance cardiaque, utile à la fois pour la stratification du risque, la discussion d'indications avancées (transplantation, assistance circulatoire) et la justification d'un programme intensif de réadaptation cardiaque [43].

Concernant la Vo₂ théorique, le groupe d'insuffisance cardiaque présente la valeur la plus basse, avec seulement 43,33 %, ce qui traduit une atteinte fonctionnelle majeure. Les recommandations internationales soulignent qu'une VO₂ de pointe inférieure à 50 % de la théorie chez un patient insuffisant cardiaque systolique correspond à un stade de limitation sévère et de haut risque de mortalité [35]. Ce profil est d'autant plus préoccupant que ces pourcentages sont souvent associés à des valeurs absolues de VO₂ max inférieures à 12 ml/kg/min, seuil classiquement retenu comme critère de mauvais pronostic et d'indication possible d'une transplantation cardiaque ou d'une assistance ventriculaire [42].

Sur le plan physiopathologique, ce niveau à 43,33 % reflète une altération profonde de la cascade de transport de l'oxygène : la pompe cardiaque défaillante ne parvient pas à augmenter le débit cardiaque à l'effort, tandis que des anomalies périphériques (déconditionnement musculaire, dysfonction endothéliale, réduction de la biodisponibilité de l'oxyde nitrique) limitent la vasodilatation et l'extraction d'oxygène au niveau tissulaire [39]. Ce tableau s'accompagne d'un recours précoce au métabolisme anaérobie (SV1 abaissé) et d'une inefficience ventilatoire (VE/VCO₂ élevé), renforçant la sévérité du handicap fonctionnel [6].

Ce profil est plus sévère que celui observé classiquement chez les coronariens stables, confirmant que les patients insuffisants cardiaques pris en charge au CHU de Marrakech sont adressés à un stade avancé de dysfonction myocardique.

b. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Le groupe d'insuffisance cardiaque présente le SV1 moyen le plus bas, à 9,92 ml/kg/min, en dessous du seuil critique de 10-11 ml/kg/min décrit comme associé à une capacité fonctionnelle très réduite et à un risque cardiovasculaire élevé [3]. Nos résultats sont proches des profils de patients très limités décrits dans le guide de Balady, où un SV1 de 8,5 ml/kg/min est caractéristique d'une intolérance marquée à l'exercice [35]. Ce niveau est cohérent avec les stades avancés d'insuffisance cardiaque rapportés dans la littérature, où la défaillance de la pompe cardiaque, associée au déconditionnement musculaire et à la dysfonction endothéliale [6], impose un recours très précoce au métabolisme anaérobie.

c. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Le RER (VCO₂/VO₂) est l'indicateur clé pour confirmer qu'un patient a atteint son maximum physiologique. Dans notre étude, la valeur moyenne de 1,07 (extrêmes de 1,02 à 1,10) témoigne d'un effort métabolique intense. Nos résultats sont extrêmement proches de ceux rapportés au Japon par Nishijima et al, où des patients cardiaques avant réadaptation atteignaient un RER moyen de $1,06 \pm 0,10$ [42].

Bien que de nombreuses études utilisent le seuil de 1,10 comme critère strict de maximalité [40], la littérature clinique admet qu'un RER > 1,00 ou 1,05 chez des patients lourdement pathologiques est suffisant pour valider une épreuve comme pic de performance [45]. Le fait que tous nos patients aient dépassé 1,02 garantit la fiabilité de nos mesures de VO₂ max.

La durée moyenne de l'effort de 6 minutes (extrêmes de 4 à 7,8 min) à Marrakech est un élément de discussion majeur. La littérature recommande généralement une durée d'épreuve entre 8 et 12 minutes pour permettre une réponse physiologique optimale [41].

Cependant, pour des populations spécifiques, des durées plus courtes sont acceptées. En Suède, certains protocoles maximaux sur tapis roulant sont calibrés pour durer entre 5 et 8 minutes [34].

Une moyenne de 6 minutes place nos patients dans la fourchette basse des standards. Cela suggère que les patients insuffisants cardiaques du CHU Mohammed VI sont sévèrement limités par les symptômes (dyspnée ou fatigue précoce). La littérature souligne qu'une durée inférieure à 8 minutes dans une population non pédiatrique peut parfois être jugée insuffisante pour mobiliser pleinement la réserve aérobie, mais elle est très fréquente chez les patients en stade NYHA III ou IV [33]. Ainsi que le fait que certains patients s'arrêtent dès 4 minutes souligne la difficulté de réaliser des protocoles de rampe standards chez les insuffisants cardiaques sévères.

d. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Le groupe d'insuffisance cardiaque présente le pouls d'O₂ moyen le plus bas, à 6,67 ml/battement. Cette valeur très faible est typique d'une dysfonction systolique sévère [6], traduisant l'incapacité du ventricule gauche à augmenter son volume d'éjection à l'effort [26]. Dans la littérature, un pouls d'O₂ bas, souvent en plateau ou même décroissant en fin d'effort, est classique chez les patients avec FEVG < 40 %, et signe une limitation centrale majeure [39]. Ce résultat est cohérent avec les autres paramètres de notre étude (VO₂ pic et SV1 effondrés), confirmant que, dans ce groupe, la pompe cardiaque est le facteur limitant principal.

e. Pente VE/VCO₂ :

Dans le groupe d'insuffisance cardiaque, la pente VE/VCO₂ atteint 38, valeur nettement pathologique. Elle se situe bien au-delà du seuil de 30 et se rapproche du seuil de 40 [10], décrit comme fortement associé à une morbi-mortalité accrue et parfois utilisé dans la stratification pour la transplantation [6].

Sur le plan physiopathologique, cette élévation reflète un déséquilibre ventilation-perfusion (V/Q) (zones ventilées mais mal perfusées), une hyperventilation liée à l'activation des chimiorécepteurs et une élévation des pressions pulmonaires, cohérentes avec des stades NYHA III-IV [6]. Dans ta série, cette pente confirme la sévérité de l'atteinte cardiaque déjà mise en évidence par la VO₂ max et le pouls d'O₂.

7.2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-réadaptation :

a. Vo₂ max :

Dans le groupe d'insuffisance cardiaque, la VO₂ max est passée de 11,75 à 16,75 ml/kg/min, soit un gain absolu de 5,0 ml/kg/min et une augmentation relative d'environ 42,5 %. Cette progression représente environ 1,4 MET, suffisante, selon les données de cohortes longitudinales, pour réduire sensiblement le risque de mortalité et d'événements cardiovasculaires [10].

Bien que la valeur absolue finale reste inférieure à celle des sujets sains, elle dépasse des seuils pronostiques essentiels : les patients sortent de la zone de transplantation (VO₂ pic < 12-14 ml/kg/min) [35] et se rapprochent des classes fonctionnelles plus favorables de Weber (classe B : 16-20 ml/kg/min) [5].

Les recommandations internationales considèrent déjà une augmentation de 20% de la VO₂ max comme un succès thérapeutique chez l'insuffisant cardiaque [8] ; nos 42,5% de gain dépassent largement ce seuil. Ces résultats sont comparables, voire supérieurs, à ceux rapportés dans les grands essais de réadaptation cardiaque : par exemple, une méta-analyse incluant 55 essais retrouve un gain moyen de VO₂ max de 3,3 ml/kg/min chez les coronariens et insuffisants cardiaques entraînés par rapport aux témoins [43], alors que nos patients IC gagnent 5,0 ml/kg/min. Ainsi ces taux de progression sont nettement supérieurs à ceux rapportés dans la littérature pour d'autres pathologies. Par exemple, une étude danoise sur l'asthme n'a observé qu'une amélioration de 8 % [40]. De même, l'amélioration rapportée chez des patients américains atteints de diabète de type 2 après supplémentation n'était que de 5,3 % [40].

Pour les patients atteints de sclérose en plaques, les gains varient généralement entre 10 et 15 % selon les protocoles [40].

- **Impact en termes de survie et de risque (concept de MET) :**

Le lien entre la capacité aérobie et le pronostic est maintenant bien établi : chaque augmentation de 1 MET ($\approx 3,5$ ml/kg/min) est associée à une réduction d'environ 10 à 15 % du risque de mortalité globale et cardiovasculaire [6].

Pour le groupe IC, le gain de 5,0 ml/kg/min correspond à environ 1,4 MET, ce qui suffit à améliorer nettement le pronostic, la tolérance à l'effort et la qualité de vie, même si ces patients demeurent dans une zone de vulnérabilité fonctionnelle [10].

- **Évolution de la VO₂ max après réadaptation :**

L'évaluation de la VO₂ max en fin de programme constitue l'indicateur central de l'efficacité de la réadaptation cardiorespiratoire.

Les performances obtenues à Marrakech s'inscrivent à un niveau tout à fait compétitif par rapport aux grandes séries publiées.

- **Toronto (Canada) :** une étude rapporte un passage de 21,1 à 26,5 ml/kg/min chez des patients cardiaques, soit un gain de +5,4 ml/kg/min (+26 %) [6]. Nos insuffisants cardiaques obtiennent un gain absolu très proche (+5,0 ml/kg/min), malgré une VO₂ de départ plus basse et une pathologie plus sévère.

