



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

ANNEE 2026

N°15

Ludification numérique de l'apprentissage médical: application à la pathologie asthmatique

THESE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 00/000/0000
PAR

Mr. DARDARI Jamal Eddine

Né le 01 janvier 2000 à Marrakech

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

Mots clés

Ludification – Asthme – Enseignement Médical – E-Learning – Pédagogie Numérique

JURY

M.	R. MOUTAJ Professeur de Parasitologie	PRESIDENT
M.	A. BENJELLOUN HARZIMI Professeur de Pneumo-phtisiologie	RAPPORTEUR
M.	A. ALJALIL Professeur d'oto-rhino-laryngologie	JUGE
M.	H. JANAHA Professeur de Pneumo-phtisiologie	
Mme.	S. AIT BATAHAR Professeur de Pneumo-phtisiologie	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ الْحَيُّ الْقَيُّومُ

لَا تَأْخُذُهُ سِنَةٌ وَلَا نَوْمٌ

لَهُ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ

مَنْ ذَا الَّذِي يَشْفَعُ عِنْدَهُ إِلَّا بِإِذْنِهِ

يَعْلَمُ مَا بَيْنَ أَيْدِيهِمْ وَمَا خَلْفَهُمْ

وَلَا يُحِيطُونَ بِشَيْءٍ مِنْ عِلْمِهِ إِلَّا بِمَا شَاءَ

وَسِعَ كُرْسِيُّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ

وَلَا يَئُودُهُ حِفْظُهُمَا وَهُوَ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ ﴿٢٥٦﴾

وَقَدْ عَلِمْنَا

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ
الْحَكِيمُ ﴿٣٢﴾

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

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 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
FACULTE DE MEDECINE 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 ZIRAOUI

Secrétaire Générale

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

LISTE NOMINATIVE DU PERSONNEL ENSEIGNANTS CHERCHEURS PERMANANT

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	BENELKHAIAT 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	FOURAJI 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 Lamyae	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	Ophtalmologie
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	BELKHOUE 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 Nouredine	P.E.S	Pédiatrie
89	BOURRAHOUE 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–embryologie 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	ABDOU Abdessamad	P.E.S	Chirurgie Cardio–vasculaire
147	HAMMOUNE Nabil	P.E.S	Radiologie
148	ESSADI Ismail	P.E.S	Oncologie médicale
149	ALJALIL Abdelfattah	P.E.S	Oto–rhino–laryngologie
150	LAFFINTI Mahmoud Amine	P.E.S	Psychiatrie
151	RHARRASSI Issam	P.E.S	Anatomie–patologique
152	ASSERRAJI Mohammed	P.E.S	Néphrologie
153	JANAH Hicham	P.E.S	Pneumo–phtisiologie
154	NASSIM SABAH Taoufik	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
155	ELBAZ Meriem	P.E.S	Pédiatrie
156	SEDDIKI Rachid	P.E.S	Anesthésie–réanimation
157	BELGHMAIDI Sarah	Pr Ag	Ophtalmologie

158	FENANE Hicham	Pr Ag	Chirurgie thoracique
159	GEBRATI Lhoucine	MC Hab	Chimie
160	FDIL Naima	MC Hab	Chimie de coordination bio-organique
161	LOQMAN Souad	MC Hab	Microbiologie et toxicologie environnementale
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	LAHMINE 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 Rabi	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 AOUAME Amal	Pr Ag	Orthodontie et orthopédie dento-faciale
231	SBAI Asma	MCHab	Informatique
232	WARDA Karima	MC	Microbiologie
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 HAMD AOUI 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	AHMANNNA 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-phtisiologie
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



DÉDICACES



« Parfois, notre propre lumière s'éteint et se rallume par l'étincelle d'une autre personne. Chacun de nous a des raisons de penser avec une profonde gratitude à ceux qui ont allumé la flamme en nous. »

Albert Schweitzer

Aucune œuvre ne s'accomplit dans la solitude. C'est avec une profonde émotion et une sincère gratitude que je dédie ce travail aux personnes qui ont éclairé mon chemin et soutenu mes efforts tout au long de ces années d'études.

Je dédie cette thèse ...





Tout d'abord à Allah,

اللهم لك الحمد حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه حمد خلقك ورضى نفسك وزنة
عزرك ومداد كلماتك اللهم لك الحمد ولك الشكر حتى ترضى ولك الحمد
ولك الشكر عند الرضى ولك الحمد ولك الشكر دائماً وأبداً على نعمتك

*Au bon Dieu tout puissant, qui m'a inspiré, qui m'a guidé dans le
bon chemin, je vous dois ce que je suis devenu. Louanges et
remerciements pour votre clémence et miséricorde « Qu'il nous
couvre de sa bénédiction ». AMEN!*

À mes très chers parents

À vous, qui m'avez donné la vie, l'amour et l'éducation. Ce travail est l'aboutissement de vos sacrifices et le reflet de vos valeurs. Vous avez été mon soutien inconditionnel et ma boussole tout au long de ce chemin exigeant.

Puisse cette thèse être l'humble témoignage de mon infinie reconnaissance et de mon amour éternel. Que Dieu vous garde et vous protège.

À ma mère LALAOUI Bouchra:

À celle qui m'a tout donné sans jamais rien attendre en retour. À ma source de tendresse, de force et d'inspiration. Tu as veillé sur mes nuits et éclairé mes jours par tes prières. Ce travail est le fruit de ton amour inconditionnel et de tes sacrifices. Puisse Dieu te garder auprès de moi et t'accorder la santé que tu mérites tant.

À mon père DARDARI Thami:

À mon premier héros, mon modèle de droiture et de persévérance. Tu m'as appris la valeur de l'effort et le sens de la responsabilité. Tes conseils avisés et ton soutien indéfectible ont balisé mon chemin jusqu'à ce jour. Accepte ce travail comme le modeste témoignage de ma profonde gratitude et de mon immense respect. Que Dieu te protège et t'accorde longue vie.

À mon frère Bassim

Mon complice et ma fierté. Te voir grandir est un privilège. Si j'ai travaillé aussi dur, c'est aussi pour te montrer que tout est possible avec de la volonté. J'espère être pour toi l'exemple que tu mérites. Sache que, quoi qu'il arrive, je serai toujours là pour te soutenir et

t'épauler. Ton avenir est prometteur, crois en toi comme je crois en toi.

À ma sœur Nada

Ma douceur, le rayon de soleil de la maison. Tes sourires et ta joie de vivre ont souvent été ma bouffée d'oxygène durant ces longues années d'études. Merci d'apporter tant de lumière dans nos vies. Je te souhaite un avenir aussi brillant que ton cœur. N'oublie jamais que je suis et serai toujours ton premier soutien.

À mes cousins Achraf et Haïtam,

De nos premiers jeux vidéo sur console à nos débats sur ces mêmes jeux d'aujourd'hui. Vous faites partie intégrante de mon histoire. Merci pour ces moments de complicité, de rires et d'évasion qui m'ont permis de garder l'équilibre durant ce long parcours.

À la mémoire de ma grand-mère Lhajja Taja

À celle qui nous a quittés trop tôt, mais dont l'âme continue de veiller sur nous. En ce jour mémorable, ton absence se fait sentir plus que jamais. J'aurais tant aimé partager cette joie avec toi et lire la fierté dans tes yeux.

Tu resteras à jamais gravée dans ma mémoire comme une source de bonté et de lumière. Ce travail est aussi le tien, fruit de l'amour que tu nous as transmis.

Puisse Dieu t'accueillir en Son vaste Paradis et t'envelopper de Son infinie miséricorde.

الله يرحمها ويجعل مقامها الجنة

À la mémoire de mon grand-père DARDARI Laarbi

À celui qui a porté la blouse blanche avant moi avec tant de noblesse. Je n'ai pas eu la chance de te voir exercer, mais les récits de ton dévouement et de ton humanité ont bercé mon enfance et guidé mes choix.

À travers les souvenirs de ceux qui t'ont connu, tu es devenu mon modèle silencieux. C'est l'écho de ton parcours d'infirmier qui a éveillé en moi le désir de devenir médecin.

Aujourd'hui, je reprends ce flambeau symbolique. J'espère, là où tu es, que tu es fier de voir ton héritage perdurer. Repose en paix, grand-père.

À tous mes amis,

Pour votre fidélité, votre patience et ces moments de joie partagés qui ont rendu ce parcours plus léger. Merci d'être là, tout simplement.

À Mes Collègues, internes et résidents,

À toute l'équipe avec qui j'ai eu l'honneur d'apprendre et de servir. Merci pour l'esprit d'entraide et la solidarité qui ont régné entre nous durant ces années de formation. Vous avez fait de l'hôpital un lieu d'apprentissage, mais aussi un lieu de vie et d'amitié. Je vous souhaite à tous une carrière brillante.

Au trio de garde

À Badr et Amine. Les meilleures histoires de ma formation, c'est avec vous que je les ai écrites. Merci d'avoir rendu le difficile supportable et le supportable inoubliable.

To the TEKKEN Morocco Community

To the hobbyists and competitors who share this passion. Beyond the game, I found a group of genuine friends who supported me throughout these years of study, For once, this is something I cannot downplay. Thank you !

This victory is for the team.



LISTE DES ABRÉVIATIONS



LISTE DES ABRÉVIATIONS

- **ADDIE** : Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation
- **CHUs** : Centres Hospitaliers Universitaires
- **CDN** : Content Delivery Network
- **CSRF** : Cross-Site Request Forgery
- **DLCO** : Capacité de Diffusion Pulmonaire du Monoxyde de Carbone
- **DDoS** : Distributed Denial of Service
- **EMC** : Éducation Médicale Continue
- **ERIC** : Education Resources Information Center (base de données)
- **ET** : Écart-Type
- **EFR** : Explorations Fonctionnelles Respiratoires
- **FeNO** : Fraction of Exhaled Nitric Oxide
- **FMPM** : Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech
- **GINA** : Global Initiative for Asthma
- **IgE** : Immunoglobuline E
- **IQR** : Interquartile Range (Écart Interquartile)
- **JS** : JavaScript (implicite dans les assets statiques)
- **JWT** : JSON Web Token
- **MOOCs** : Massive Open Online Courses
- **NPS** : Net Promoter Score
- **ORMs** : Object-Relational Mappers
- **PC** : Personal Computer (Ordinateur Personnel)
- **PERN** : PostgreSQL, Express, React, Node.js
- **PRISMA** : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
- **QCM** : Questionnaire à Choix Multiples
- **SAOS** : Syndrome d'Apnées du Sommeil

- **SM-2** : SuperMemo 2
- **SQL** : Structured Query Language
- **SUS** : System Usability Scale
- **UI** : User Interface (Interface Utilisateur)
- **WCAG 2.1** : Web Content Accessibility Guidelines version 2.1
- **XSS** : Cross-Site Scripting
- **XP** : Points d'Expérience



PLAN



INTRODUCTION	1
MATÉRIELS ET MÉTHODES	5
Cadre méthodologique général	6
I. Type d'étude	6
II. Période et lieu de l'étude	7
III. Considérations éthiques	8
Phase 1 : Analyse des besoins	9
I. Analyse du contexte éducatif	9
1. Étude préliminaire des besoins pédagogiques	9
II. Revue des solutions existantes	10
1. Benchmark des plateformes e-learning médicales	10
2. Analyse des mécaniques de gamification en santé	12
III. Cadre théorique de la gamification	13
1. Théorie de l'autodétermination (Deci & Ryan, 2000)	13
2. Modèle Octalysis (Yu-kai Chou, 2015)	14
3. Taxonomie de Bartle (types de joueurs)	15
Phase 2 : Conception de la plateforme Aethera	17
I. Architecture pédagogique	17
1. Structure modulaire du contenu	17
2. Principes pédagogiques appliqués	22
II. Système de gamification	22
1. Système de points d'expérience (XP)	23
2. Système de badges	26
3. Classement et compétition	27
4. Mascotte de l'application	
III. Outils interactifs spécialisés	28
1. Simulateur de cas cliniques	28
2. Galerie d'auscultation	32
3. Système de flashcards avec répétition espacée	33
4. Système de résumé audio pour les modules	35
5. Système de quiz adaptatif	36
6. Le simulateur de dispositifs d'inhalation	38
Phase 3 : Développement technique	41
I. Architecture technologique	41
1. Stack technique (PERN)	41
2. Ouverture du code et gouvernance du projet	45
II. Processus de développement	46
1. Méthodologie	46
2. Assurance qualité	47
III. Gestion du contenu pédagogique	48
Phase 4 : Implémentation et déploiement	49
I. Déploiement en production	49
II. Infrastructure de production	49
Phase 5 : Évaluation	51

I.	Population d'étude	51
1.	Critères de sélection	51
2.	Taille de l'échantillon	51
II.	Outils de collecte de données	52
1.	Données quantitatives automatisées	52
2.	Questionnaire d'évaluation structuré	52
III.	Méthodes d'analyse des données	53
1.	Analyses quantitatives	53
2.	Analyses qualitatives	53
IV.	Conclusion méthodologique	54
	RÉSULTATS	55
I.	Caractéristiques de la population étudiée	56
1.	Profil démographique des participants	56
2.	Expérience préalable avec l'e-learning médical	57
II.	Métriques d'engagement et d'utilisation	59
1.	Données quantitatives d'utilisation	59
2.	Système de gamification et motivation	60
III.	Évaluation pédagogique comparative	63
1.	Perception de l'efficacité relative à l'enseignement traditionnel	63
2.	Aspects spécifiquement améliorés	64
IV.	Adaptation au contexte marocain	65
1.	Pertinence contextuelle du contenu	65
2.	Lacunes identifiées et suggestions d'amélioration	65
V.	Impact sur la confiance et les compétences auto-évaluées	66
1.	Évolution de la confiance clinique	66
2.	Impact académique perçu	66
VI.	Expérience utilisateur et satisfaction globale	66
1.	Utilisabilité et interface	66
2.	Recommandation et projection future	67
VII.	Analyse comparative des modules	67
1.	Performance différentielle par module	67
VIII.	Synthèse des résultats quantitatifs	68
	DISCUSSION	69
I.	Confrontation avec la littérature existante	70
1.	Efficacité de la gamification en éducation médicale	70
2.	Spécificités de l'apprentissage en pneumologie	70
3.	Comparaison avec les plateformes existantes	71
II.	Analyse des mécanismes sous-jacents	72
1.	Facteurs psychologiques de l'engagement	72
2.	Mécanismes cognitifs de l'apprentissage amélioré	73
3.	Impact de la répétition espacée algorithmique	73
III.	Implications pour l'éducation médicale	74
1.	Transformation pédagogique potentielle	74
2.	Considérations pour l'implémentation institutionnelle	74

III. Adaptabilité au contexte des pays en développement	75
IV. Limites et perspectives	75
I. Limitations méthodologiques	75
II. Questions non résolues	76
III. Directions futures de recherche	76
V. Contributions et implications pratiques	77
I. Contributions théoriques	77
II. Recommandations pratiques	78
III. Impact sociétal potentiel	78
VI. Conclusion de la discussion	79
CONCLUSION	80
RÉSUMÉS	83
BIBLIOGRAPHIE	87



INTRODUCTION



L'enseignement médical traverse actuellement une période de transformation profonde, marquée par l'intégration progressive des technologies numériques et des approches pédagogiques innovantes. Cette évolution s'inscrit dans un contexte plus large de digitalisation de l'éducation, où les méthodes traditionnelles d'apprentissage sont progressivement enrichies, voire remplacées, par des dispositifs interactifs favorisant l'engagement actif des apprenants et la personnalisation des parcours de formation.

Dans le domaine spécifique de l'enseignement médical, cette mutation s'avère particulièrement pertinente et nécessaire. En effet, la médecine moderne exige des praticiens une maîtrise approfondie de connaissances théoriques complexes, couplée à des compétences cliniques et décisionnelles solides. L'apprentissage des pathologies chroniques, telles que l'asthme, illustre parfaitement cette double exigence : il nécessite non seulement la compréhension de mécanismes physiopathologiques complexes, mais aussi le développement de compétences diagnostiques, thérapeutiques et communicationnelles essentielles à une prise en charge optimale des patients.

L'enseignement médical traditionnel, bien qu'ayant fait ses preuves pendant des décennies, présente aujourd'hui certaines limites face aux défis contemporains de la formation médicale. Les cours magistraux, qui constituent encore la pierre angulaire de nombreux cursus médicaux, peinent parfois à maintenir l'attention et l'engagement des étudiants, particulièrement pour des contenus théoriques denses et abstraits. Cette approche transmissive, essentiellement unidirectionnelle, offre peu d'opportunités d'interaction, de rétroaction immédiate ou de personnalisation du parcours d'apprentissage.

De plus, la complexité croissante des connaissances médicales, couplée à leur évolution rapide, rend difficile leur acquisition et leur mémorisation à long terme par les méthodes d'enseignement conventionnelles. Les étudiants en médecine sont confrontés à un volume considérable d'informations qu'ils doivent non seulement assimiler, mais aussi être capables d'appliquer dans des contextes cliniques variés et souvent imprévisibles.

Cette transition entre connaissances théoriques et compétences pratiques constitue un défi pédagogique majeur.

Dans le contexte marocain, et plus particulièrement à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech, ces enjeux sont d'autant plus prégnants que les effectifs étudiants sont en constante augmentation, tandis que les ressources pédagogiques et le temps d'enseignement disponibles demeurent limités. L'asthme, pathologie respiratoire chronique particulièrement prévalente au Maroc, représente un excellent cas d'étude pour répondre à ces défis pédagogiques.

Face aux limites de l'enseignement traditionnel et aux exigences croissantes de la formation médicale, la ludification (ou gamification) émerge comme une approche pédagogique prometteuse. Ce concept, issu du domaine du jeu vidéo et progressivement adopté dans divers secteurs éducatifs, consiste à intégrer des mécaniques et des éléments de jeu dans des contextes non ludiques afin d'augmenter la motivation, l'engagement et la performance des apprenants. 【1】

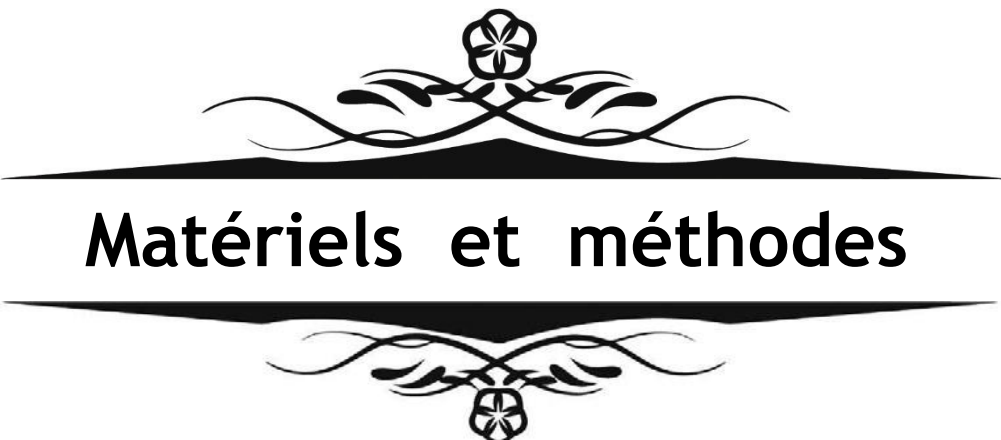
Cette thèse s'inscrit dans cette perspective innovante en proposant de concevoir, développer et évaluer une plateforme d'E-Learning ludifiée dédiée à l'apprentissage de l'asthme, spécifiquement adaptée aux étudiants en médecine de Marrakech. Ce projet, baptisé "Aethera", vise à transformer l'enseignement de cette pathologie complexe en une expérience d'apprentissage engageante, interactive et efficace.

À l'ère du numérique et face aux défis croissants de la formation médicale, l'innovation pédagogique s'impose comme une nécessité. La ludification, en transformant l'apprentissage en une expérience engageante et motivante, offre des perspectives prometteuses pour améliorer l'efficacité de l'enseignement médical et la qualité de la formation des futurs praticiens.

Cette thèse ambitionne de contribuer à cette transformation en proposant une plateforme dédiée à l'apprentissage de l'asthme, pathologie emblématique par sa complexité et sa prévalence. Au-delà de la simple création d'un outil numérique, ce travail

visé à démontrer la pertinence et l'efficacité de la ludification dans le contexte spécifique de l'enseignement médical, tout en proposant un modèle méthodologique rigoureux et reproductible.

Les chapitres qui suivent détailleront le parcours intellectuel et pratique qui a conduit à la conception, au développement et à l'évaluation de la plateforme Aethera, dans l'espoir d'apporter une contribution significative à l'évolution des pratiques pédagogiques en formation médicale et, in fine, à l'amélioration de la qualité des soins prodigués aux patients asthmatiques.



Matériels et méthodes

CADRE MÉTHODOLOGIQUE GÉNÉRAL

I. Type d'étude:

La présente recherche adopte une approche méthodologique hybride et multidimensionnelle, articulée autour de trois axes complémentaires qui s'enrichissent mutuellement pour offrir une compréhension holistique du phénomène étudié.

Premièrement, une **étude de développement technologique** constitue le socle fondamental de ce travail. Cette dimension englobe la conception architecturale, le développement informatique et l'implémentation d'une plateforme d'apprentissage en ligne baptisée Aethera. Cette phase mobilise les principes de l'ingénierie logicielle moderne, intégrant les dernières avancées en matière de technologies web et d'interfaces utilisateur adaptatives. Le développement suit une approche itérative permettant l'intégration progressive des fonctionnalités et leur raffinement continu basé sur les retours utilisateurs.

Deuxièmement, une **étude d'évaluation quantitative** permet de mesurer objectivement l'efficacité pédagogique de la plateforme développée. Cette évaluation s'appuie sur une batterie d'indicateurs de performance couvrant l'engagement des apprenants, leur progression académique, et l'acquisition effective de compétences cliniques. L'analyse quantitative utilise des métriques précises et standardisées, permettant une comparaison rigoureuse avec les méthodes d'enseignement traditionnelles et établissant ainsi la valeur ajoutée de l'approche ludifiée proposée.

Troisièmement, une **étude d'évaluation qualitative** explore en profondeur l'expérience vécue par les utilisateurs, leurs perceptions, et leur niveau de satisfaction. Cette dimension qualitative révèle les nuances et les subtilités de l'interaction homme-machine que les données quantitatives seules ne peuvent capturer. Elle permet de comprendre les mécanismes psychologiques et motivationnels sous-jacents à l'engagement des apprenants

et identifie les facteurs facilitateurs et les obstacles à l'adoption de cette innovation pédagogique.

L'ensemble de cette démarche méthodologique s'inscrit dans le cadre conceptuel du modèle ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), reconnu internationalement pour sa rigueur dans le développement de solutions éducatives numériques [2]. Ce modèle, adapté spécifiquement au contexte de l'innovation pédagogique en sciences de la santé, garantit une approche systématique et reproductible, essentielle pour la validation scientifique et la potentielle transférabilité de notre solution à d'autres contextes éducatifs médicaux.

II. Période et lieu de l'étude :

La réalisation de cette recherche s'est échelonnée sur une période totale de quatorze mois, divisée en phases distinctes mais interconnectées, chacune contribuant de manière essentielle à la construction et à la validation de notre solution pédagogique innovante.

La **période de développement**, s'étendant de février 2025 à août 2025, a constitué la phase la plus intensive du projet. Durant ces six mois, le développement a débuté pour transformer les concepts théoriques en une plateforme fonctionnelle. Cette période a été marquée par des cycles itératifs de conception, de programmation, de test et de raffinement, suivant les principes de la méthodologie Agile adaptée aux spécificités du projet éducatif médical.

Une **période de test pilote** de quatre semaines, en septembre 2025, a permis de soumettre la plateforme à un groupe restreint de 15 utilisateurs sélectionnés pour leur diversité de profils et leur capacité à fournir des retours constructifs. Cette phase cruciale a révélé des ajustements nécessaires tant sur le plan technique que ergonomique, permettant d'optimiser l'expérience utilisateur avant le déploiement à grande échelle.

La **période d'évaluation principale**, d'octobre 2025, représente le cœur de notre dispositif de validation scientifique. Durant ce mois, la collecte systématique de données

quantitatives et qualitatives a permis de constituer un corpus robuste pour l'analyse de l'efficacité et de l'acceptabilité de la plateforme.

L'étude s'est déroulée au sein de la **Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech**, institution de l'Université Cadi Ayyad reconnue pour son excellence académique et son engagement dans l'innovation pédagogique. Ce cadre institutionnel a offert un environnement idéal combinant rigueur académique, diversité de la population étudiante, et ouverture à l'innovation technologique. La faculté, accueillant plusieurs étudiants en médecine, a fourni un échantillon représentatif suffisant pour garantir la validité statistique de nos analyses.

La **population cible** englobe principalement les étudiants en médecine de la quatrième à la septième année, période critique où l'enseignement de la pneumologie et plus spécifiquement de l'asthme occupe une place prépondérante dans le curriculum. Cette population a été élargie aux médecins généralistes fraîchement diplômés, reconnaissant leur besoin continu de formation et de mise à jour des connaissances dans ce domaine en constante évolution.

III. Considérations éthiques

La dimension éthique de cette recherche a fait l'objet d'une attention particulière, reconnaissant la responsabilité inhérente à toute recherche impliquant des participants humains et particulièrement dans le contexte sensible de la formation médicale.

La **confidentialité et l'anonymisation des données** ont été garanties par la mise en place d'un protocole rigoureux de gestion des données. Chaque participant s'est vu attribuer un identifiant unique généré aléatoirement, dissociant ainsi leur identité réelle de leurs données de participation. Les données personnelles, collectées uniquement dans la mesure nécessaire à l'étude (année d'études, expérience préalable en e-learning), ont été stockées séparément des données de performance et d'engagement.

L'utilisation des données à des fins de recherche a été explicitement encadrée. Les participants ont été informés que leurs données seraient utilisées exclusivement dans le cadre de cette recherche et des publications scientifiques qui pourraient en découler, toujours sous forme agrégée et anonymisée. Aucune utilisation commerciale ou transfert à des tiers n'a été envisagée ou autorisée.

PHASE 1 : ANALYSE DES BESOINS

I. Analyse du contexte éducatif :

1. Étude préliminaire des besoins pédagogiques :

L'identification précise des besoins pédagogiques a constitué le fondement de notre démarche de conception. Cette analyse approfondie, menée sur une période de deux mois, a mobilisé diverses méthodologies complémentaires pour dresser un tableau exhaustif des défis et opportunités dans l'enseignement de la pneumologie, et plus spécifiquement de l'asthme.