Chez les patients insuffisants cardiaques, l'ampleur du gain de VO₂ max est particulièrement notable au regard d'un profil clinique défavorable : âge moyen élevé (61 ans), surcharge pondérale fréquente et sédentarité marquée, autant de facteurs habituellement associés à une faible capacité d'entraînement et à des réponses limitées à la réadaptation. Dans ce groupe, l'augmentation de la VO₂ max, associée à l'élévation du SV₁, du pouls d'O₂ et à l'amélioration de la pente VE/VCO₂, suggère une action synergique du programme sur plusieurs maillons de la cascade de transport de l'oxygène, en particulier une amélioration du débit cardiaque et de l'efficacité ventilatoire, permettant de sortir ces patients de zones de très mauvais pronostic fonctionnel et vital.

b. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Chez les insuffisants cardiaques, le SV1 est passé de 9,92 à 11,92 ml/kg/min, soit un gain absolu de +2,0 ml/kg/min, correspondant à une amélioration relative d'environ 20 % [6].

Cette progression se situe dans la fourchette de 15–25% généralement rapportée chez les patients IC chroniques après un programme de réentraînement bien conduit [6].

Sur le plan pronostique, ce résultat est majeur. Un SV1 inférieur à 11 ml/kg/min est décrit comme un marqueur de risque cardiovasculaire élevé, notamment en contexte périopératoire, alors qu'un SV1 supérieur à ce seuil est associé à une mortalité nettement plus faible [10]. En atteignant 11,92 ml/kg/min, nos patients sortent de la zone rouge de sévérité fonctionnelle et de haut risque [3], rejoignant les niveaux observés dans certaines cohortes japonaises de réadaptation cardiaque, où le SV1 post-réentraînement tourne autour de 10–11 ml/kg/min [42].

Sur le plan fonctionnel, ce recul du seuil ventilatoire signifie que l'apparition de la dyspnée et de la fatigue métabolique survient à des intensités d'effort plus élevées [10]. Les patients peuvent donc accomplir davantage d'activités domestiques et de marche quotidienne sans entrer précocement en acidose lactique, ce qui contribue à rompre le cercle vicieux du déconditionnement [10].

- **Intérêt du SV1 pour la prescription d'exercice et l'autonomie :**

Le SV1 présente un double intérêt : il est indépendant de la motivation (contrairement à la VO₂ max) et correspond à l'intensité d'effort soutenable sur la durée, proche de celle des activités de la vie quotidienne. Dans notre contexte :

Le déplacement du SV1 vers des valeurs plus élevées valide la stratégie de réadaptation, dont l'objectif était précisément de repousser le point de bascule aérobie-anaérobie [26]. Il permet de réajuster la fréquence cardiaque d'entraînement (FCE) : après réadaptation, les séances futures pourront être prescrites à une FC correspondant au nouveau SV1, ce qui optimise le rapport bénéfice/risque [35].

Il offre aux patients une marge de sécurité plus grande pour l'activité autonome : un SVI plus élevé signifie que des efforts courants (monter des escaliers, marcher en côte) se situent désormais en dessous du seuil ventilatoire, limitant l'essoufflement et encourageant la poursuite d'une activité physique régulière [35].

- **Évolution du sv1 post-réadaptation :**

L'augmentation du SVI dans les deux groupes s'inscrit dans la continuité des autres paramètres étudiés (VO₂ max, pouls d'O₂, VE/VCO₂) et témoigne d'une amélioration de l'ensemble de la cascade de transport de l'oxygène.

Les gains observés à Marrakech s'intègrent favorablement dans les données internationales, voire les dépassent :

- Dans l'étude de Chen et al . chez des insuffisants cardiaques, le SVI passait de 12,4 à 13,4 ml/kg/min, soit un gain d'environ +1,0 ml/kg/min ; notre cohorte IC obtient un gain double (+2,0 ml/kg/min) malgré une valeur de départ plus basse [46].

- Des travaux japonais (Sapporo) rapportent un SVI mathématiquement dérivé passant de $9,6 \pm 2,3$ à $10,2 \pm 2,4$ ml/kg/min chez des patients cardiaques, là où nos patients IC atteignent 11,92 ml/kg/min en post-réadaptation [42].

- Les méta-analyses de Sandercock et al confirment qu'un programme d'environ 20 séances permet habituellement une amélioration de 10-25 % du SVI, ce qui situe nos augmentations de 20% dans le haut de la fourchette [6].

Les adaptations centrales (meilleure réserve contractile et augmentation du débit cardiaque) semblent prédominer chez les insuffisants cardiaques, tandis que les adaptations périphériques (musculaires, mitochondriales et microvasculaires) sont particulièrement marquées chez les patients déconditionnés, avec en outre une amélioration de l'efficacité ventilatoire. Ainsi, le SVI post-réadaptation confirme que le programme du CHU Mohammed VI permet à la fois de sortir les insuffisants cardiaques d'une zone de pronostic très défavorable et de redonner aux patients déconditionnés une autonomie fonctionnelle proche de celle de sujets âgés en bonne santé.

c. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Dans notre étude, le rapport d'échange respiratoire (RER) moyen en post-réadaptation atteint 1,10 (plage de 1,08 à 1,13). Ce résultat est d'une importance capitale car il correspond exactement au critère de référence international (RER 1,10) utilisé pour définir une épreuve d'effort comme étant véritablement maximale [40].

En passant d'une moyenne de 1,07 en pré-réadaptation à 1,10 en post, nos patients démontrent une capacité accrue à tolérer l'acidose métabolique et à pousser l'exercice jusqu'à un épuisement physiologique plus complet.

Nos résultats surpassent légèrement ceux de Nishijima et al. au Japon, qui rapportaient un RER post-réadaptation de $1,09 \pm 0,11$ chez des patients cardiaques [42]. Cela confirme l'excellente qualité de l'engagement physique de nos patients après leur programme de réadaptation.

L'augmentation du temps d'effort moyen, passant de 6 minutes (en pré) à 9 minutes (en post), constitue l'un des signes les plus probants de l'efficacité de la réadaptation au CHU Mohammed VI. La littérature scientifique, notamment les recommandations de l'American Heart Association (AHA), préconise une durée d'effort comprise entre 8 et 12 minutes pour une évaluation optimale de la VO₂ max [40]. En pré-réadaptation nos patients étaient en dessous de cette norme (6 min) ; ils se situent désormais en plein cœur de cette fenêtre (9 min). Cette progression de 50 % du temps d'exercice reflète une amélioration spectaculaire de l'endurance et de la réserve fonctionnelle.

8. Groupe déconditionné :

8.1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire pré-reconditionnement :

a. Vo₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

Dans notre étude, le groupe déconditionné présente la VO₂ max moyenne la plus élevée, à 18,2 ml/kg/min, mais cette valeur reste très éloignée des normes de sujets sains.

Chez l'adulte en bonne santé, les VO₂ max se situent généralement autour de 30 à 50 ml/kg/min selon l'âge et le sexe, avec des valeurs souvent supérieures à 40-50 ml/kg/min chez les jeunes adultes sportifs [28]. Ainsi, une VO₂ max de 18,2 ml/kg/min correspond à un niveau classé comme « faible » ou « très pauvre » dans les tables de référence, souvent proche du 25^e percentile chez des sujets de 60-69 ans [3], ce qui traduit un désentraînement marqué.

Ce profil illustre parfaitement le cercle vicieux du déconditionnement : la sédentarité prolongée entraîne une amyotrophie, une baisse des enzymes oxydatives mitochondriales et une diminution de l'efficacité de l'extraction périphérique de l'oxygène, ce qui réduit la VO₂ max même en l'absence de cardiopathie structurelle sévère [7].

À Marrakech, la VO₂ max moyenne de 18,2 ml/kg/min mesurée chez ces patients est nettement inférieure aux valeurs rapportées dans des populations sédentaires saines d'autres pays : en Suisse, des groupes témoins adultes non entraînés présentent des VO₂ souvent comprises entre 40 et 50 ml/kg/min [40], et en Asie, des études montrent que même des femmes obèses peuvent atteindre des VO₂ moyennes autour de 23 ml/kg/min [40], supérieures à celles de notre cohorte.

Cela suggère que nos patients ne souffrent pas seulement d'un manque d'entraînement, mais d'un déconditionnement cardiorespiratoire profond, probablement aggravé par l'âge moyen élevé (61,33 ans) et la présence de comorbidités métaboliques comme le diabète.

Concernant la Vo₂ théorique, le groupe déconditionné atteint 55,6% de la valeur théorique, ce qui signifie que ces patients ont déjà perdu près de la moitié de leur capacité aérobie attendue pour leur profil.

Ce résultat est cohérent avec la forte prévalence de la sédentarité et du surpoids observée dans cette population, la littérature montrant qu'une inactivité prolongée peut entraîner une chute rapide de la VO₂ max, liée à l'amyotrophie, à la diminution des enzymes oxydatives mitochondriales et à la réduction de l'efficacité métabolique musculaire [8].

De façon paradoxale, ces patients déconditionnés présentent une capacité relative plus faible que celle des patients coronariens ischémiques (64,33%), illustrant que la sédentarité extrême peut induire un handicap fonctionnel comparable à celui d'une atteinte cardiaque structurelle stabilisée [35]. Ce groupe représente toutefois, sur le plan thérapeutique, un réservoir de progression important, car la limitation est essentiellement périphérique et potentiellement réversible par un réentraînement bien conduit.

b. Seuil ventilatoire 1 (SV1) :

Avec un SV1 moyen de 12,8 ml/kg/min, le groupe déconditionné possède la meilleure endurance aérobie relative de la série, tout en restant en deçà des valeurs attendues chez un sujet sain actif du même âge. [6]. Chez l'adulte sans pathologie majeure, le SV1 se situe habituellement entre 55 et 70% de la VO₂ max et permet de soutenir un effort prolongé sans dyspnée significative [6]. Le fait que nos patients déconditionnés aient un SV1 comparable à celui décrit chez des malades chroniques (sclérose en plaques, obésité sévère) montre que la sédentarité et le surpoids suffisent à abaisser le seuil ventilatoire à des niveaux pathologiques, entraînant une dyspnée d'effort précoce et une restriction secondaire des activités[6].

c. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Le rapport d'échange respiratoire (RER) est le critère physiologique majeur pour confirmer qu'un patient a atteint son maximum. Dans notre étude, la valeur moyenne de 1,08 (extrêmes de 1,05 à 1,10) chez les patients déconditionnés témoigne d'un engagement physique très satisfaisant. Nos résultats se situent juste à la limite du seuil de 1,10, qui est la référence internationale utilisée dans de nombreuses études pour valider une épreuve comme maximale [40]. Cette moyenne de 1,08 est quasiment identique aux valeurs de base rapportées chez des hommes jeunes en Estonie $1,09 \pm 0,04$ [47] et supérieure aux moyennes observées chez des patients cardiaques au Japon $1,06 \pm 0,10$ [42].

Cela prouve que, malgré leur déconditionnement, nos patients ont été capables de pousser l'effort jusqu'à une acidose métabolique significative, garantissant que la VO₂ max mesurée est un reflet fidèle de leur capacité réelle et non le résultat d'un arrêt prématuré par manque de motivation.

La durée moyenne de l'effort de 8 minutes (extrêmes de 7 à 9 min) à Marrakech est un résultat méthodologique remarquable. La littérature scientifique, notamment l'American Heart Association (AHA) et l'American Thoracic Society (ATS), recommande une durée d'épreuve comprise entre 8 et 12 minutes pour permettre une réponse cardiorespiratoire optimale [40].

En se situant à 8 minutes, notre protocole a parfaitement réussi à équilibrer le temps nécessaire pour mobiliser la cascade de transport de l'oxygène sans induire une fatigue musculaire locale précoce qui aurait pu survenir sur un test trop court ou trop long.

Ce temps est très proche de celui observé chez des femmes moyennement fit aux États-Unis lors de tests sur tapis roulant (9,1 minutes) [48]. Il est également en parfaite adéquation avec les protocoles pédiatriques recommandés en Pologne (10 ± 2 min) pour atteindre le maximum physiologique [33].

d. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Le groupe déconditionné présente le pouls d'O₂ le plus élevé, à 20,4 ml/battement. Ce niveau est proche, voire supérieur, aux valeurs rapportées chez des sujets sédentaires de poids normal, et compatible avec une fonction cardiaque structurellement saine [8].

Une étude polonaise confirme que les enfants obèses ont un pouls d'absolu supérieur à celui de leurs pairs de poids normal, car ils doivent générer une force supérieure pour l'exercice, bien que leur capacité relative au poids soit moindre [33]. Notre valeur de 20,4 ml/battement est comparable à celle d'une étude polonaise qui confirme que les enfants obèses ont un pouls d'O₂ absolu supérieur à celui de leurs pairs de poids normal, car ils doivent générer une force supérieure pour l'exercice, bien que leur capacité relative au poids soit moindre [33].

Notre valeur de 20,4 ml/battement est comparable à celle d'adultes sédentaires mais de forte corpulence, là où des athlètes d'endurance suisses ou des sujets sains plus légers pourraient avoir des valeurs similaires mais avec une VO₂ max relative bien supérieure [40]. Dans ce groupe, l'intolérance à l'effort n'est donc pas liée à une défaillance de la pompe cardiaque, mais à une dysfonction périphérique (musculaire, mitochondriale, microvasculaire) qui empêche d'exploiter pleinement cette bonne performance centrale [8].

e. Pente VE/VC02 :

Le groupe déconditionné présente la pente la plus basse, à 28,4, unique valeur strictement dans la norme (< 30) [10]. Cela montre que, malgré une VO₂ max réduite, le couplage ventilation-perfusion est bien préservé et qu'il n'existe pas de pathologie cardio-pulmonaire intrinsèque majeure [42]. L'essoufflement et la limitation à l'effort sont donc principalement liés au déconditionnement périphérique (musculaire, métabolique) et au surpoids, qui augmentent le coût ventilatoire sans altérer l'efficacité des échanges gazeux [35]. Ce groupe possède ainsi le meilleur potentiel de normalisation complète lors d'un réentraînement.

8.2. Épreuve d'effort cardiopulmonaire post-reconditionnement :

a. Vo2 max :

Chez les patients déconditionnés, la VO₂ max est passée de 18,2 à 27,6 ml/kg/min, soit un gain absolu de 9,4 ml/kg/min, correspondant à une progression relative d'environ 51,6%.

Ce gain équivaut à près de 2,7 METs (1 MET $\approx$ 3,5 ml/kg/min), alors que la littérature montre qu'une augmentation d'un seul MET s'accompagne déjà d'une réduction de 10 à 15% de la mortalité toutes causes confondues [26]. Sur le plan clinique, une VO₂ max de 27,6 ml/kg/min rapproche ces patients des valeurs attendues pour leur tranche d'âge, les faisant sortir des zones de « capacité très faible » associées à une surmortalité élevée [3].

Ces résultats dépassent largement les gains habituellement rapportés dans les programmes de réadaptation classiques, où l'augmentation de VO₂ max se situe le plus souvent entre 15 et 25 % [49], et dépassent également les séries marocaines de Rabat, telles qu'Abdelali (2021) [10] et Graham (2020) [9], qui rapportaient respectivement des gains de +3,4 et +3,3 ml/kg/min. De même, ils sont supérieurs aux progrès modestes observés dans d'autres pathologies chroniques (asthme, diabète de type 2, sclérose en plaques), où la progression varie plutôt entre 5 et 15 % [40]. Cette réponse spectaculaire s'explique par la nature essentiellement périphérique de la limitation initiale : le réentraînement a restauré l'efficacité métabolique musculaire (densité capillaire et mitochondriale), brisant rapidement le cercle vicieux de la sédentarité [5,29].

Nos gains à Marrakech sont nettement supérieurs à ces moyennes rapportées dans les séries françaises et marocaines : à Wattrelos (France), la VO₂ max post-réadaptation chez les coronariens masculins atteint 21,59 ml/kg/min (à partir de 18,17) [25]. À Rabat, l'étude de Fassi Fehri chez des valvulaires opérés rapporte un gain de 15,3 à 21,7 ml/kg/min [26], soit une progression importante mais néanmoins inférieure aux 51,6% observés dans notre groupe déconditionné.

Chez les patients déconditionnés, la progression spectaculaire de la VO₂ max, obtenue malgré un terrain similaire (âge, excès pondéral, sédentarité), témoigne d'un potentiel de réversibilité important lorsque l'inactivité et le désentraînement constituent le déterminant principal de l'intolérance à l'effort.

Dans ce groupe, l'augmentation parallèle du SV1, du pouls d'O₂ et de la VE/VCO₂ évoque surtout une optimisation de l'extraction périphérique de l'oxygène et une amélioration de la coordination cardio-respiratoire, permettant de rapprocher ces patients de niveaux de performance considérés comme quasi normaux pour leur âge, avec des gains supérieurs à ceux habituellement rapportés dans la littérature internationale pour des programmes de réadaptation standard.

b. Seuil ventilatoire (SV1) :

Dans le groupe déconditionné, le SV1 est passé de 12,8 à 16,2 ml/kg/min, soit un gain absolu de +3,4 ml/kg/min et une progression relative d'environ 26,5 %. Ce pourcentage d'augmentation est supérieur à celui du groupe IC, confirmant que la limitation initiale était essentiellement périphérique, sans frein central majeur lié à la pompe cardiaque [26] .

La valeur finale de 16,2 ml/kg/min est particulièrement satisfaisante : elle se situe largement au-dessus du seuil critique de 11 ml/kg/min utilisé pour identifier les patients à haut risque et dépasse le SV1 habituellement décrit chez des sujets sains mais sédentaires de plus de 60 ans, souvent autour de 12-13 ml/kg/min [10]. Elle est également supérieure aux gains modestes rapportés dans certaines populations chroniques (sclérose en plaques, obésité sévère), où l'augmentation du SV1 tourne plutôt autour de +0,9 à +1,0 ml/kg/min[57] [40].

Les gains observés à Marrakech s'intègrent favorablement dans les données internationales, voire les dépassent :

- En Allemagne (Hannover), des patients atteints de sclérose en plaques voient leur SV1 progresser de 12,8 à 13,7 ml/kg/min (+0,9 ml/kg/min), alors que notre groupe déconditionné gagne +3,4 ml/kg/min pour atteindre 16,2 ml/kg/min [36].

Ces résultats indiquent que les protocoles de réentraînement utilisés au CHU Mohammed VI sont au moins équivalents, voire plus efficaces, que ceux rapportés dans les séries européennes et nord-américaines pour des populations comparables.

c. Le rapport d'échanges respiratoires (RER) :

Dans notre étude, la valeur moyenne de 1,12 (extrêmes de 1,10 à 1,15) est un résultat méthodologiquement robuste. Dans la littérature, l'atteinte d'un RER 1,10 est le critère secondaire le plus utilisé pour confirmer que le patient a atteint sa réelle et non simplement un pic de performance [40].