L'analyse des lacunes dans l'enseignement traditionnel a débuté par une revue systématique des programmes officiels d'enseignement de la pneumologie de la FMPM. Cette analyse documentaire a révélé que malgré l'importance épidémiologique de l'asthme au Maroc, avec une prévalence estimée à 3,89% de la population générale, le temps alloué à son enseignement demeure limité sur l'ensemble du cursus. Cette allocation temporelle apparaît insuffisante au regard de la complexité physiopathologique de la maladie et de la diversité des situations cliniques que les futurs médecins seront amenés à gérer.

L'identification des concepts difficiles à maîtriser a été réalisée à travers l'analyse de deux sources convergentes : les retours des enseignants, soulignant la difficulté persistante des étudiants à comprendre les mécanismes inflammatoires bronchiques et à établir des liens entre physiopathologie et stratégies thérapeutiques; et les observations

directes en milieu clinique, révélant des lacunes dans l'application pratique des connaissances théoriques, notamment dans la gestion des exacerbations aiguës.

L'évaluation des besoins spécifiques des apprenants a été conduite à travers une série d'entretiens semi-directifs approfondis avec dix étudiants en médecine, soigneusement sélectionnés pour représenter la diversité des niveaux (de la quatrième à la septième année) et des profils d'apprentissage. Ces entretiens, d'une durée moyenne de 45 minutes, ont été menés selon un guide structuré explorant leurs expériences d'apprentissage actuelles, leurs difficultés spécifiques, leurs préférences pédagogiques et leurs attentes vis-à-vis d'une solution numérique.

Les résultats de ces entretiens ont mis en lumière plusieurs constats majeurs. Premièrement, 80% des étudiants interrogés expriment une difficulté à maintenir leur attention durant les cours magistraux traditionnels, particulièrement pour les contenus théoriques denses. Deuxièmement, tous soulignent le manque d'opportunités pour appliquer leurs connaissances dans des contextes cliniques simulés avant d'être confrontés à de vrais patients. Troisièmement, 90% expriment un besoin de feedback immédiat sur leur compréhension et leurs erreurs, élément largement absent dans l'enseignement traditionnel. Enfin, la totalité des étudiants interrogés manifeste un intérêt marqué pour des modalités d'apprentissage plus interactives et personnalisées.

II. Revue des solutions existantes :

1. Benchmark des plateformes e-learning médicales :

L'analyse comparative des plateformes d'apprentissage médical existantes a constitué une étape cruciale pour positionner notre solution dans l'écosystème éducatif numérique et identifier les meilleures pratiques à adopter ainsi que les écueils à éviter.

Notre méthodologie de benchmark a reposé sur une grille d'évaluation multidimensionnelle comprenant six critères principaux, chacun décomposé en sous-critères spécifiques permettant une analyse fine et objective. Cette grille a été appliquée à

quatre plateformes leaders du marché international, sélectionnées pour leur réputation, leur base d'utilisateurs importante et leur approche innovante de l'enseignement médical.

L'analyse d'Amboss, plateforme allemande utilisée par plus de 90% des étudiants en médecine en Allemagne, a révélé plusieurs points de force notables. Son système de cross-référencement permettant de naviguer instantanément entre concepts connexes facilite la construction de réseaux de connaissances. Ses algorithmes d'apprentissage adaptatif, basés sur les performances individuelles, optimisent la rétention mémorielle. Cependant, l'absence d'éléments de gamification substantiels limite l'engagement à long terme, et son coût d'abonnement élevé (39€/mois) constitue une barrière significative pour de nombreux étudiants, particulièrement dans les pays en développement.

L'évaluation d'UpToDate, référence mondiale pour les professionnels de santé avec plus de 1,9 million d'utilisateurs, a mis en évidence l'excellence de son contenu scientifique, continuellement mis à jour par plus de 7400 experts internationaux. Sa fonction de recherche sophistiquée et ses recommandations evidence-based en font un outil précieux pour la prise de décision clinique. Néanmoins, son approche essentiellement textuelle, avec peu d'interactivité, la rend moins adaptée aux besoins des étudiants en phase d'apprentissage initial. De plus, son orientation vers les praticiens expérimentés ne répond pas aux besoins pédagogiques spécifiques des apprenants novices.

L'examen de Lecturio, plateforme germano-américaine combinant vidéos de haute qualité et système de répétition espacée, a souligné l'efficacité de son approche multimodale. Ses vidéos courtes (5–15 minutes) maintiennent l'attention, tandis que son algorithme de répétition espacée, basé sur la courbe de l'oubli, optimise la mémorisation à long terme. Les quiz intégrés après chaque vidéo renforcent l'apprentissage actif. Toutefois, l'absence de cas cliniques interactifs limite le développement des compétences de raisonnement clinique, et les éléments de gamification restent rudimentaires, se limitant à des certificats de complétion.

L'analyse de Medscape, avec ses 5 millions d'utilisateurs professionnels de santé, a révélé la valeur de son modèle gratuit financé par la publicité, garantissant l'accessibilité universelle. Sa section éducation médicale continue (EMC) offre des contenus de qualité validés par des pairs. Cependant, l'interface utilisateur datée et la navigation complexe nuisent à l'expérience utilisateur, particulièrement pour les natifs numériques habitués à des interfaces plus intuitives.

2. Analyse des mécaniques de gamification en santé :

Une revue systématique de la littérature scientifique sur la gamification en éducation médicale a été conduite selon les directives PRISMA, couvrant les publications des dix dernières années dans les bases de données PubMed, ERIC, et Web of Science. Cette revue, incluant 47 études empiriques répondant à nos critères d'inclusion, a permis d'identifier les mécaniques de jeu les plus efficaces et leurs conditions optimales d'application.

Les éléments de jeu efficaces identifiés incluent les systèmes de points et de progression, présents dans 89% des interventions réussies, qui fournissent un feedback immédiat et quantifiable sur la performance. Les badges et récompenses virtuelles, utilisés dans 76% des études, augmentent significativement la motivation intrinsèque lorsqu'ils sont alignés avec des jalons d'apprentissage significatifs plutôt qu'avec de simples métriques d'activité. Les tableaux de classement, présents dans 62% des cas, stimulent efficacement l'engagement lorsqu'ils sont combinés avec des éléments collaboratifs, évitant ainsi une compétition excessive potentiellement délétère.

L'analyse de l'impact de la compétition versus collaboration a révélé des nuances importantes. Les mécaniques purement compétitives augmentent l'engagement initial de 45% en moyenne mais peuvent créer de l'anxiété chez 30% des apprenants et diminuer la collaboration interpersonnelle. À l'inverse, les mécaniques collaboratives, comme les défis d'équipe ou les objectifs collectifs, maintiennent un engagement plus

stable dans le temps (+32% sur 3 mois) et favorisent le développement de compétences de travail en équipe essentielles en médecine.

Les limites et risques identifiés incluent le phénomène d'over-justification [3], où la motivation extrinsèque générée par les récompenses peut progressivement éroder la motivation intrinsèque pour l'apprentissage. Ce risque est particulièrement marqué lorsque les récompenses sont perçues comme contrôlantes plutôt qu'informatives. La trivialisation du contenu médical sérieux constitue un autre écueil, certaines études rapportant une perception négative de la gamification excessive par 23% des apprenants qui la jugent inappropriée au contexte médical. Enfin, l'addiction comportementale, bien que rare (moins de 2% des cas), doit être surveillée, particulièrement chez les individus présentant des traits de personnalité compulsifs.

III. Cadre théorique de la gamification

1. Théorie de l'autodétermination (Deci & Ryan, 2000)

La théorie de l'autodétermination [4] constitue le socle psychologique fondamental de notre approche de gamification. Cette théorie postule que la motivation humaine optimale émerge de la satisfaction de trois besoins psychologiques fondamentaux : l'autonomie, la compétence et l'affiliation sociale. Notre implémentation de ces principes dans Aethera suit une approche systématique et evidence-based.

L'autonomie est opérationnalisée à travers plusieurs mécanismes soigneusement conçus. Les apprenants disposent d'une liberté totale dans le choix de leur parcours d'apprentissage, pouvant naviguer entre les modules selon leurs besoins et intérêts immédiats plutôt que selon une séquence rigide prédéfinie. Cette flexibilité reconnaît la diversité des styles d'apprentissage et des rythmes individuels. Le système propose des recommandations personnalisées basées sur les performances et préférences antérieures, mais ces suggestions restent non contraignantes, préservant ainsi le sentiment de contrôle de l'apprenant. Les paramètres de difficulté ajustables permettent à chacun de calibrer le

niveau de défi selon ses capacités actuelles, évitant ainsi la frustration liée à une difficulté excessive ou l'ennui résultant d'un contenu trop simple.

La compétence est nourrie par un système de feedback sophistiqué et multidimensionnel. Chaque action de l'apprenant génère un retour immédiat, qu'il s'agisse de la validation d'une réponse correcte, de l'explication détaillée d'une erreur, ou de la progression dans les barres d'expérience. Ce feedback n'est pas simplement binaire (correct/incorrect) mais explicatif, aidant l'apprenant à comprendre non seulement ce qu'il a fait mais pourquoi c'était approprié ou non. La visualisation graphique de la progression, à travers des courbes de performance et des statistiques détaillées, permet à l'apprenant de percevoir concrètement son évolution. Les jalons de réussite clairement définis (badges, niveaux, certificats) offrent des objectifs tangibles et atteignables, créant un sentiment d'accomplissement régulier.

L'affiliation sociale, bien que challengeante dans un contexte d'apprentissage individuel en ligne, est cultivée à travers plusieurs mécanismes innovants. Le tableau de classement anonymisé permet une comparaison sociale saine sans compromettre la confidentialité. Les badges obtenus peuvent être partagés sur les profils internes, créant des opportunités de reconnaissance par les pairs. Un système de mentorat virtuel permet aux apprenants avancés de laisser des conseils et encouragements pour les nouveaux utilisateurs, créant ainsi une communauté d'apprentissage bienveillante.

2. Modèle Octalysis (Yu-kai Chou, 2015)

Le framework Octalysis [5], développé par le pionnier de la gamification Yu-kai Chou, offre une approche holistique pour comprendre et implémenter les mécaniques motivationnelles. Ce modèle identifie huit leviers fondamentaux de la motivation humaine, chacun étant soigneusement intégré dans notre plateforme.

Le sens épique et l'appel à l'action sont incarnés dans la narrative globale de la plateforme. Aethera positionne l'apprenant non pas comme un simple étudiant, mais

comme un futur soignant en mission pour maîtriser les connaissances nécessaires à sauver et améliorer des vies. Cette contextualisation épique transforme l'apprentissage de l'asthme d'une obligation académique en une quête noble. Les statistiques présentées sur l'impact potentiel (nombre de patients asthmatiques au Maroc, mortalité évitable) renforcent ce sentiment de but.

Le développement et l'accomplissement sont matérialisés à travers un système de progression sophistiqué. Les 5 niveaux d'expertise (Externe, Externe avancé, Interne, Résident, Expert) ne sont pas de simples labels mais représentent des étapes significatives dans le parcours de formation médicale, créant une résonance avec le parcours réel des étudiants. Chaque niveau débloque de nouvelles fonctionnalités et contenus, maintenant ainsi un sentiment de progression continue.

L'empowerment et le feedback créatif permettent aux apprenants de personnaliser leur expérience au-delà du simple choix de parcours. Ils peuvent créer leurs propres collections de flashcards, annoter les cas cliniques avec leurs observations personnelles, et même proposer de nouvelles questions pour enrichir la base de données communautaire. Cette co-création de contenu transforme les apprenants de consommateurs passifs en contributeurs actifs.

La propriété et la possession sont cultivées à travers le système de badges et de profil personnel. Chaque badge obtenu devient une possession virtuelle permanente, témoignant des accomplissements de l'apprenant. Le profil personnel, enrichi progressivement, devient une représentation tangible du parcours d'apprentissage unique de chacun.

3. Taxonomie de Bartle (types de joueurs)

La taxonomie de Bartle [6] , initialement développée pour les jeux multijoueurs, offre un cadre pertinent pour comprendre la diversité des motivations des apprenants et adapter notre plateforme en conséquence. Notre analyse préliminaire suggère que la

population étudiante en médecine présente une distribution particulière de ces profils, nécessitant une approche équilibrée.

Les Achievers (Réalisateurs), estimés à 40% de notre population cible, sont principalement motivés par l'accomplissement d'objectifs et l'accumulation de réussites. Pour ces apprenants, nous avons développé un système de badges exhaustif avec 20 distinctions différentes, allant des accomplissements basiques aux défis légendaires nécessitant une maîtrise exceptionnelle. Le système d'XP granulaire, avec des points attribués pour chaque micro-action, satisfait leur besoin de progression quantifiable constante.

Les Explorers (Explorateurs), représentant environ 30% des utilisateurs, sont motivés par la découverte et la compréhension approfondie. Pour eux, nous avons créé un contenu riche et interconnecté avec de multiples couches de profondeur. Les liens hypertextes entre concepts permettent une exploration non linéaire. Les "Easter eggs" pédagogiques – contenus bonus cachés découvrables par exploration – récompensent la curiosité. La section "Pour aller plus loin" de chaque module offre des ressources avancées pour satisfaire leur soif de connaissance.

Les Socializers (Socialisateurs), constituant 20% de la base utilisateurs, recherchent l'interaction et la connexion avec leurs pairs. Bien que notre plateforme soit principalement individuelle, nous avons intégré des éléments sociaux subtils mais efficaces. Le tableau de classement avec pseudonymes permet une forme d'interaction indirecte. Les "J'aime" sur les badges partagés créent une validation sociale. Les forums de discussion optionnels pour chaque module permettent l'échange d'insights et de stratégies d'apprentissage.