En passant d'une moyenne de 1,08 en pré-reconditionnement à 1,12 en post, nos patients démontrent une amélioration de leur capacité à tolérer l'acidose lactique et à mobiliser leurs réserves anaérobies de manière plus complète [40]. Cette tendance à l'augmentation du RER après une période d'entraînement est également observée dans d'autres contextes de stress physiologique, comme lors d'expéditions prolongées où une hausse du RER de 7,8 % a été rapportée [50].

L'allongement du temps d'effort moyen constitue l'un des marqueurs les plus parlants de la restauration de la réserve fonctionnelle. Les sociétés savantes (AHA/ATS) recommandent une durée d'épreuve comprise entre 8 et 12 minutes afin d'obtenir une réponse cardiorespiratoire et métabolique optimale [40]. En pré-reconditionnement, avec une durée moyenne d'environ 8 minutes, nos patients se situaient à la limite inférieure de cette fenêtre idéale, une valeur proche des protocoles maximaux utilisés chez des sujets sédentaires en Suède (5 à 8 minutes) [34]. En post-reconditionnement, la durée moyenne d'effort de 11,9 minutes place nos épreuves au centre des standards internationaux, le gain de près de 50% du temps d'exercice constituant un argument direct en faveur de l'efficacité du programme de reconditionnement réalisé à Marrakech.

Le fait que les patients atteignent un RER plus élevé sur une durée significativement plus longue indique une optimisation de la cascade de transport de l'oxygène [51].

- **Capacité oxydative** : L'entraînement permet d'augmenter l'efficacité mitochondriale, retardant ainsi le point de bascule vers l'anaérobiose [36] .
- **Tolérance à l'effort** : nos patients, initialement sédentaires et en surpoids (96,3 %), ont acquis une stabilité physiologique leur permettant de soutenir une rampe d'effort beaucoup plus longue avant d'atteindre le stade de fatigue critique [52].

9. Groupe ischémique :

9.1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire :

a. Vo₂ max et pourcentage de la valeur théorique :

Dans notre série, le groupe ischémique présente une VO₂ max moyenne de 16 ml/kg/min, traduisant une limitation fonctionnelle non négligeable chez des patients coronariens pourtant revascularisés. Sur le plan national, cette valeur est très proche de celle rapportée par Abdelali à Rabat en 2021, avec une VO₂ max initiale de $15,36 \pm 5,47$ ml/kg/min [10], ce qui suggère un profil de déconditionnement comparable entre les deux centres universitaires. En revanche, notre moyenne reste nettement inférieure à celle de la série de Lazrak (Rabat, 2019), où la VO₂ max initiale atteignait $27,5 \pm 5,1$ ml/kg/min [6], ainsi qu'à la cohorte féminine de Graham (Rabat, 2020) qui rapportait une VO₂ max de 20,67 ml/kg/min [9], traduisant dans ces travaux une capacité aérobie mieux préservée que chez nos patients.

Ces écarts laissent penser que les patients ischémiques pris en charge au CHU de Marrakech présentent soit un déconditionnement plus marqué, soit des séquelles myocardiques post-infarctus plus importantes que dans certaines séries de Rabat. Ce constat renforce la pertinence d'une prise en charge en réadaptation cardiaque structurée et intensive, afin d'améliorer la tolérance à l'effort et le pronostic à moyen terme [53]. Sur le plan international, nos résultats s'inscrivent dans la continuité des données européennes, en particulier de l'étude de Wattrelos menée en France, qui retrouve des VO₂ max initiales moyennes de 18,17 ml/kg/min chez les hommes et 15,18 ml/kg/min chez les femmes coronariens [25], valeurs très proches de celles observées dans notre groupe.

Du point de vue de la classification de Weber, une VO₂ max de 16 ml/kg/min situe nos patients à la frontière entre les classes B et C, correspondant à une limitation fonctionnelle allant de modérée à modérément sévère [5].

Cette position intermédiaire suggère que, malgré la revascularisation, le plafond métabolique reste relativement bas, probablement en lien avec un déconditionnement physique associé ou une ischémie résiduelle limitant l'augmentation du débit cardiaque à l'effort [35]. Enfin, la VO₂ max de 16 ml/kg/min mesurée dans notre cohorte est remarquablement superposable aux résultats d'une étude japonaise menée chez des patients cardiaques, qui rapportait une moyenne de $16,0 \pm 4,0$ ml/kg/min [40]. Cette convergence avec les données asiatiques confirme que la maladie coronarienne, dès lors qu'elle altère la fonction ventriculaire, induit une réduction assez homogène de la performance aérobie, indépendamment du contexte géographique, et souligne la nécessité d'un programme de réadaptation cardiaque adapté pour optimiser la récupération fonctionnelle [40].

Concernant la VO₂ théorique, le groupe ischémique présente le pourcentage le plus élevé de la série, avec 64,33% de la valeur théorique, ce qui en fait le groupe le plus performant de notre cohorte. Néanmoins, cette valeur reste nettement inférieure au seuil de normalité ($\geq 80-85\%$), correspondant à un déficit d'environ 35% par rapport à une population saine de même âge, majoritairement post-infarctus, présentant des capacités fonctionnelles souvent plus proches de la normale en début de programme [8]. Cela suggère que nos patients ischémiques à Marrakech sont soit plus âgés, soit plus déconditionnés, soit présentent des séquelles myocardiques plus étendues.

Ce constat ne se limite pas au contexte marocain : Ce niveau est proche de celui rapporté dans les observations faites dans le Nord de la France (Wattrelos) de réadaptation cardiaque où les coronariens admis en programme présentent une limitation aérobie modérée avant réentraînement [25]. Ainsi au Japon, les patients présentent des limitations modérées similaires [42].

Sur le plan interprétatif, ce résultat suggère que, chez nos patients ischémiques, la fonction ventriculaire gauche est globalement mieux préservée qu'en cas d'insuffisance cardiaque, mais que la présence d'ischémie résiduelle à l'effort, associée à des facteurs de risque tels que le diabète de type 2, limite significativement la performance [39].

La littérature indique en effet que le diabète diminue systématiquement la VO₂ max d'environ 10–20% par rapport à des sujets non diabétiques, ce qui peut contribuer à l'écart observé par rapport aux valeurs théoriques [39].

b. Seuil ventilatoire (SV1) :

Le groupe ischémique présente un SV1 moyen de 11 ml/kg/min, exactement au voisinage du seuil pronostique critique [10]. Cette valeur, légèrement supérieure à celles des groupes IC et lobectomie, traduit néanmoins un déconditionnement périphérique significatif chez des coronariens pourtant revascularisés [9] . Elle est en accord avec les séries internationales de réadaptation cardiaque, où les coronariens déconditionnés se situent dans cette zone intermédiaire de vulnérabilité avant réentraînement. Ce groupe apparaît donc comme une cible privilégiée pour la réadaptation, avec un potentiel de recul du SV1 estimé à 20–30% après un programme bien conduit [6].

c. Pouls d'O₂ (ml/battement) :

Le groupe ischémique présente un pouls d'O₂ moyen de 11,67 ml/battement, situé dans une zone intermédiaire [6]. Cette valeur traduit une fonction systolique mieux préservée que dans l'IC, mais encore limitée par les séquelles de la maladie coronaire [10]. Sur le plan clinique, on sait qu'un infléchissement ou une chute du pouls d'O₂ en fin d'effort doit faire suspecter une ischémie myocardique d'effort, responsable d'une dysfonction contractile transitoire et d'un frein à l'augmentation du VES [10,39]. Ainsi, même si la performance cardiaque est supérieure à celle des insuffisants cardiaques, elle reste compatible avec une réserve coronaire réduite.

d. Pente VE/VCO₂ :

Chez les patients ischémiques, la pente VE/VCO₂ est de 32,33, soit une valeur légèrement au-dessus de la normale, traduisant une inefficience ventilatoire modérée [6].

Ce niveau est compatible avec une maladie coronaire stabilisée, sans insuffisance cardiaque majeure, où le débit cardiaque à l'effort peut être un peu limité mais sans remaniement pulmonaire sévère [15]. La littérature rapporte en effet que, dans la coronaropathie stable, la VE/VCO₂ reste souvent normale ou discrètement augmentée, à la différence de l'insuffisance cardiaque avancée [42]. Nos résultats suggèrent donc que l'atteinte ventilatoire chez ces coronariens reste secondaire et moins marquée que dans le groupe IC.

10. Groupe lobectomie :

10.1. Épreuve d'effort cardiopulmonaire :

a. Vo₂ max :

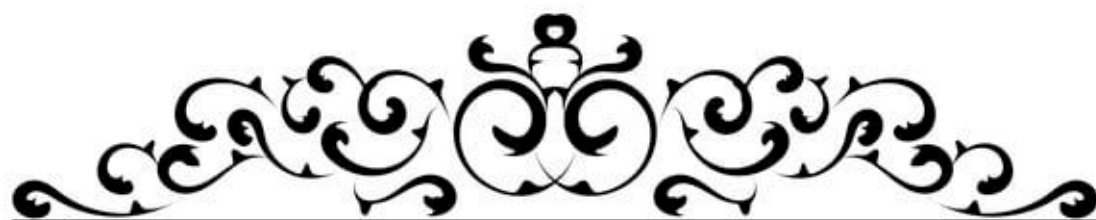
Dans notre série, le groupe lobectomie présente une VO₂ max moyenne de 15,71 ml/kg/min, ce qui traduit une réserve cardiorespiratoire limitée avant résection pulmonaire. Cette valeur est proche du seuil de 15 ml/kg/min classiquement retenu dans la littérature comme limite au-delà de laquelle le risque postopératoire est acceptable, et en deçà de laquelle le risque de complications respiratoires et cardiopulmonaires augmente significativement [54]. Les recommandations de l'ACCP et de l'ERS considèrent en effet la VO₂ max comme le meilleur prédicteur fonctionnel des complications après chirurgie pulmonaire majeure, devant les seules explorations fonctionnelles respiratoires statiques [54].

Sur le plan de la stratification du risque, une VO₂ max inférieure à 10 ml/kg/min est associée à un risque très élevé de mortalité et de complications majeures et constitue habituellement une contre-indication à une résection anatomique étendue [54]. À l'inverse, des valeurs supérieures à 20 ml/kg/min sont généralement rassurantes et compatibles avec un risque faible. Entre 10 et 20 ml/kg/min, les patients sont classés en zone de risque intermédiaire, nécessitant une évaluation plus fine et une discussion individualisée de l'indication opératoire [54].

Dans ce cadre, la moyenne de 14,86 ml/kg/min situe notre groupe lobectomie précisément dans cette zone intermédiaire à haut risque, ce qui justifie une approche prudente et multidisciplinaire.

b. Seuil ventilatoire (SV1) :

Chez les candidats à une lobectomie, le SV1 moyen est de 10,43 ml/kg/min, ce qui les place dans une zone de risque chirurgical non négligeable. Des études majeures (Older et al.) montrent que les patients ayant un seuil anaérobie inférieur à 11 ml/kg/min présentent un taux de mortalité cardiovasculaire postopératoire de 18 %, contre moins de 1 % pour ceux ayant un seuil supérieur [5]. Ce résultat suggère que nos patients lobectomies disposent d'une réserve cardiorespiratoire limitée [6], justifiant une évaluation ergospirométrique systématique et, si possible, une préhabilitation pour améliorer le SV1 avant l'intervention.



CONCLUSION



La maladie cardiovasculaire, en particulier l'insuffisance cardiaque et la cardiopathie ischémique, s'impose aujourd'hui comme un enjeu majeur de santé publique au Maroc, dans un contexte de transition épidémiologique marqué par le vieillissement de la population, la sédentarité et la forte prévalence du diabète, de l'HTA, de la dyslipidémie et du tabagisme.

Dans ce cadre, notre travail, réalisé au service de cardiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech, avait pour objectif d'évaluer la place de l'épreuve d'effort cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max dans la caractérisation des profils fonctionnels et dans le suivi de la réadaptation cardiaque.

L'analyse de notre cohorte met en évidence un profil de patients particulièrement à risque : âge moyen d'environ 61 ans, quasi-universalité du surpoids, forte proportion de diabétiques, d'hypertendus et de fumeurs, et part importante d'insuffisants cardiaques à FEVG altérée. Sur le plan fonctionnel, les valeurs initiales de VO₂ max, de SV1, de pouls d'oxygène et de pente VE/VCO₂ témoignent d'une altération profonde de la capacité cardiorespiratoire, avec une hiérarchie claire : patients insuffisants cardiaques au stade de sévérité avancée, profils lobectomie et ischémiques en limitation intermédiaire, et patients déconditionnés dont la restriction, bien que majeure, est essentiellement liée à la sédentarité et au surpoids. Ces données confirment que l'EFX ne se limite pas à un simple test d'effort, mais constitue un véritable outil de stratification du risque et d'orientation thérapeutique.

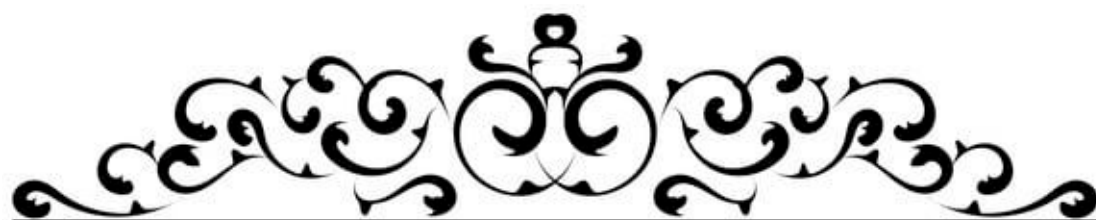
Les résultats obtenus après réadaptation cardiaque sont particulièrement probants. Les patients déconditionnés présentent des gains spectaculaires de VO₂ max et de SV1, dépassant largement les progressions habituellement rapportées dans la littérature, et retrouvant une capacité d'exercice proche des normes pour leur tranche d'âge. Les insuffisants cardiaques, malgré une pathologie plus lourde, bénéficient également d'une amélioration notable : sortie de la zone de transplantation, franchissement de seuils pronostiques critiques et recul significatif du seuil ventilatoire, avec à la clé une meilleure tolérance à l'effort et une réduction attendue du risque de morbi-mortalité.

L'augmentation concomitante du pouls d'oxygène et la diminution de la pente VE/VCO₂ confirment une amélioration globale de la cascade de transport de l'oxygène, mêlant adaptations centrales (débit cardiaque) et périphériques (musculaires et métaboliques).

Ces résultats montrent que la réadaptation cardiaque structurée, guidée par l'EFX et la VO₂ max, est non seulement faisable mais hautement efficace dans notre contexte, avec des performances comparables, voire supérieures, à celles décrites dans les grandes séries européennes et nord-américaines, alors même que nos patients sont plus âgés, plus diabétiques et plus déconditionnés. Ils valident l'organisation et les protocoles du CHU Mohammed VI, qui permet de proposer une prise en charge fonctionnelle de niveau international à des populations à très haut risque cardiovasculaire.

Toutefois, la sévérité du profil de risque observé dans cette thèse rappelle que la réadaptation, aussi performante soit-elle, intervient souvent tard dans l'histoire de la maladie. L'excès massif de surpoids, la forte prévalence du diabète, de l'HTA, de la dyslipidémie et du tabagisme imposent de déplacer le curseur en amont, vers une politique ambitieuse de prévention primaire et secondaire : dépistage précoce, promotion de l'activité physique, accompagnement au sevrage tabagique et prise en charge métabolique intensive. De même, l'accès à l'EFX et à la réadaptation cardiaque devrait être élargi, afin de corriger le déconditionnement avant que ne s'installent des limitations irréversibles.

En définitive, cette thèse atteste que l'épreuve d'effort cardio-respiratoire avec mesure de la VO₂ max est un pivot incontournable de la prise en charge cardiovasculaire moderne au CHU Mohammed VI de Marrakech, et que la réadaptation cardiaque structurée permet de transformer de manière significative le pronostic fonctionnel et vital de patients initialement très vulnérables. L'avenir de cette discipline au Maroc résidera dans notre capacité à maintenir cette exigence de qualité, à diffuser la culture de l'EFX et de la réadaptation au-delà des centres spécialisés, et à l'inscrire dans une stratégie globale de prévention, seule à même de freiner durablement la progression du fardeau cardiovasculaire dans notre pays.



RÉSUMÉ



Résumé :

Introduction :

Au Maroc, la progression rapide des maladies cardiovasculaires s'accompagne d'une explosion de la sédentarité, de l'obésité et des facteurs de risque métaboliques, rendant cruciale l'évaluation objective de la capacité fonctionnelle et la mise en place de programmes de réadaptation cardiaque. Dans ce contexte, l'EFX avec mesure de la vo₂ max est devenue l'examen de référence pour apprécier l'aptitude aérobie, identifier le mécanisme limitant l'effort et guider la prescription de l'exercice.

Cette étude a pour objectif de décrire l'expérience du service de cardiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech en matière d'EFX, d'analyser les profils fonctionnels des patients adressés et d'évaluer l'impact d'un programme de réadaptation cardiaque sur la VO₂ max et les principaux paramètres ventilatoires.

Patients et méthodes :

Nous avons mené une étude rétrospective descriptive sur une période de 2 ans, incluant l'ensemble des patients ayant bénéficié d'une épreuve cardio-respiratoire avec mesure de la vo₂ max au CHU Mohammed VI de Marrakech. Les données démographiques, les facteurs de risque cardiovasculaire, les indications de l'EFX, ainsi que les paramètres fonctionnels mesurés (VO₂ max absolue et en pourcentage de la théorique, SV1, pouls d'oxygène, pente VE/VCO₂) ont été analysés. Pour les groupes d'insuffisance cardiaque et déconditionnés, une comparaison pré-- et post-réadaptation a été réalisée afin de quantifier les gains d'aptitude aérobie.

Résultats :

La population étudiée est caractérisée par un âge moyen de 61 ans, une prédominance masculine modérée et une surcharge pondérale quasi constante, avec plus de 96% des patients en surpoids. Les facteurs de risque métaboliques sont très fréquents, en particulier le diabète (≈ 60%), la dyslipidémie et l'HTA, témoignant d'un profil cardiovasculaire à haut risque.

Fonctionnellement, la VO₂ max exprimée en pourcentage de la valeur théorique est fortement altérée dans tous les groupes, avec des valeurs particulièrement basses chez les insuffisants cardiaques ($\approx 43\%$), traduisant une réduction marquée de la capacité cardiorespiratoire. Le SV1, le pouls d'oxygène et la pente VE/VCO₂ confirment cette hiérarchie de sévérité, distinguant une limitation centrale majeure chez les insuffisants cardiaques d'un déconditionnement essentiellement périphérique dans le groupe déconditionné.