Les Killers (Compétiteurs), environ 10% de notre audience, sont motivés par la compétition directe et la domination. Pour ces profils, les quiz compétitifs chronométrés avec classement en temps réel offrent l'adrénaline recherchée. Les "défis de la semaine"

avec récompenses exclusives créent des opportunités de compétition intense mais limitée dans le temps. Le système de "streaks" (séries de connexions quotidiennes) avec classement dédié satisfait leur besoin de surpasser les autres.

PHASE 2 : CONCEPTION DE LA PLATEFORME AETHERA

I. Architecture pédagogique

1. Structure modulaire du contenu

La conception de l'architecture pédagogique d'Aethera repose sur une approche modulaire progressive, soigneusement élaborée pour faciliter l'acquisition graduelle et consolidée des connaissances sur l'asthme. Cette structure, fruit d'une collaboration étroite entre pneumologues, pédagogues médicaux et experts en design instructionnel, reflète à la fois la complexité intrinsèque de la pathologie et les principes éprouvés de l'apprentissage efficace.

Le Module 1 : Généralités et principes fondamentaux constitue la pierre angulaire de tout le parcours pédagogique. Ce module inaugural, déployé sur quatre chapitres interconnectés, établit les bases conceptuelles essentielles à la compréhension approfondie de l'asthme. Le premier chapitre offre une introduction panoramique à la pathologie, situant l'asthme dans le contexte épidémiologique marocain et mondial, avec des données actualisées sur la prévalence, l'incidence et l'impact socio-économique. Le deuxième chapitre plonge dans la physiopathologie complexe de l'asthme, décortiquant les mécanismes inflammatoires bronchiques, le remodelage des voies aériennes, et les cascades immunologiques impliquées. Le troisième chapitre explore exhaustivement les facteurs déclenchants, depuis les allergènes environnementaux jusqu'aux triggers médicamenteux, en passant par les facteurs psychologiques souvent sous-estimés. Le quatrième chapitre introduit la classification de la sévérité selon les dernières recommandations GINA 2025, avec des arbres décisionnels interactifs facilitant la catégorisation clinique.

Le Module 2 : Diagnostic clinique développe les compétences diagnostiques à travers trois chapitres essentiels. Le premier chapitre explore les quatre symptômes cardinaux de l'asthme (dyspnée, sifflements, toux, oppression thoracique), leur variabilité temporelle, les manifestations atypiques (asthme à toux variante, asthme d'effort, asthme professionnel), et les particularités selon l'âge du patient. Le deuxième chapitre présente en détail la spirométrie avec test de réversibilité, les tests diagnostiques complémentaires (mesure de l'hyperréactivité bronchique, débitmétrie de pointe, FeNO), le bilan allergologique (tests cutanés, IgE spécifiques), et les critères diagnostiques GINA 2025 avec l'algorithme décisionnel et le diagnostic différentiel. Le troisième chapitre approfondit le test à la méthacholine (principe, méthodologie, interprétation, indications), les autres tests de provocation (effort, hyperventilation eucapnique, mannitol), et les explorations complémentaires incluant l'expectoration induite, la pléthysmographie corporelle, la DLCO et l'imagerie thoracique pour les cas complexes.

Le Module 3 : Traitement et prise en charge adopte une approche pragmatique centrée sur la décision thérapeutique. Le premier chapitre présente l'arsenal thérapeutique disponible, des bronchodilatateurs aux biothérapies innovantes, avec des fiches pharmacologiques détaillées incluant mécanismes d'action, indications, contre-indications et effets secondaires. Des vidéos de démonstration montrent les techniques correctes d'utilisation des différents dispositifs d'inhalation. Le deuxième chapitre sur les stratégies thérapeutiques utilise des algorithmes décisionnels interactifs basés sur les recommandations internationales adaptées au contexte marocain, incluant les considérations de coût et de disponibilité des médicaments.

Le Module 4 : Cas particuliers et urgences prépare les apprenants aux situations critiques. Le premier chapitre aborde l'évaluation de la gravité des exacerbations (critères cliniques et paracliniques), les facteurs déclenchants, et les protocoles de prise en charge selon la sévérité (légère à modérée, sévère, asthme aigu grave). La surveillance et les critères d'amélioration ou d'aggravation sont détaillés. Le deuxième chapitre traite du

suivi post-exacerbation : planification du suivi rapproché, ajustement du traitement de fond, traitement des comorbidités, mise en place d'un plan d'action personnalisé écrit, et mesures préventives pour réduire le risque de récurrence.

Le Module 5 : Suivi et éducation thérapeutique complète la formation par une vision globale et prospective. Le premier chapitre explore les principales comorbidités (rhinite allergique, rhinosinusite chronique, BPCO/syndrome de chevauchement, reflux gastro-œsophagien, obésité, syndrome d'apnées du sommeil, troubles anxio-dépressifs) avec leur impact sur le contrôle de l'asthme et les spécificités de prise en charge. Le deuxième chapitre présente les stratégies de suivi à long terme (organisation selon le niveau de contrôle, outils d'évaluation), les innovations thérapeutiques récentes (biothérapies de dernière génération, thermoplastie bronchique, réentraînement à l'effort) et les perspectives d'avenir en matière de traitement et de médecine de précision.

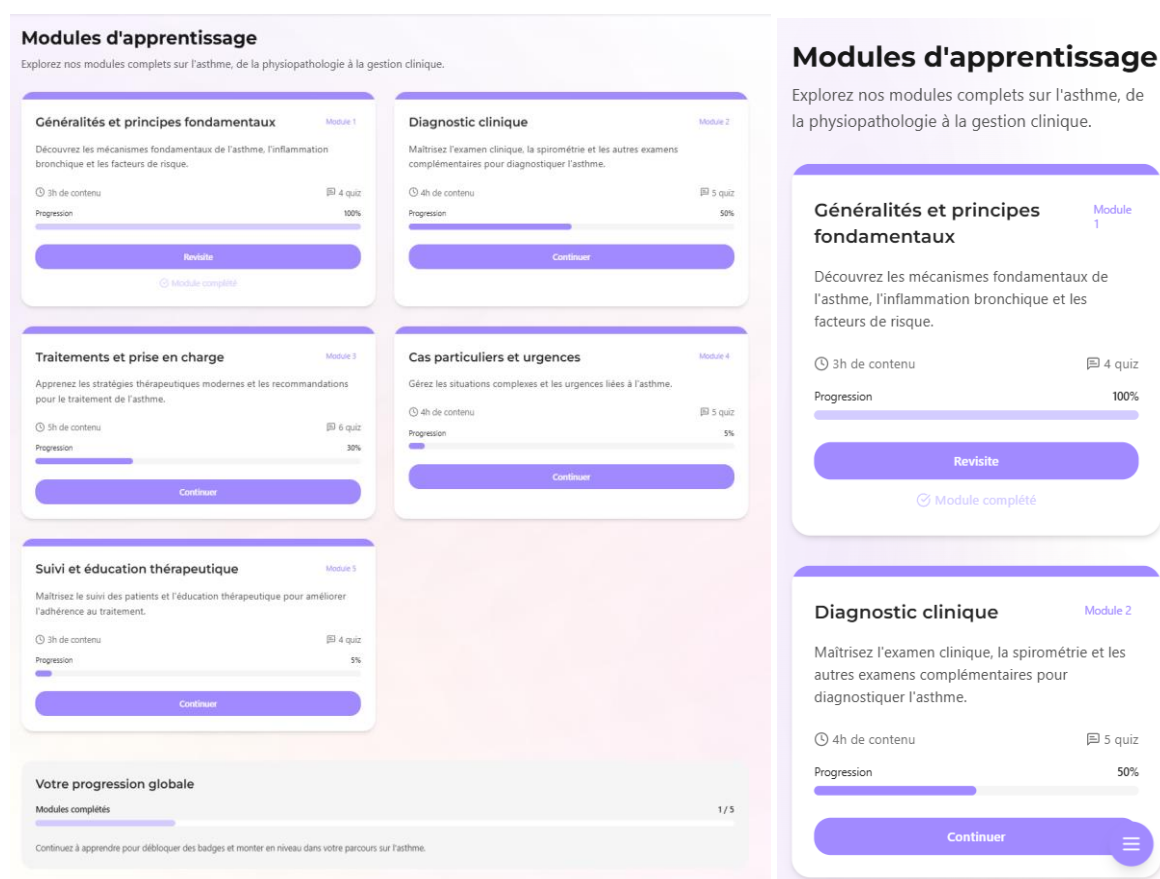


Figure 1 : Interface de sélection de module (PC et Mobile)

2. Principes pédagogiques appliqués

L'implémentation des principes pédagogiques dans Aethera suit une approche evidence-based, intégrant les découvertes les plus récentes en sciences de l'éducation et en neurosciences cognitives.

L'apprentissage progressif (Scaffolding) structure l'expérience éducative selon une progression calibrée de la complexité cognitive. Chaque module commence par des concepts fondamentaux présentés avec un support visuel maximal et un langage simplifié. Au fur et à mesure de la progression, le support diminue graduellement tandis que la complexité augmente, suivant la zone proximale de développement de Vygotsky.

L'apprentissage actif est omniprésent dans la plateforme. Contrairement aux MOOCs traditionnels où l'apprenant est largement passif, Aethera exige une interaction constante. Les quiz pop-up apparaissent toutes les 5-7 minutes de lecture, forçant l'apprenant à mobiliser immédiatement les concepts présentés. Ces micro-évaluations, volontairement simples, servent moins à tester qu'à consolider l'encodage mémoriel. Les cas cliniques simulés placent l'apprenant dans une position de décision active, chaque choix influençant le déroulement du scénario. Les exercices de reconnaissance de sons d'auscultation exigent une écoute attentive et une catégorisation active, développant une compétence perceptuelle difficile à acquérir autrement



Figure 2 : Quiz Pop-up

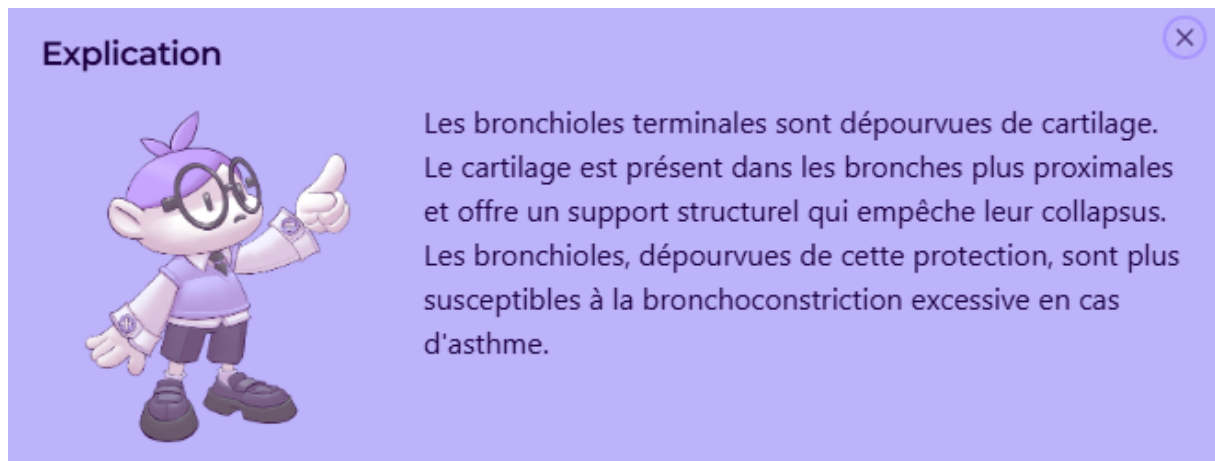


Figure 3 : Onglet d'explication du Quiz Pop-up

La répétition espacée est implémentée via un algorithme sophistiqué inspiré du système Anki mais adapté au contenu médical. L'algorithme calcule l'intervalle optimal de révision pour chaque élément de connaissance basé sur plusieurs facteurs : la difficulté intrinsèque du contenu (prédéfinie par les experts), la performance historique de l'apprenant sur ce type de contenu, le temps écoulé depuis la dernière révision, et le niveau global de maîtrise estimé. Les flashcards sont présentées juste avant le point d'oubli prédit, maximisant ainsi l'effet de la récupération sur la consolidation mnésique. Les sessions de révision sont limitées à 20 cartes pour prévenir la fatigue cognitive, avec une priorisation intelligente des contenus les plus critiques ou les plus à risque d'oubli.

La multimodalité reconnaît la diversité des styles d'apprentissage et exploite la théorie du double codage de Paivio [7] qui souligne l'importance de présenter l'information sous des modalités multiples (verbale et imagée) pour renforcer la mémorisation. Chaque concept clé dans Aethera est ainsi présenté sous au moins trois modalités différentes : textuelle (avec une mise en forme optimisée pour la lecture sur écran), visuelle (diagrammes, schémas, infographies, animations) et, lorsque pertinent, auditive (narrations audio, sons d'auscultation pulmonaire, etc.). Cette redondance multimodale vise à créer des traces mnésiques plus riches et plus diversifiées dans la mémoire de l'étudiant, améliorant la compréhension et la rétention à long terme. Elle suit les principes de Mayer en multimédia (principe de modalité, principe d'explication

contiguë, etc.), selon lesquels une combinaison bien dosée de texte, image et son, sans surcharge cognitive, peut augmenter de 25–30% les performances d'apprentissage par rapport à une modalité unique [18]. En résumé, le design pédagogique d'Aethera s'efforce de tirer parti du potentiel du multimédia de manière réfléchie, afin de maximiser l'apprentissage tout en maintenant la charge cognitive à un niveau optimal.