Après réadaptation, les deux groupes étudiés montrent une amélioration significative de l'aptitude aérobie. Le groupe déconditionné voit sa vo₂ max passer de 18,2 à 27,6 ml/kg/min et son SV1 de 12,8 à 16,2 ml/kg/min, soit des gains de plus de 50% et 26% respectivement, dépassant largement les progressions habituellement rapportées dans la littérature. Chez les insuffisants cardiaques, la VO₂ max augmente de 11,75 à 16,75 ml/kg/min et le SV1 de 9,92 à 11,92 ml/kg/min, permettant aux patients de sortir des zones de très mauvais pronostic (seuils de transplantation et SV1 < 11 ml/kg/min) et d'améliorer leur classe fonctionnelle. Parallèlement, le pouls d'oxygène s'élève et la pente VE/VCO₂ se normalise ou se rapproche des seuils de moindre risque, traduisant une amélioration globale de la cascade de transport de l'oxygène.

Conclusion :

L'EFX avec vo₂ max apparaît au CHU Mohammed VI comme un outil central pour quantifier le handicap fonctionnel et orienter la réadaptation cardiaque. Elle met en évidence des gains de vo₂ max, de SV1 et de pouls d'oxygène supérieurs aux standards internationaux après réentraînement. Ces améliorations permettent de sortir les insuffisants cardiaques des zones de mauvais pronostic et de rapprocher les patients déconditionnés des niveaux attendus pour leur âge. Elles justifient un accès plus large à l'EFX et aux programmes de réadaptation cardiaque. Elles soulignent enfin la nécessité de renforcer la prévention (sédentarité, surpoids, diabète, tabac) pour optimiser durablement ces bénéfices.

Abstract:

Background:

In Morocco, the rapid rise of cardiovascular diseases is closely linked to the explosion of sedentary lifestyles, obesity and metabolic risk factors, making the objective assessment of functional capacity and the implementation of cardiac rehabilitation programmes crucial. In this context, cardiopulmonary exercise testing (CPET) with measurement of peak VO₂ has become the reference tool to assess aerobic fitness, identify the main limiting mechanism during exercise and guide exercise prescription.

Objective:

The aim of this study was to describe the experience of the Cardiology Department at Mohammed VI University Hospital in Marrakech with CPET, to analyse the functional profiles of referred patients and to evaluate the impact of a structured cardiac rehabilitation programme on peak VO₂ and key ventilatory parameters.

Methods:

We conducted a retrospective descriptive study over a two-year period, including all patients who underwent a cardiopulmonary exercise test with peak VO₂ measurement at Mohammed VI University Hospital in Marrakech. Demographic data, cardiovascular risk factors, indications for CPET, and functional parameters (absolute and predicted peak VO₂, SVI, oxygen pulse, and VE/VCO₂ slope) were collected and analysed.

For the heart failure and deconditioned groups, pre- and post-rehabilitation CPET were compared in order to quantify the gains in aerobic capacity.

Results:

The study population was characterised by a mean age of 61 years, a moderate male predominance and an almost universal excess weight, with over 96% of patients being overweight. Metabolic risk factors were highly prevalent, particularly diabetes ($\approx 60\%$), dyslipidaemia and hypertension, reflecting a very high cardiovascular risk profile. From a functional standpoint, peak VO₂ expressed as a percentage of the predicted value was markedly reduced in all groups, with particularly low values in heart failure patients ($\approx 43\%$), indicating a profound impairment of cardiorespiratory capacity. SV1, oxygen pulse and VE/VCO₂ slope confirmed this hierarchy of severity, with a predominantly central limitation in heart failure and a mainly peripheral deconditioning pattern in the deconditioned group.

Following rehabilitation, both groups showed a significant improvement in aerobic fitness. In the deconditioned group, peak VO₂ increased from 18.2 to 27.6 ml/kg/min and SV1 from 12.8 to 16.2 ml/kg/min, corresponding to gains of more than 50% and 26%, clearly exceeding those usually reported in the literature. In the heart failure group, peak VO₂ rose from 11.75 to 16.75 ml/kg/min and SV1 from 9.92 to 11.92 ml/kg/min, allowing patients to move out of very poor prognostic zones (transplant thresholds and SV1 < 11 ml/kg/min) and to improve their functional class. In parallel, oxygen pulse increased and the VE/VCO₂ slope normalised or moved closer to low-risk thresholds, indicating a global enhancement of the oxygen transport cascade.

Conclusions:

CPET with peak VO₂ emerges at Mohammed VI University Hospital as a key tool to quantify functional impairment and to guide cardiac rehabilitation. It highlights improvements in peak VO₂, SV1 and oxygen pulse after training that exceed international standards. These gains help move heart failure patients out of high-risk prognostic categories and bring deconditioned patients closer to age-expected functional levels. They support broader access to CPET and cardiac rehabilitation programmes and underscore the need to strengthen primary and secondary prevention (targeting physical inactivity, excess weight, diabetes and smoking) in order to sustain these functional benefits over the long term.

ملخص

المقدمة:

في المغرب، يشهد انتشار الأمراض القلبية الوعائية تسارعاً ملحوظاً، بالتوازي مع ازدياد الخمول البدني، والسمنة، وعوامل الخطر الاستقلابية، مما يجعل التقييم الموضوعي للقدرة الوظيفية وتطوير برامج فعّالة لإعادة التأهيل القلبي أمراً حاسماً. في هذا السياق، أصبحت تجربة الجهد القلبي-التنفسي مع قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين الفحص المرجعي لتقدير الكفاءة الهوائية، وتحديد الآلية المحددة للجهد، وتوجيه وصف التمارين البدنية .

تهدف هذه الدراسة إلى عرض خبرة مصلحة أمراض القلب بالمركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس بمراكش في مجال تجربة الجهد القلبي-التنفسي، وتحليل الأنماط الوظيفية للمرضى المحالين، وتقييم تأثير برنامج منظم لإعادة التأهيل القلبي على VO2 max وعلى أهم المؤشرات التنفسية.

المرضى والطرق :

أجرينا دراسة وصفية استيعابية على مدى سنتين، شملت جميع المرضى الذين خضعوا لتجربة جهد قلبي-تنفسي مع قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين بالمركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس بمراكش. تم جمع المعطيات الديموغرافية، وعوامل الخطر القلبية الوعائية، ومؤشرات توجيه الفحص، إضافة إلى المعطيات الوظيفية المقاسة (VO2 max المطلقة والمعبّر عنها كنسبة مئوية من القيمة المتوقعة، العتبة التهوية الأولى SVI، نبضة الأكسجين، وميل منحنى VE/VCO2)

بالنسبة لمجموعتي قصور القلب والمرضى المُفْرِطِينَ في الخمول، تم إجراء مقارنة قبل وبعد إعادة التأهيل من أجل تقدير مكاسب الكفاءة الهوائية.

النتائج :

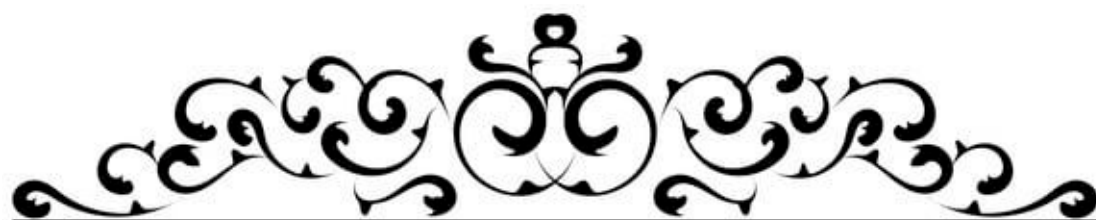
تميزت السلسلة المدروسة بمتوسط عمر قدره 61 سنة، وغلبة ذكورية متوسطة، وبوجود زيادة في الوزن شبه معممة، حيث كان أكثر من 96% من المرضى في حالة زيادة وزن. لوحظت نسبة مرتفعة جداً من عوامل الخطر الاستقلابية، خاصة الداء السكري (حوالي 60%)، وعسر شحميات الدم، وارتفاع الضغط الشرياني، مما يعكس ملفاً عالي الخطورة القلبية الوعائية. على الصعيد الوظيفي، كانت VO2 max كنسبة من القيمة النظرية منخفضة بشكل واضح في جميع المجموعات، مع قيم متدنية بشكل خاص لدى مرضى قصور القلب (حوالي 43%)،

مما يدل على تدهور عميق في القدرة القلبية التنفسية. وأكدت قيم SVI ونبضة الأكسجين وميل VE/VCO_2 هذا التدرج في الشدة، مميزة بين قصور مركزي واضح لدى مرضى قصور القلب وبين نقص لياقة محيطي بالأساس لدى مجموعة المرضى المتخلفين بدنياً .