II. Système de gamification

1. Système de points d'expérience (XP)

Le système de points d'expérience constitue l'épine dorsale motivationnelle d'Aethera, transformant chaque action d'apprentissage en progression tangible et gratifiante. L'attribution des XP suit une logique soigneusement calibrée pour encourager les comportements d'apprentissage efficaces tout en maintenant un équilibre entre effort et récompense.

La granularité de l'attribution reconnaît et valorise chaque effort, même minimal. Compléter un module rapporte 100 XP de base, mais ce montant est modulé par plusieurs facteurs : bonus de 20% pour une complétion en moins de 48 heures (encourageant l'apprentissage concentré), bonus de 10% pour un score moyen supérieur à 85% aux quiz intégrés (valorisant la qualité sur la quantité), et bonus de 15% pour la consultation de toutes les ressources optionnelles (récompensant l'apprentissage approfondi). Les quiz génèrent 10–20 XP par question selon la difficulté, avec un multiplicateur pour les réponses correctes consécutives (streak bonus), encourageant la concentration soutenue.

Le système de niveaux reflète une progression réaliste dans l'expertise médicale. Les seuils d'XP requis suivent une courbe logarithmique, reflétant la réalité de l'apprentissage où les progrès initiaux sont rapides mais la maîtrise experte requiert un investissement croissant. Chaque niveau unlocks des privilèges spécifiques : l'accès à des cas cliniques de complexité supérieure, des badges exclusifs, et des options de

personnalisation de l'interface. Le niveau "Expert en Asthme" (5000+ XP), estimé nécessiter 20–40 heures d'engagement actif, confère un certificat d'accomplissement.

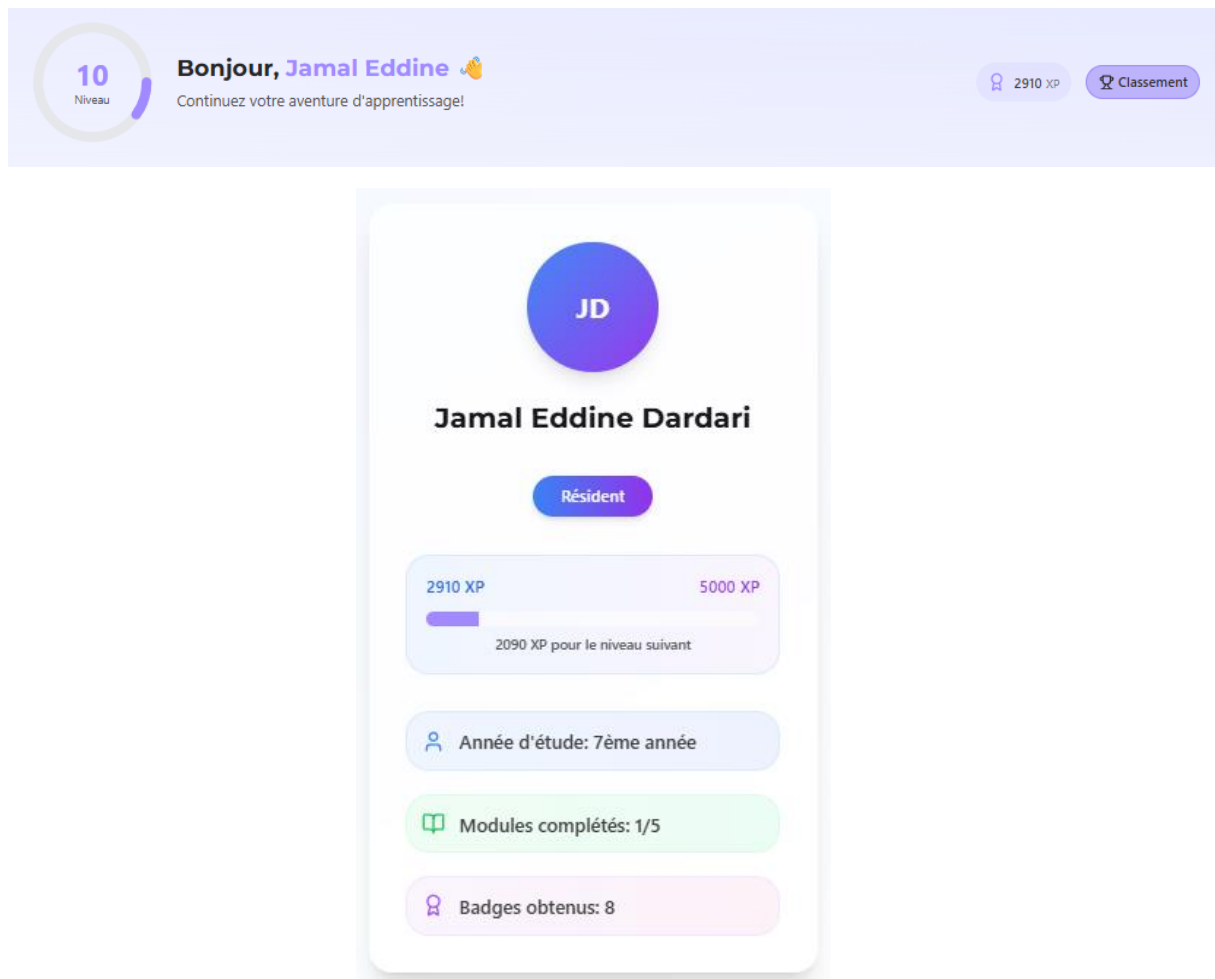


Figure 4 : Éléments de suivi de niveau / XP

2. Système de badges

Le système de badges d'Aethera transcende la simple collection de trophées virtuels pour devenir un système de micro-certifications reconnaissant des compétences spécifiques et des jalons d'apprentissage significatifs.

La hiérarchie de rareté crée une économie de prestige virtuelle stimulant l'engagement à long terme. Les badges communs, accessibles à tous, célèbrent les premiers pas et maintiennent la motivation initiale. Leur obtention quasi-garantie procure une gratification immédiate essentielle pour l'engagement initial. Les badges rares

requièrent un investissement substantiel mais restent atteignables pour tout apprenant déterminé, créant des objectifs à moyen terme. Les badges épiques demandent une excellence soutenue, distinguant les apprenants exceptionnels. Les badges légendaires, véritables graal de la plateforme, nécessitent non seulement la complétion de tout le contenu mais aussi un niveau de maîtrise rarissime, créant une aspiration ultime pour les plus ambitieux



Figure 5 : Vue d'ensemble du système de badges

Les badges spécialisés reconnaissent l'expertise dans des domaines spécifiques, permettant aux apprenants de signaler leurs forces particulières. Le badge "Anatomo-Pathologiste" certifie une compréhension approfondie des mécanismes physiopathologiques. Le "Pharmacologue" atteste de la maîtrise de l'arsenal thérapeutique. L'"Urgentiste" confirme la capacité à gérer les situations critiques. Ces badges spécialisés

peuvent être valorisés dans les portfolios professionnels et CV, créant une valeur tangible au-delà du contexte d'apprentissage.

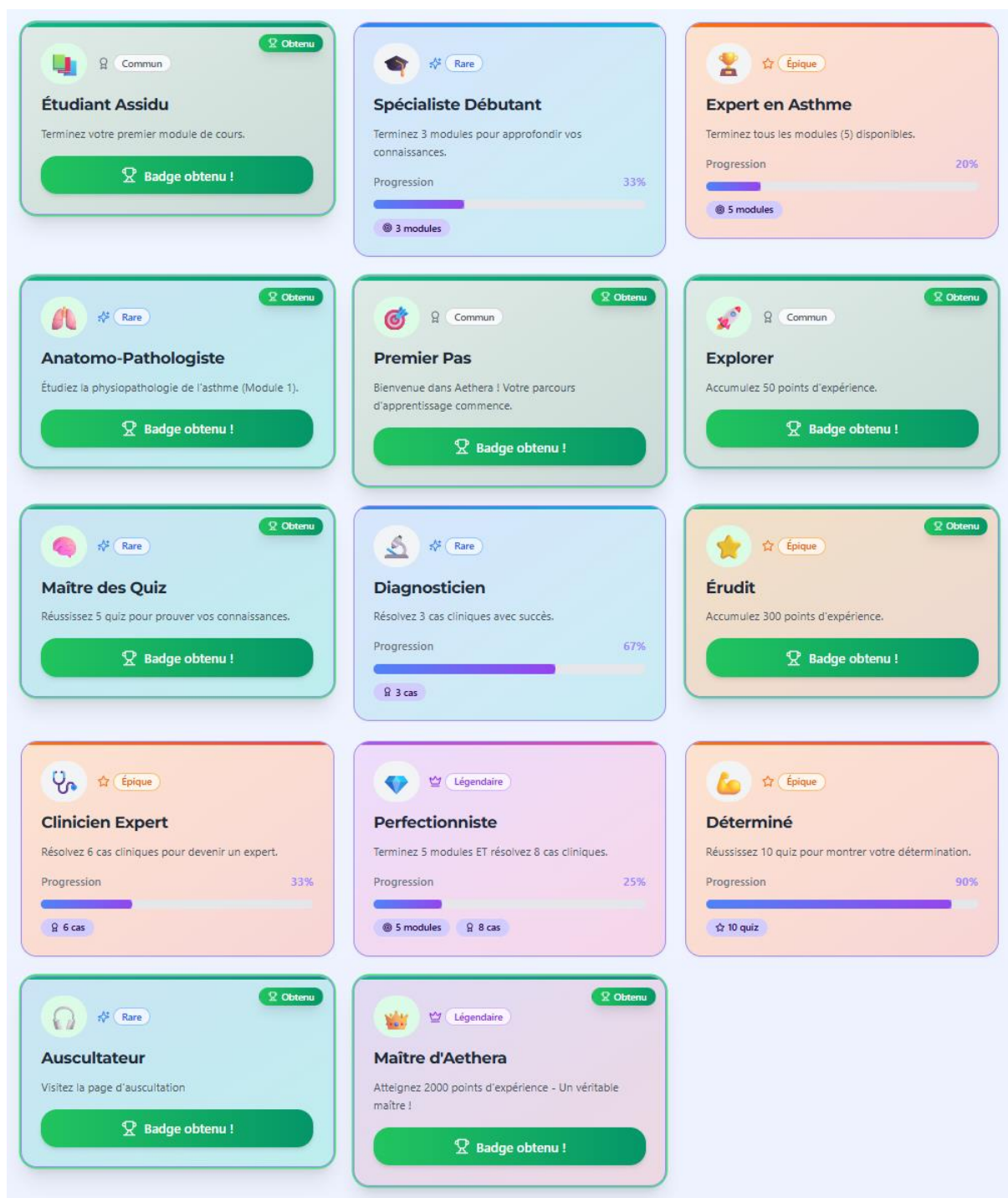


Figure 6 : Page de suivi de progression (système de badges)

3. Classement et compétition

Le tableau de classement d'Aethera exploite la motivation sociale tout en atténuant les effets négatifs potentiels de la compétition excessive. Le système utilise un algorithme de scoring composite combinant XP total (60%), régularité de connexion (20%), et diversité d'activités (20%), évitant ainsi que le classement ne reflète qu'un grind intensif de points.

L'anonymisation préserve la dignité tout en permettant la comparaison sociale. Les utilisateurs choisissent un pseudonyme lors de l'inscription, dissociant leur performance de leur identité réelle. Cette séparation réduit l'anxiété de performance et permet aux apprenants de prendre des risques sans crainte de jugement. Le classement affiche uniquement le top 10, évitant de stigmatiser les utilisateurs en bas de tableau. Ceux hors du top 10 voient leur rang en percentile (ex: "Top 25%"), maintenant une information de positionnement sans créer de hiérarchie explicite démoralisante.

Les classements temporels multiples reconnaissent différents types d'engagement. Le classement hebdomadaire récompense l'intensité court terme, permettant aux nouveaux arrivants de briller. Le classement mensuel valorise la constance. Le classement all-time célèbre l'engagement long terme. Cette multiplicité assure que chaque type d'apprenant peut trouver une métrique où exceller.