بعد إعادة التأهيل، أظهرت المجموعتان تحسناً ذا دلالة إحصائية في الكفاءة الهوائية. فقد ارتفعت $VO_2 \max$ لدى مجموعة المرضى المتخلفين بدنياً من 18,2 إلى 27,6 مل/كغ/دقيقة، وارتفع SVI من 12,8 إلى 16,2 مل/كغ/دقيقة، أي بنسبة تفوق 50% و26% على التوالي، متجاوزة بكثير الزيادات المعتادة المبلغ عنها في الأدبيات. أما لدى مرضى قصور القلب، فقد ارتفعت $VO_2 \max$ من 11,75 إلى 16,75 مل/كغ/دقيقة و SVI من 9,92 إلى 11,92 مل/كغ/دقيقة، مما سمح لهؤلاء المرضى بالخروج من مناطق سوء الإنذار الشديد (عتبات زرع القلب و SVI أقل من 11 مل/كغ/دقيقة) وتحسين درجتهم الوظيفية. بالتوازي، ارتفعت نبضة الأكسجين واقترب ميل VE/VCO_2 من العتبات ذات الخطورة الأقل، وهو ما يعكس تحسناً شاملاً في سلسلة نقل الأكسجين.

الخلاصة :

الاختبار الوظيفي بالتمارين مع قياس الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين يُعتبر في المركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس أداة محورية لقياس درجة العجز الوظيفي وتوجيه برامج إعادة التأهيل القلبي. يُظهر هذا الاختبار تحسناً في الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وفي العتبة التهوية الأولى ، وفي نبضة الأكسجين إلى مستويات تفوق المعايير العالمية بعد إعادة التدريب البدني. هذه التحسينات تُسهم في إخراج مرضى قصور القلب من فئة سوء الإنذار، وتقريب المرضى المنخفضي اللياقة من القيم المتوقعة لأعمارهم. كما أنّها تبرز توسيع الاستفادة من الاختبار الوظيفي بالتمارين وبرامج إعادة التأهيل القلبي، وتؤكد في النهاية ضرورة تعزيز الوقاية من قلة الحركة، وزيادة الوزن، وداء السكري، والتدخين من أجل الحفاظ على هذه المكاسب على المدى البعيد



ANNEXES



Fiche d'exploitation :

I. Identité :

- Nom et prénom :
- Age :
- Numéro de dossier IP :
- Numéro de téléphone :

II. Données anthropométriques :

- Poids (kg) :
- Taille (cm) :

III. Indication de l'épreuve :

IV. FDRCV :

Sexe masculin	HTA	Diabète	Dyslipidémie	Obésité	Tabac	Ménopause	Hérédité coronaire

V. Clinique :

- **Signes fonctionnels :**
 - Dyspnée (stade)
- **Examen clinique (souffle, râles)**

VII. Paraclinique :

1. ECG :

2. Radio thoracique :

3. ETT :

	FEVG	Fonction diastolique E/E'	Taille de l'OG
VG			

4. Autre.

3. Paramètres de l'Épreuve d'Effort Cardio-Respiratoire :

1. Objectif de l'épreuve :

- Évaluation de la capacité fonctionnelle
- Analyse du mécanisme de limitation à l'effort
- Stratification pronostique

2. Protocole : Cycloergomètre, protocole de rampe triangulaire.

3. Critères d'arrêt de l'épreuve :

- Épuisement du patient
- Douleur thoracique
- Anomalies ECG significatives
- Hypotension ou réponse tensionnelle anormale
- Dyspnée sévère

4. Résultats principaux :

– **Capacité fonctionnelle :**

- VO₂ max : ml/kg/min (..... % de la valeur théorique)

– Réponse cardiovasculaire :

- Pouls d'O₂ : ml/battement

– Réponse ventilatoire :

- VE/VCO₂ slope :
- Seuil ventilatoire (SV1) :

– Paramètres supplémentaires :

- RER (quotient respiratoire) :

Conclusion :

- Capacité fonctionnelle globale : Normale / Altérée
- Profil compatible avec :
- Orientation :
 - Réadaptation cardiaque.
 - Accord pour chirurgie.
 - Reconditionnement.
 - Exploration complémentaire.
 - Optimisation thérapeutique.



BIBLIOGRAPHIE



1. J.Y T.

L'essentiel sur la VO2 en cardiologie. Réalités Cardiologiques & Prévention.
2013.

2. C. Monpère, Ph. Sellier, Ph. Meurin, P. Aeberhard, M.-C. D'Agrosa Boiteux, M.-C. Iliou, D. Marcadet et B. Verges.

Recommandations de la Société française de cardiologie concernant la pratique de la réadaptation cardiovasculaire chez l'adulte.

ARCHIVES DES MALADIES DU CŒUR ET DES VAISSEaux, tome 95, n° 10, octobre 2002

3. Brion R, Carré F.

Recommandations de la Société française de cardiologie.

Archives des Maladies du Coeur et des Vaisseaux – Pratique. 2009;2009(182):41-43.

4. Frederic S.

Réadaptation cardiovasculaire.

Revue médicale suisse, 2021, vol. 17, n° 740, p. 1010-1014.

5. Iliou MC.

Réadaptation cardiaque : les preuves scientifiques récentes de ses bénéfices.

Archives des Maladies du Coeur et des Vaisseaux – Pratique. 2020;2020(289):2-6.

6. Touze J-É, Savin B, Drivet G, Alessis C.

Intérêt et indications de la réadaptation chez le malade coronarien.

Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine. 2014;198(3):501-515.

7. Dr Jean-Yves Tabet, Pr Alain Cohen-Solal, Pr François Carré.

Le VO2 en cardiologie.

Cardio et sport n°34.

8. HCL.

Épreuve d'effort maximale cardio-respiratoire (VO2max) | Fiche santé HCL.

ven 13/12/2024

9. Service de Médecine Physique et de Réadaptation fonctionnelle (MPR) P30bis.

Médecine physique.

2021.

10. Monsieur Emmanuel GRAHAM FMPR.

READAPTATION CARDIAQUE CHEZ LA FEMME MAROCAINE.

These N° 420,2020

11. Mouna lazrak FMPR.

L'ÉPREUVE D'EFFORT CARDIO-REPERTOIRE (VO2MAX) EN READAPTATION CARDIAQUE.
These N° 206,2019.

12. Aleksova A, Fluca AL, Beltrami AP, Dozio E, Sinagra G, Marketou M, et al.

Part 1—Cardiac Rehabilitation After an Acute Myocardial Infarction: Four Phases of the Programme—Where Do We Stand?
JCM. 2025;14(4):1117.

13. Monsieur Mehdi ABDELALI FMPR.

Qualité de vie après réadaptation cardiaque Expérience d'un centre marocain.
These N° 95,2020.

14. Winnige P, Vysoky R, Dosbaba F, Batalik L.

Cardiac rehabilitation and its essential role in the secondary prevention of cardiovascular diseases.
WJCC. 2021;9(8):1761–1784.

15. Prisacariu I, Iorescu L–V, Aboueddahab C, Taheri M, Beneki E, Akinci B, et al.

Cardiac Rehabilitation in Patients After Coronary Artery Bypass Grafting: Core Components and Long–Term Follow–Up.
JCM. 2026;15(3):1103.

16. Mbau L, Mallya Prabhakar P, Khan Z.

Effectiveness of Cardiac Rehabilitation Services in Low– and Middle–Income Countries: A Systematic Review.
Cureus. 2023. doi:10.7759/cureus.50953.

17. Vatansever Ağca F.

Cardiac rehabilitation.
The European Research Journal. 2019;5(2):389–398.

18. Nemani RRS, Gade BS, Panchumarthi D, Bathula BVS, Panjiyar BK.

Role of Cardiac Rehabilitation in Improving Outcomes after Myocardial Infarction.
2023;2023.10.20.23297313.

19. Arthur nemani Université de Montpellier.

Épreuve d'effort cardio-respiratoire.
These 2020.

20. Gellen B.

Cardiac rehabilitation of patients with heart failure.

In: *Cardiologia Hungarica*. 2018: 106-110.

21. Mohammad MM, Dadashpour S, Adimi P.

Predicted Values of Cardiopulmonary Exercise Testing in Healthy Individuals (A Pilot Study).

Tanaffos. 2012.

22. Bertomeu V, Morillas P, Gonzalez-Juanatey JR, Quiles J, Guindo J, Soria F, et al.

Prevalence and prognostic influence of peripheral arterial disease in patients ≥ 40 years old admitted into hospital following an acute coronary event.

Eur J Vasc Endovasc Surg. 2008;36(2):189-196.

23. Lee JW.

Cardiac rehabilitation for patients with coronary artery disease.

J Korean Med Assoc. 2024;67(9):566-572.

24. Basma DIHI FMPM.

Aspects épidémiologiques cliniques et thérapeutiques de l'insuffisance cardiaque ischémique.

These N° 13, 2021.

25. Siham Khyati FMPM.

Évaluation pré opératoire en chirurgie thoracique.

thèse N°69, 2016.

26. Lindsey Anderson, PhD, Neil Oldridge, PhD, David R. Thompson, PhD, Ann-Dorthe Zwisler, MD, Karen Rees, PhD, Nicole Martin, MA, and Rod S. Taylor, PhD.

Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Coronary Heart Disease: Cochrane Systematic Review and Meta-Analysis.

JACC. 2016 Jan, 67 (1) 1-12.

27. Dalal HM, Doherty P, Taylor RS.

Cardiac rehabilitation.

BMJ. 2015;h5000.

28. Bensaada PEH.

Rééducation cardiaque dans la cardiopathie ischémique : y a-t-il une différence hommes / femmes ? .

2016LIL2M426 . 2016.

29. Madame Zineb FASSI FMPR.

La réadaptation cardiaque du valvulaire opéré.
These N° 398,2020.