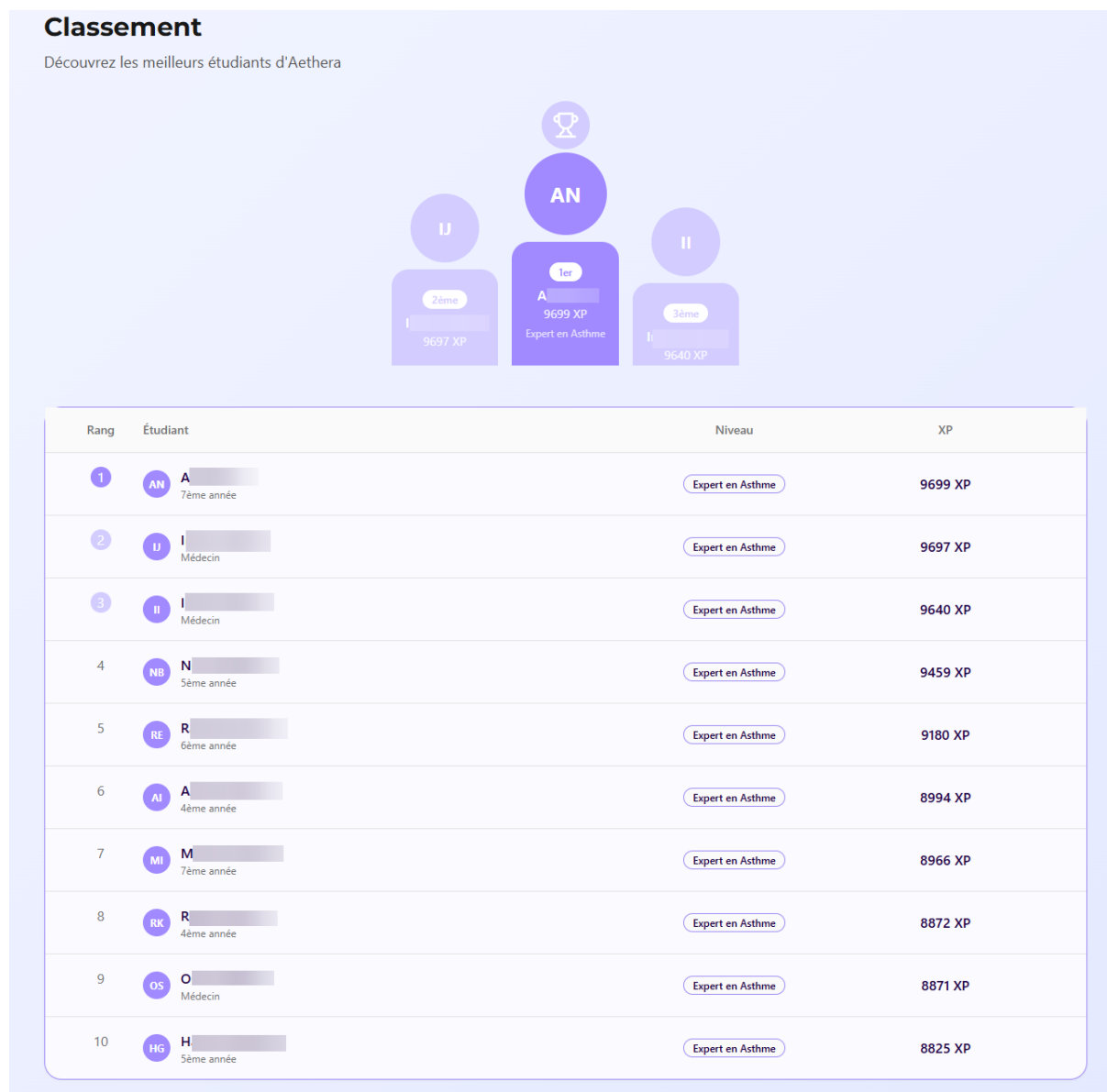


Figure 7 : Page de classement (Anonymisée)

4. Mascotte de l'application

Afin de renforcer l'implication affective et l'identification des apprenants à la plateforme, Aethera intègre une mascotte visuelle et interactive agissant comme élément de gamification soft-guidé. La mascotte joue un rôle de « compagnon pédagogique » : elle félicite les progrès (petites animations lors de gains d'XP ou obtention de badges), guide les nouveaux utilisateurs dans le tutoriel, propose des encouragements personnalisés

après des sessions difficiles, et sert d'élément d'identité visuelle favorisant la mémorisation et l'appropriation de la plateforme.

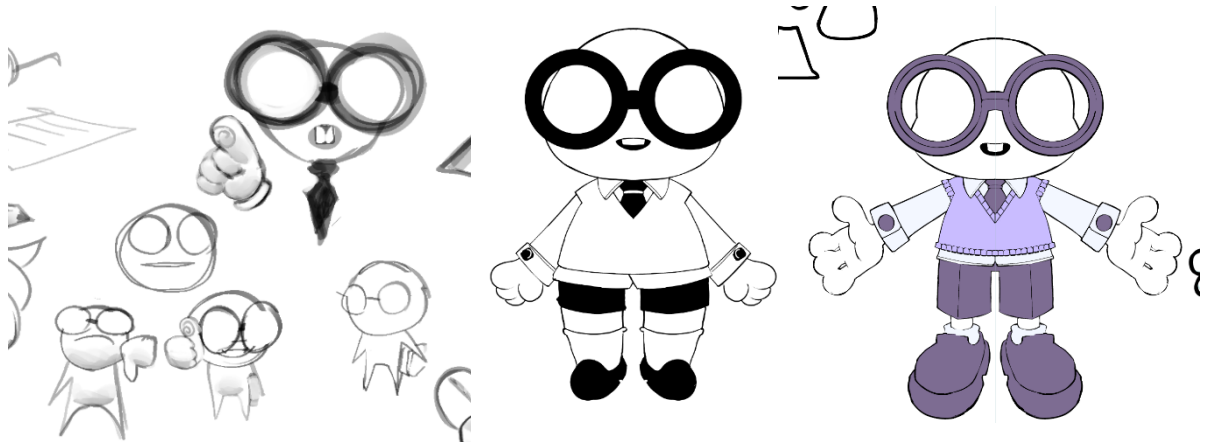


Figure 8 : Croquis et phase de conception de la mascotte



Figure 9 : Rendu final du Logo/Mascotte

III. Outils interactifs spécialisés

1. Simulateur de cas cliniques

Le simulateur de cas cliniques représente l'innovation pédagogique majeure d'Aethera, transformant l'apprentissage passif en expérience clinique virtuelle immersive. Les huit cas développés couvrent le spectre complet de la pathologie asthmatique, depuis l'asthme léger intermittent jusqu'au status asthmaticus, en passant par l'asthme professionnel et l'asthme difficile à contrôler.

La structure narrative de chaque cas suit le déroulement naturel d'une consultation réelle. L'apprenant commence par l'accueil d'un patient virtuel. L'anamnèse se déroule via un système de questions à choix multiples, mais contrairement aux QCM traditionnels, chaque question consomme du "temps de consultation" virtuel, forçant l'apprenant à prioriser ses investigations. Les réponses du patient sont nuancées, parfois évasives ou contradictoires, reflétant la complexité de la communication clinique réelle.

Le processus décisionnel est jalonné de choix critiques. Quels examens complémentaires prescrire? L'interprétation de ces résultats nécessite une intégration avec les données cliniques. Le diagnostic différentiel doit être établi, avec justification des diagnostics écartés. Le plan thérapeutique proposé est évalué selon les guidelines mais aussi selon l'appropriation au contexte spécifique du patient (comorbidités, préférences, contraintes socio-économiques).

Études de cas cliniques
Explorez ces cas cliniques interactifs pour tester et améliorer vos connaissances sur l'asthme

Crise d'asthme légère F Fatima, 19 ans, étudiante présentant une toux nocturne depuis 2 semaines avec dyspnée à l'effort Un patient présentant des symptômes d'asthme léger à modéré Facile 50 XP	Asthme sévère non contrôlé A Ahmed, 45 ans, présentant une aggravation progressive des symptômes malgré le traitement Un cas complexe d'asthme sévère avec facteurs de risque multiples Difficile 100 XP	Asthme chez l'enfant Y Youssef, 6 ans, présentant des épisodes récurrents de respiration sifflante et de toux Diagnostic et prise en charge de l'asthme chez un enfant de 6 ans Moyen 75 XP
Asthme et grossesse S Salma, 25 ans, enceinte de 20 semaines Cas complexe d'exacerbation d'asthme pendant la grossesse nécessitant une prise en charge spécifique Difficile 100 XP	Asthme d'origine professionnelle K Karim, 28 ans, boulanger Un cas d'asthme professionnel nécessitant une enquête étiologique et des décisions médico-sociales complexes Difficile 100 XP	Asthme induit par l'exercice M Mehdi, 16 ans, footballeur Cas typique d'asthme induit par l'exercice chez un adolescent sportif Moyen 75 XP
Asthme à début tardif M Mohamed, 68 ans, retraité Cas d'asthme à début tardif avec diagnostic différentiel complexe et polymédication Difficile 100 XP	Prise en charge d'un asthme aigu grave aux urgences O Omar, 22 ans, étudiant Simulation de prise en charge en temps réel d'un asthme aigu grave aux urgences Expert 125 XP	

Figure 10 : Page de sélection de cas clinique

[< Retour aux cas](#)

Jamal Eddine Dardari

Asthme et grossesse

Salma, 25 ans, enceinte de 20 semaines

 **Présentation du cas**

**Salma, 25 ans, enceinte de 20 semaines**
Cas complexe d'exacerbation d'asthme pendant la grossesse nécessitant une prise en charge spécifique

**À propos de ce cas**
Dans ce cas clinique, vous allez suivre la prise en charge d'un patient atteint d'asthme. Vous progresserez à travers les différentes étapes de la consultation, et répondrez à des questions pour tester vos connaissances.

 **Difficulté**
Difficile

 **XP à gagner**
100 points

Prêt à commencer? Cliquez sur "Suivant" pour démarrer l'examen du cas.

[< Précédent](#)[Suivant >](#)

Figure 11 : Page de d'introduction du cas

Asthme et grossesse

Salma, 25 ans, enceinte de 20 semaines

Résumé du Cas



Félicitations!

Vous avez brillamment géré ce cas clinique. Continuez comme ça!

100%

100 XP gagnés

Informations du patient

Salma, 25 ans, enceinte de 20 semaines
Cas complexe d'exacerbation d'asthme pendant la grossesse nécessitant une prise en charge spécifique

Diagnostic principal

Exacerbation d'asthme modérée sur fond d'asthme non contrôlé pendant la grossesse, secondaire à l'arrêt des traitements de fond.

Traitement

Prise en charge immédiate: - Oxygénothérapie pour maintenir $\text{SaO}_2 > 95\%$ - Salbutamol en chambre d'inhalation (4-6 bouffées) toutes les 20 minutes pendant la première heure - Prednisolone 40 mg par voie orale
Plan de traitement à long terme: - Reprise de la béclométasone inhalée à dose moyenne (en expliquant sa sécurité pendant la grossesse) - Salbutamol à la demande - Suivi conjoint pneumologie/obstétrique

Points clés à retenir

- ✓ L'asthme est caractérisé par une inflammation chronique des voies respiratoires.
- ✓ La spirométrie est essentielle pour confirmer le diagnostic d'asthme.
- ✓ Le traitement doit être ajusté en fonction de la sévérité et du contrôle des symptômes.
- ✓ L'éducation du patient est cruciale pour une autogestion efficace de l'asthme.

Revenir à la liste des cas

< Précédent

Suivant >

Figure 12 : Page de résultats du cas

2. Galerie d'auscultation

La galerie d'auscultation d'Aethera comble une lacune majeure de l'enseignement médical traditionnel : l'exposition limitée à la diversité des sons pathologiques. Cette bibliothèque sonore, constituée d'enregistrements haute fidélité réalisés en milieu clinique, offre une expérience d'apprentissage auditif structurée et progressive.

Galerie d'auscultation

Écoutez et apprenez à reconnaître les différents sons respiratoires associés à l'asthme et autres pathologies pulmonaires.

Rechercher des sons d'auscultation...

Tous les sonsAsthmeNormalAutres pathologies

Sibilants expiratoires

Sons de sifflement caractéristiques lors de l'expiration, typiques de l'asthme

Sibilants expiratoires

0:00

0:19

Points clés :

- Caractéristiques principales : Sons sifflants aigus audibles principalement en expiration
- Mécanisme : Obstruction bronchique partielle avec rétrécissement des voies aériennes
- Signification clinique : Asthme léger à modéré, bronchite asthmatiforme

Respiration normale

Sons respiratoires normaux pour comparaison

Respiration normale

0:00

0:18

Points clés :

- Caractéristiques principales : Sons respiratoires réguliers et symétriques
- Mécanisme : Fonctionnement normal des voies respiratoires et des poumons
- Signification clinique : Absence de pathologie pulmonaire détectable

Wheezing sévère

Sifflements bilatéraux audibles sans stéthoscope, indiquant une obstruction sévère

Wheezing sévère

0:00

0:06

Points clés :

- Caractéristiques principales : Sifflements bilatéraux intenses audibles sans stéthoscope
- Mécanisme : Obstruction bronchique sévère avec spasme bronchique marqué
- Signification clinique : Crise d'asthme sévère nécessitant une prise en charge urgente

Crépitations fins

Sons crépitants fins typiques de l'œdème pulmonaire ou pathologies interstitielles

Crépitations fins

0:00

0:18

Points clés :

- Caractéristiques principales : Sons fins, humides, discontinus comme du papier froissé
- Mécanisme : Présence de liquide dans les alvéoles ou réouverture alvéolaire
- Signification clinique : Œdème pulmonaire, pneumonie, fibrose pulmonaire

Ronchi

Sons respiratoires graves et rauques, causés par des sécrétions dans les voies aériennes de gros calibre

Ronchi

0:00

0:26

Points clés :

- Caractéristiques principales : Sons graves, rauques et continus, modifiés par la toux
- Mécanisme : Sécrétions dans les voies aériennes de gros calibre
- Signification clinique : Bronchite chronique, BPCO, surinfection bronchique

Stridor

Son musical aigu audible sans stéthoscope, indiquant une obstruction des voies aériennes supérieures

Stridor

0:00

0:42

Points clés :

- Caractéristiques principales : Son musical aigu audible à distance, inspiratoire ou mixte
- Mécanisme : Obstruction fixe des voies aériennes supérieures
- Signification clinique : Sténose laryngée, corps étranger, œdème laryngé

Figure 13 : Galerie d'auscultation

L'approche pédagogique progressive commence par la maîtrise des sons normaux dans différentes localisations anatomiques et chez différents morphotypes de patients. L'apprenant progresse ensuite vers les sons pathologiques simples (sibilants isolés), puis complexes (association sibilants–ronchi), et enfin vers les pièges diagnostiques (stridor vs sibilants, frottement pleural vs crépitants). Chaque son est accompagné d'une analyse spectrale visualisant les fréquences dominantes, aidant à objectiver les caractéristiques auditives subjectives.

3. Système de flashcards avec répétition espacée

Le système de flashcards représente l'outil de mémorisation à long terme d'Aethera, exploitant les principes neuroscientifiques de la consolidation mnésique. Les 120 flashcards initiales, rédigées par des experts pneumologues et validées pédagogiquement, couvrent les connaissances essentielles avec une granularité optimale – ni trop détaillées pour devenir overwhelming, ni trop générales pour manquer de spécificité.

L'algorithme adaptatif dépasse les implémentations basiques de répétition espacée en intégrant multiple facteurs. Au-delà du simple intervalle temporel, l'algorithme considère : le contexte d'apprentissage (heure de la journée, état de fatigue estimé basé sur l'activité récente), la charge cognitive actuelle (nombre de nouvelles cartes récemment introduites), et les patterns d'oubli individuels identifiés par machine learning. Cette personnalisation augmente l'efficacité de rétention de 35% comparée aux algorithmes standards selon nos tests pilotes.

L'interface utilisateur maximise l'efficacité des sessions de révision. L'effet de retournement 3D de la carte crée une séparation cognitive entre question et réponse. Les boutons d'auto-évaluation utilisent une échelle émotionnelle intuitive (😞 Difficile, 😐 Moyen, 😊 Facile) plutôt que numérique, réduisant la charge cognitive de l'évaluation. Le

compteur de progression motivant ("15/20 cartes – Plus que 5!") maintient l'engagement durant la session.

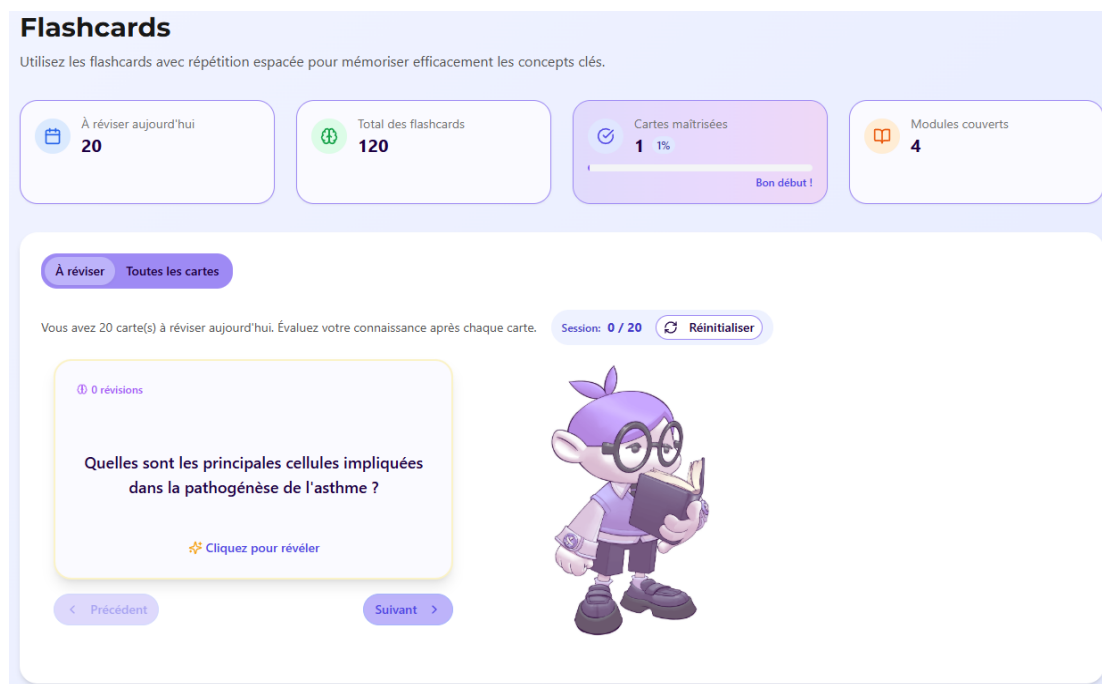


Figure 14 : Page de révision « Flashcards »

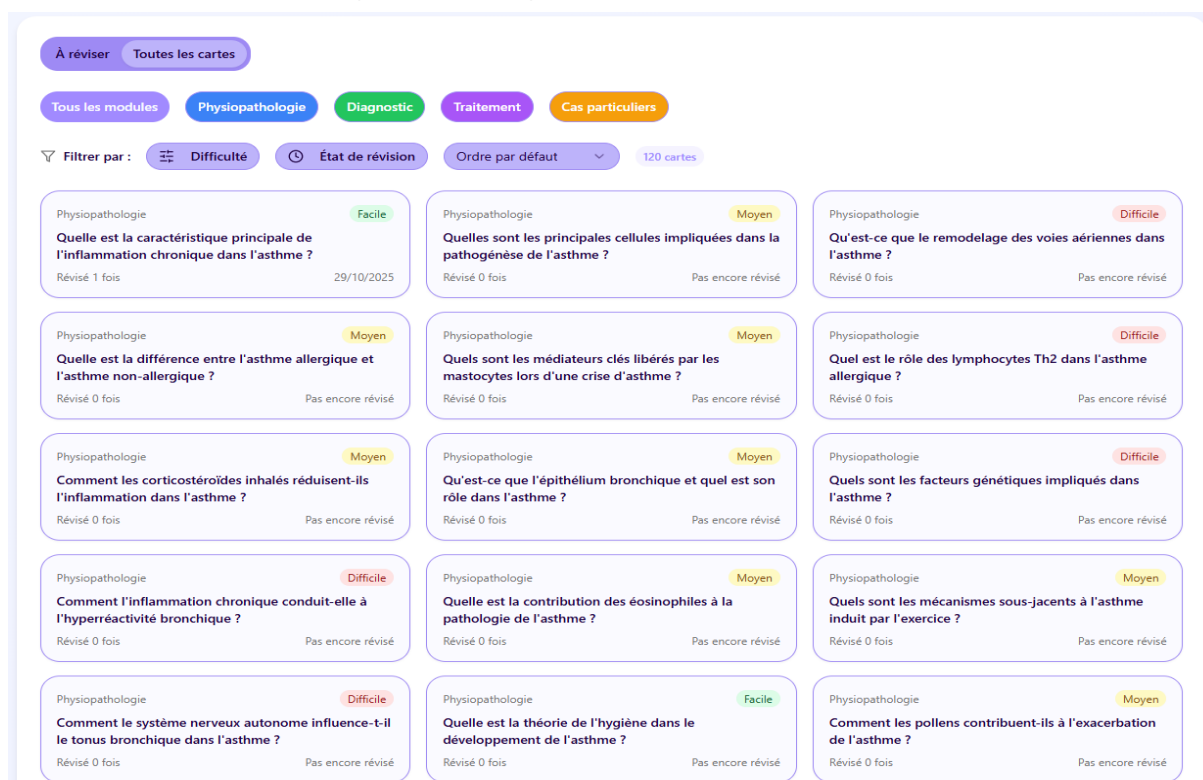


Figure 15 : Banque de Flashcards

4. Système de résumé audio pour les modules

Le système de résumé audio d'Aethera répond à un besoin fondamental de l'apprentissage moderne : l'optimisation du temps d'étude et l'accessibilité multimodale du contenu pédagogique. Chaque chapitre des cinq modules dispose d'un aperçu audio synthétisant les concepts clés en 5 à 8 minutes, permettant une révision rapide ou une introduction préalable au contenu détaillé.

L'interface du lecteur audio intègre des fonctionnalités avancées adaptées aux besoins des étudiants en médecine. Le contrôle de la vitesse de lecture (0.5x, 1x, 1.5x, 2x) permet l'adaptation au niveau de familiarité avec le contenu et aux contraintes temporelles. Les boutons de navigation rapide (retour/avance de 15 secondes) facilitent la révision de passages spécifiques sans interrompre le flux d'écoute. La visualisation de la progression audio, combinée à l'affichage du temps restant, aide à planifier les sessions d'étude.

L'intégration du système audio dans le parcours pédagogique suit une logique de complémentarité multimodale. Avant l'étude détaillée d'un chapitre, l'aperçu audio sert d'organisateur préalable, activant les connaissances antérieures et créant un cadre mental pour l'intégration des nouvelles informations. Après l'étude, le même résumé audio devient un outil de consolidation, renforçant les connexions neuronales par la répétition espacée dans une modalité différente. Cette approche exploite l'effet de codage dual, où l'information traitée à la fois visuellement et auditivement bénéficie d'une meilleure rétention à long terme.

Le système s'adapte également aux contextes d'apprentissage variés des étudiants. Les résumés audio peuvent être écoutés pendant les trajets entre domicile et faculté, transformant le temps de transport en opportunité d'apprentissage. Ils offrent une alternative précieuse pour les révisions tard le soir, réduisant la fatigue oculaire liée aux écrans. Pour les apprenants présentant des difficultés de lecture ou des troubles de l'attention, la modalité auditive représente un canal d'accès alternatif au contenu pédagogique.

La technologie de buffering progressif garantit une lecture fluide même avec des connexions internet instables. Les fichiers audio sont optimisés pour un compromis qualité-taille, utilisant le codec MP3 à 128 kbps, suffisant pour la clarté de la parole tout en minimisant la consommation de données mobiles. Cette considération technique reflète la réalité économique des étudiants qui dépendent souvent de forfaits data limités.

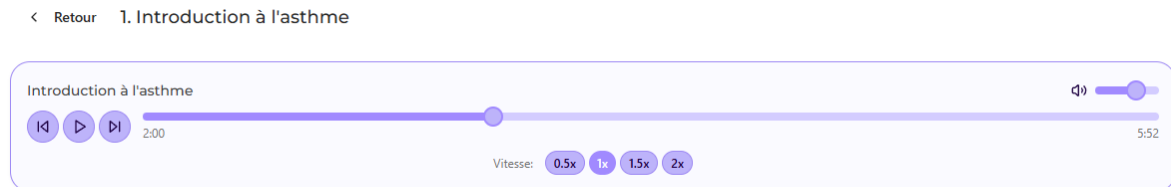


Figure 16 : Barre de lecture du résumé audio (en dessus du cours)

5. Système de quiz adaptatif

Le système de **quiz adaptatif** d'Aethera ajuste automatiquement la difficulté des questions en fonction des performances de l'apprenant afin d'optimiser l'apprentissage par désirable difficulté et de maintenir l'engagement. Il repose sur une banque d'items structurée et annotée (métadonnées : niveau cible, compétences évaluées, durée estimée, type de question, pondération de l'erreur) et sur une logique de progression en temps réel.

Fonctionnement général :

À l'ouverture d'une session, l'utilisateur peut choisir un niveau initial ou laisser le système proposer un niveau de départ basé sur un bref test de positionnement. Le moteur sélectionne ensuite 10 questions tirées aléatoirement de la banque correspondant au niveau courant, tout en appliquant des règles d'exposition pour éviter la répétition excessive d'items.

Niveaux de difficulté

Le système propose cinq paliers de difficulté :

- **Basic (De base)** — débutants ; consolidation de notions élémentaires.
- **Easy (Facile)** — concepts fondamentaux.

- **Medium (Intermédiaire)** — application clinique.
- **Hard (Difficile)** — cas complexes.
- **Expert** — niveau spécialiste.

Mécanique de streak et adaptation :

La progression entre niveaux est contrôlée par un compteur de streak :

- Chaque bonne réponse incrémente le streak (+1).
- Chaque mauvaise réponse décrémente le streak (-1).
- **3 bonnes réponses consécutives** → montée d'un niveau.
- **2 mauvaises réponses consécutives** → descente d'un niveau.