30. Björkman F, Ekblom-Bak E, Ekblom Ö, Ekblom B.

Validity of the revised Ekblom Bak cycle ergometer test in adults.
Eur J Appl Physiol. 2016;116(9):1627-1638.

31. Zhang Q, Yao Z, Ma Y, Yang J-S.

Cardiovascular Fitness and Potential Risk of Work-Related Injuries in Manual Therapy Students: A Cross-Sectional Study.
Cureus. 2025. doi:10.7759/cureus.84053.

32. Srivastava S, Tamrakar S, Nallathambi N, Vrindavanam SA, Prasad R, Kothari R.

Assessment of Maximal Oxygen Uptake (VO2 Max) in Athletes and Nonathletes Assessed in Sports Physiology Laboratory.
Cureus. 2024. doi:10.7759/cureus.61124.

33. Chung Y-C, Huang C-Y, Wu H-J, Kan N-W, Ho C-S, Huang C-C, et al.

Predicting maximal oxygen uptake from a 3-minute progressive knee-ups and step test.
PeerJ. 2021;9:e10831.

34. A T, K K, Aik F, L K.

Understanding Cardiac Rehabilitation.
AJBSR. 2019;4(6):439.

35. Agatha Caveda Matheus, Evandro Fornias Sperandio et al.

Prevalence of exercise intolerance in obese adults undergoing cardiopulmonary exercise testing.
20(5):412-421

36. Grzyb A, Domagalska-Szopa M, Siwiec A, Kwiecień-Czerwieniec I, Szopa A.

Cardiopulmonary Capacity in Overweight and Obese Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study.
Front Physiol. 2021;12:671827.

37. Björkman F, Ekblom Ö, Ekblom-Bak E, Bohman T.

The ability of a submaximal cycle ergometer test to detect longitudinal changes in VO2max.
BMC Sports Sci Med Rehabil. 2021;13(1):156.

- 38. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després J-P, Franklin BA, et al.**
Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association.
Circulation. 2016;134(24). doi:10.1161/CIR.0000000000000461.
- 39. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al.**
Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association.
Circulation. 2010;122(2):191–225.
- 40. Kerling A, Keweloh K, Tegtbur U, Kück M, Grams L, Horstmann H, et al.**
Effects of a Short Physical Exercise Intervention on Patients with Multiple Sclerosis (MS).
IJMS. 2015;16(7):15761–15775.
- 41. Grant CC, Murray C, Janse van Rensburg DC, Fletcher L.**
A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness.
Front Physiol. 2013;4:337.
- 42. Alfini AJ, Weiss LR, Leitner BP, Smith TJ, Hagberg JM, Smith JC.**
Hippocampal and Cerebral Blood Flow after Exercise Cessation in Master Athletes.
Front Aging Neurosci. 2016;8:184.
- 43. Perissiou M, Bailey TG, Saynor ZL, Shepherd AI, Harwood AE, Askew CD.**
The physiological and clinical importance of cardiorespiratory fitness in people with abdominal aortic aneurysm.
Experimental Physiology. 2022;107(4):283–298.
- 44. Turner KD, Kronemberger A, Bae D, Bock JM, Hughes WE, Ueda K, et al.**
Effects of Combined Inorganic Nitrate and Nitrite Supplementation on Cardiorespiratory Fitness and Skeletal Muscle Oxidative Capacity in Type 2 Diabetes: A Pilot Randomized Controlled Trial.
Nutrients. 2022;14(21):4479.
- 45. Heydenreich J, Schutz Y, Melzer K, Kayser B.**
Validity of the Actiheart step test for the estimation of maximum oxygen consumption in endurance athletes and healthy controls.
Current Issues in Sport Science (CISS). 2019. doi:10.15203/CISS_2019.003.

46. Königstein K, Meier J, Angst T, Maurer DJ, Kröpfl JM, Carrard J, et al.

VascuFit: vascular effects of non-linear periodized exercise training in sedentary adults with elevated cardiovascular risk – protocol for a randomized controlled trial.
BMC Cardiovasc Disord. 2022;22(1):449.

47. Monsieur Mohammed Bhairis FMPR.

Revascularisation myocardique chirurgicale sous CEC chez les coronariens à fonction ventriculaire gauche altérée (à propos 52 cas).
These N°187,2012.

48. Nishijima H, Kominami K, Kondo K, Akino M, Sakurai M.

New method for the mathematical derivation of the ventilatory anaerobic threshold: a retrospective study.
BMC Sports Sci Med Rehabil. 2019;11(1):10.

49. Passantino A, Dalla Vecchia LA, Corrà U, Scalvini S, Pistono M, Bussotti M, et al.

The Future of Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Patients With Heart Failure.
Front Cardiovasc Med. 2021;8:709898.

50. Beckerman H, Heine M, van den Akker LE, de Groot V.

The 2-minute walk test is not a valid method to determine aerobic capacity in persons with Multiple Sclerosis.
NeuroRehabilitation. 2019;45(2):239–245.

51. Mme. BAKCHICH KAWTAR FMPE.

EVALUATION PRÉOPÉRATOIRE EN CHIRURGIE THORACIQUE Expérience du service de Chirurgie thoracique de l'Hôpital Militaire Moulay Ismail Meknès (à propos de 33 cas).
These N° 266,2024.

52. Vilela EM, Ladeiras-Lopes R, Joao A, Braga J, Torres S, Viamonte S, et al.

Current role and future perspectives of cardiac rehabilitation in coronary heart disease.
World J Cardiol. 2021;13(12):695–709.

53. Dillon HT, Saner NJ, Ilsley T, Kliman D, Spencer A, Avery S, et al.

Preventing the adverse cardiovascular consequences of allogeneic stem cell transplantation with a multi-faceted exercise intervention: the ALLO-Active trial protocol.
BMC Cancer. 2022;22(1):898.

54. Arthur Gavotto Université de Montpellier.

Épreuve d'effort cardio-respiratoire pédiatrique.
These 2022.

- 55. O'Brien KA, Pollock RD, Stroud M, Lambert RJ, Kumar A, Atkinson RA, et al.**
Human physiological and metabolic responses to an attempted winter crossing of Antarctica: the effects of prolonged hypobaric hypoxia.
Physiological Reports. 2018;6(5):e13613.
- 56. Gondko D, Roman J, Dębiec P, Pietrzak N.**
Exercise-Based Cardiac Rehabilitation: Analyzing Clinical Effectiveness.
Journal of Education, Health and Sport. 2024;72:51689.
- 57. Zhang, Y., Huang, S., Liu, B., & Li, Y.**
Seize the advantages of cardiac rehabilitation.
Annals of Medicine, 57(1).



قسم الطبية :

أقسم بالله العظيم

أن أراقب الله في مهنتي.

وأن أصون حياة الإنسان في كافة أطوارها في كل الظروف
والأحوال باذلة وسعي في إنقاذها من الهلاك والمرض
و الألم والقلق.

وأن أحفظ للناس كرامتهم، وأستر عورتهم، و أكتم
سِرَّهم.

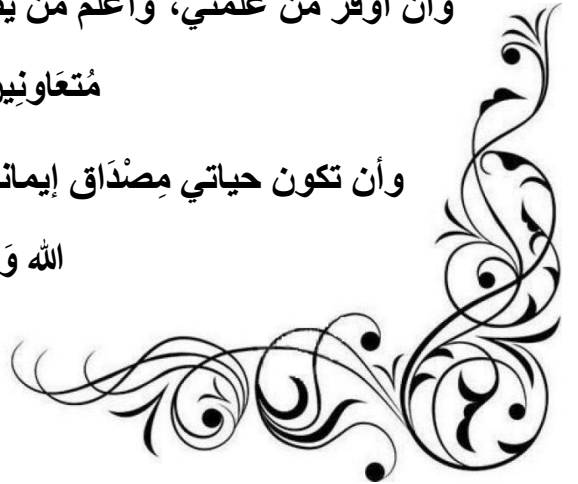
وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله، باذلة رعايتي الطبية للقريب والبعيد، للصالح
والطالح، والصديق والعدو.

وأن أثابر على طلب العلم، وأسخره لنفع الإنسان لا لأذاه.

وأن أوقر من علّمني، وأعلم من يصغرنى، وأكون أخا لكل زميل في المهنة الطبية
متعاونين على البر والتقوى.

وأن تكون حياتي مصداق إيماني في سري وعلايتي، نقيّة مما يشينها تجاه
الله ورسوله والمؤمنين.

والله على ما أقول شهيد



سنة 2026
أطروحة رقم 175
الاختبار القلبي-الرئوي: القدرة الهوائية القصوى، تجربة
المركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس بمراكش
الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2026/05/20

من طرف

السيدة شيماء كيش

المزدادة في 27 أبريل 2000

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية:

اختبار الجهد القلبي التنفسي- القدرة الهوائية القصوى - العتبة الهوائية الأولى-
نبضة الأوكسجين- منحدر التهوية بالنسبة لإنتاج ثاني أكسيد الكربون.

اللجنة

الرئيسة

أ. الخاتوري

الأستاذ

أستاذ في أمراض القلب والشرابين.

المشرف

م. الحطاوي

الأستاذ

أستاذ في أمراض القلب والشرابين

س. الكريمي

الأستاذة

أستاذة في أمراض القلب والشرابين

أ. بوزردة

الأستاذ

أستاذ في أمراض القلب والشرابين

ح. جلال

الأستاذ

أستاذة في أمراض القلب والشرابين

الحكام