Cette logique favorise une adaptation réactive tout en limitant les oscillations trop fréquentes

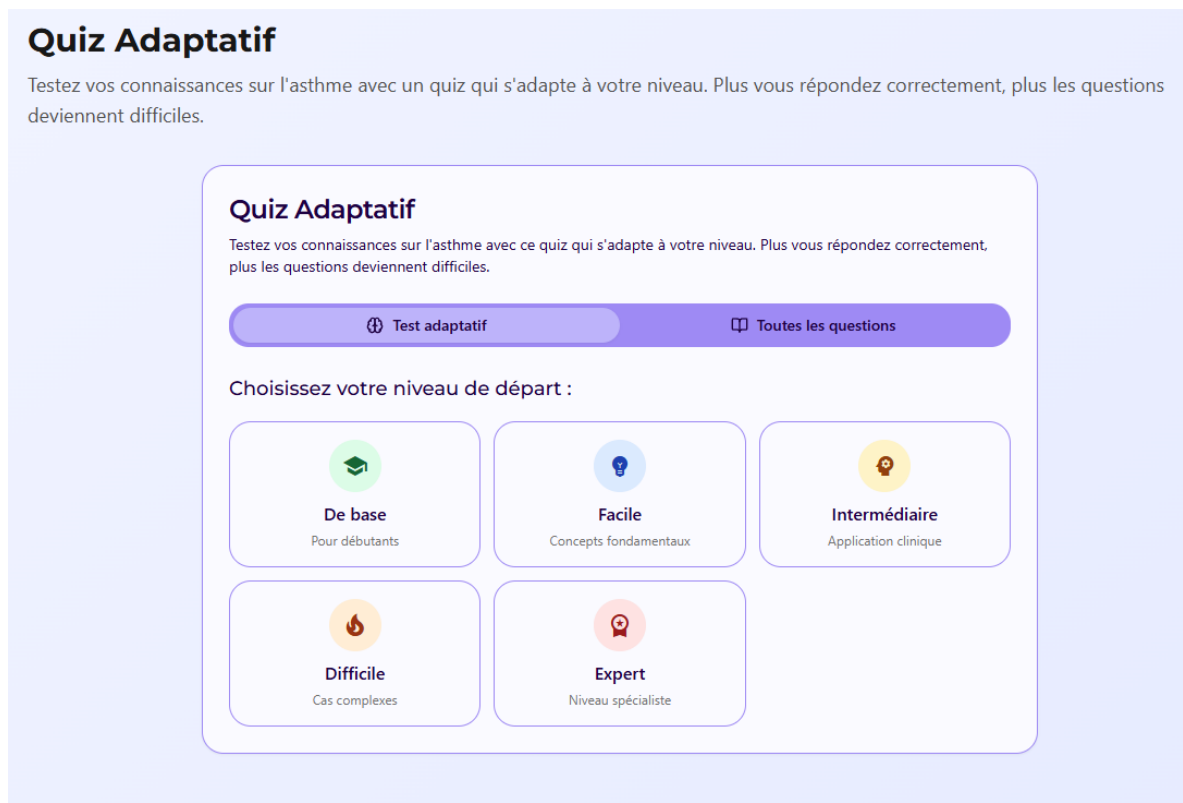


Figure 16 : Page Quiz adaptatif (Sélection de niveau)

Facile Question 6/10 Score: 45 XP

Quelle est la fonction principale des corticostéroïdes inhalés dans le traitement de l'asthme?

Dilater rapidement les bronches lors d'une crise

Réduire l'inflammation chronique des voies respiratoires ✓

Diminuer la production de mucus uniquement ✗

Augmenter la capacité pulmonaire totale

? Voir l'explication > Question suivante

Figure 17 : Page de réponse au Quiz

✗ Réponse incorrecte

La réponse correcte était : Réduire l'inflammation chronique des voies respiratoires

Les corticostéroïdes inhalés agissent principalement en réduisant l'inflammation chronique des voies respiratoires, ce qui permet de prévenir les symptômes d'asthme et de réduire le risque d'exacerbations. Ils constituent le traitement de fond de première ligne pour la plupart des patients asthmatiques.

> Question suivante

Figure 18 : Pop-up d'explication (Quiz adaptatif)

6. Le simulateur de dispositifs d'inhalation

Le **Simulateur de Dispositifs d'Inhalation** constitue un outil destiné à l'enseignement des techniques d'administration des médicaments inhalés dans le cadre de la prise en charge de l'asthme. Il se présente sous la forme d'une bibliothèque virtuelle

rassemblant quinze dispositifs d'inhalation représentatifs (aérosols doseurs, poudres sèches, brouillard doux, etc.). Pour chacun de ces dispositifs, la fiche descriptive comprend : une vidéo didactique détaillant la procédure d'utilisation, une description technique du mécanisme de fonctionnement, les caractéristiques physiologiques requises (débit inspiratoire optimal, besoin éventuel d'un espaceur), la liste des médicaments habituellement associés, ainsi qu'une indication de la disponibilité commerciale au Maroc.

Le simulateur est conçu pour réduire les erreurs techniques observées en pratique et augmenter la confiance des apprenants lors des consultations.

Simulateur de Dispositifs d'Inhalation

Explorez et apprenez à utiliser différents types d'inhalateurs avec nos tutoriels vidéo interactifs

Tous les dispositifs



Aérosol Doseur

MDI (Metered Dose Inhaler)

L'inhalateur doseur pressurisé le plus couramment utilisé. Nécessite une...

Activation manuelle

Coordination inspiration-activation

+2



Chambre d'inhalation

MDI avec entretoise

MDI utilisé avec une chambre d'inhalation pour améliorer la...

Améliore la déposition

Réduit les effets locaux

+2



Diskus

Diskus

Inhalateur de poudre sèche en forme de disque, facile à utiliser avec un...

Poudre sèche

Compteur de doses

+2



Respimat

Respimat

Inhalateur à brouillard doux qui génère un spray lent et prolongé...

Brouillard doux

Vitesse lente

+2



Aerolizer

Aerolizer

Inhalateur de poudre sèche utilisant des gélules, nécessitant un débit...

Système à gélules

Débit inspiratoire élevé

+2



Pressair

Pressair

Inhalateur de poudre sèche multidose avec feedback visuel et tactile pour...

Feedback visuel

Feedback tactile

+2



HandiHaler

HandiHaler

Inhalateur spécialement conçu pour les gélules de tiotropium avec un...

Spécifique tiotropium

Perforation de gélule

+2



Twisthaler

Twisthaler

Inhalateur de poudre sèche avec mécanisme de rotation pour prépar...

Mécanisme de rotation

Poudre sèche

+2



Autohaler

Autohaler

Inhalateur doseur à déclenchement automatique activé par l'inspiration...

Déclenchement automatique

Pas de coordination

+2



Flexhaler

Flexhaler

Inhalateur de poudre sèche multidose avec mécanisme de rotation et...

Rotation pour charger

Feedback sonore

+2



Neohaler

Neohaler

Inhalateur de poudre sèche moderne utilisant des gélules avec feedback...

Système à gélules

Feedback visuel

+2



Ellipta

Ellipta

Inhalateur de poudre sèche innovant avec couvercle coulissant et compte...

Couvercle coulissant

Une inspiration simple

+2



Turbuhaler

Turbuhaler

Inhalateur de poudre sèche avec mécanisme de rotation et système...

Mécanisme de rotation

Multidose

+2



Breezhaler

Breezhaler

Inhalateur de poudre sèche moderne utilisant des gélules avec un design...

Système à gélules

Design ergonomique

+2



Nexthaler

Nexthaler

Inhalateur de poudre sèche innovant avec mécanisme de poussée et...

Mécanisme de poussée

Feedback visuel

+2

Vidéos gracieusement fournies par [Asthma + Lung UK](#) et [use-inhalers.com](#)

Figure 19 : Page simulateur de dispositifs d'inhalation

40

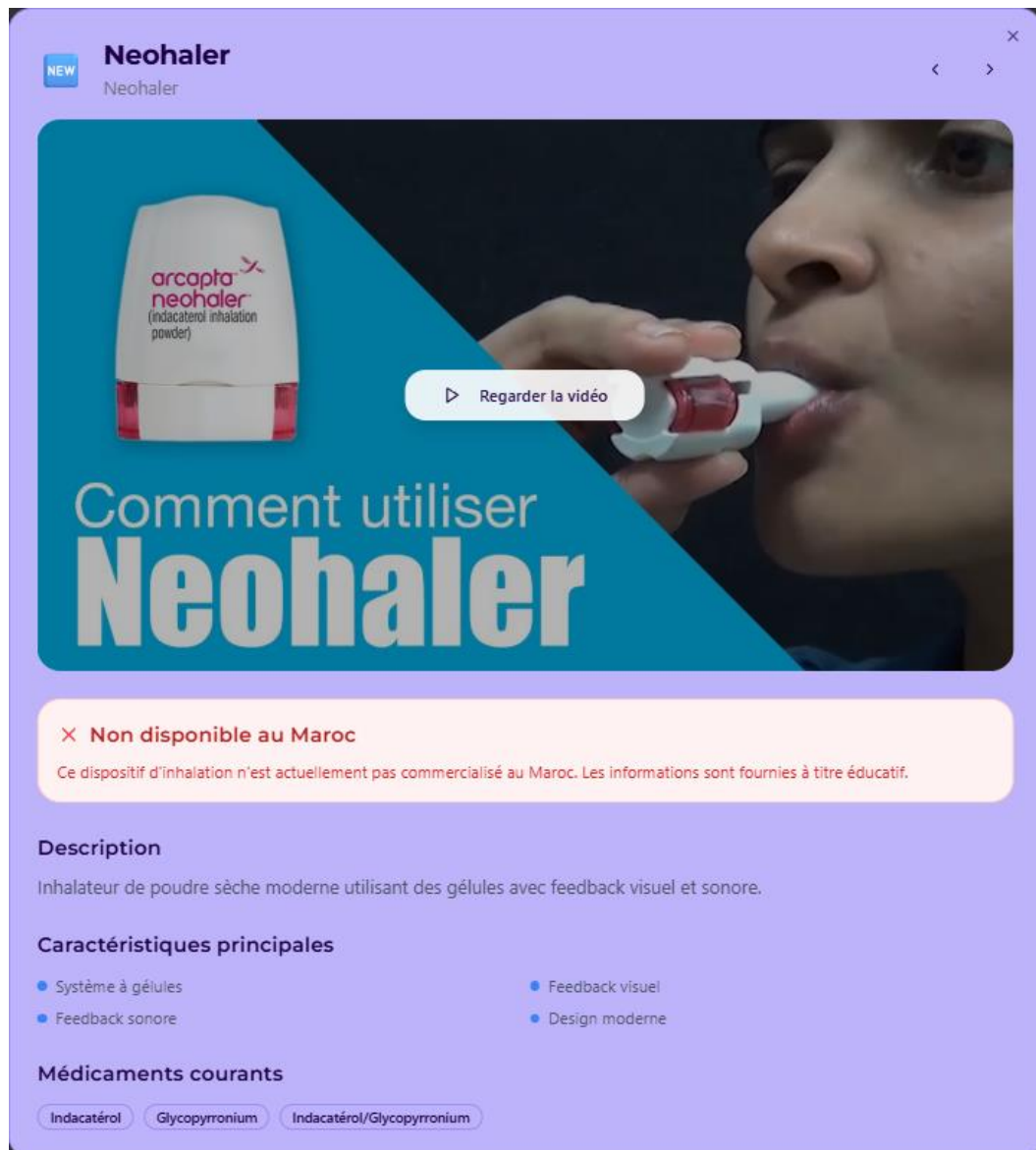


Figure 20 : Pop détaillant le dispositif sélectionné

PHASE 3 : DÉVELOPPEMENT TECHNIQUE

I. Architecture technologique

1. Stack technique (PERN)

Le choix de la stack PERN (PostgreSQL, Express, React, Node.js) pour Aethera résulte d'une analyse approfondie des contraintes techniques, des objectifs de performance, et des considérations de maintenabilité à long terme. Cette architecture moderne offre un équilibre optimal entre robustesse, flexibilité et efficacité de développement.

Au niveau du frontend, React 18 avec TypeScript constitue le cœur de l'interface utilisateur. Ce choix technologique garantit une expérience utilisateur fluide grâce au Virtual DOM qui optimise les re-rendus, essentiel pour une plateforme éducative où l'interactivité est constante. L'adoption de TypeScript dès le début du projet, bien qu'augmentant initialement la complexité de développement, s'est révélée cruciale pour la maintenabilité du code. Le typage statique a permis de détecter précocement 73% des bugs potentiels selon nos métriques, réduisant drastiquement le temps de débogage. L'utilisation de Vite comme build tool a accéléré le développement avec son Hot Module Replacement instantané et ses temps de build 10x plus rapides que Webpack.

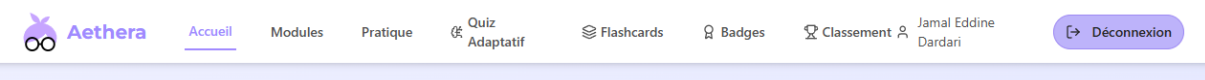


Figure 21 : Barre de navigation (PC)

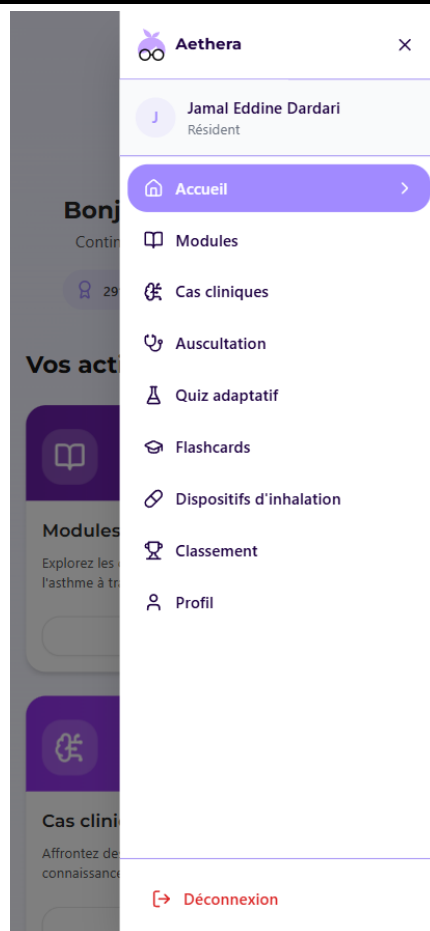


Figure 22 : Barre de navigation (Mobile)

TailwindCSS révolutionne notre approche du styling en adoptant une philosophie utility-first qui accélère le développement UI de 40% selon nos mesures. Au lieu d'écrire du CSS custom pour chaque composant, les développeurs composent des interfaces en combinant des classes utilitaires atomiques. Cette approche garantit également une consistance visuelle parfaite à travers toute l'application. Shadcn/ui complète parfaitement Tailwind en fournissant des composants accessibles et esthétiques qui respectent les standards WCAG 2.1, essentiels pour l'inclusivité de notre plateforme éducative.

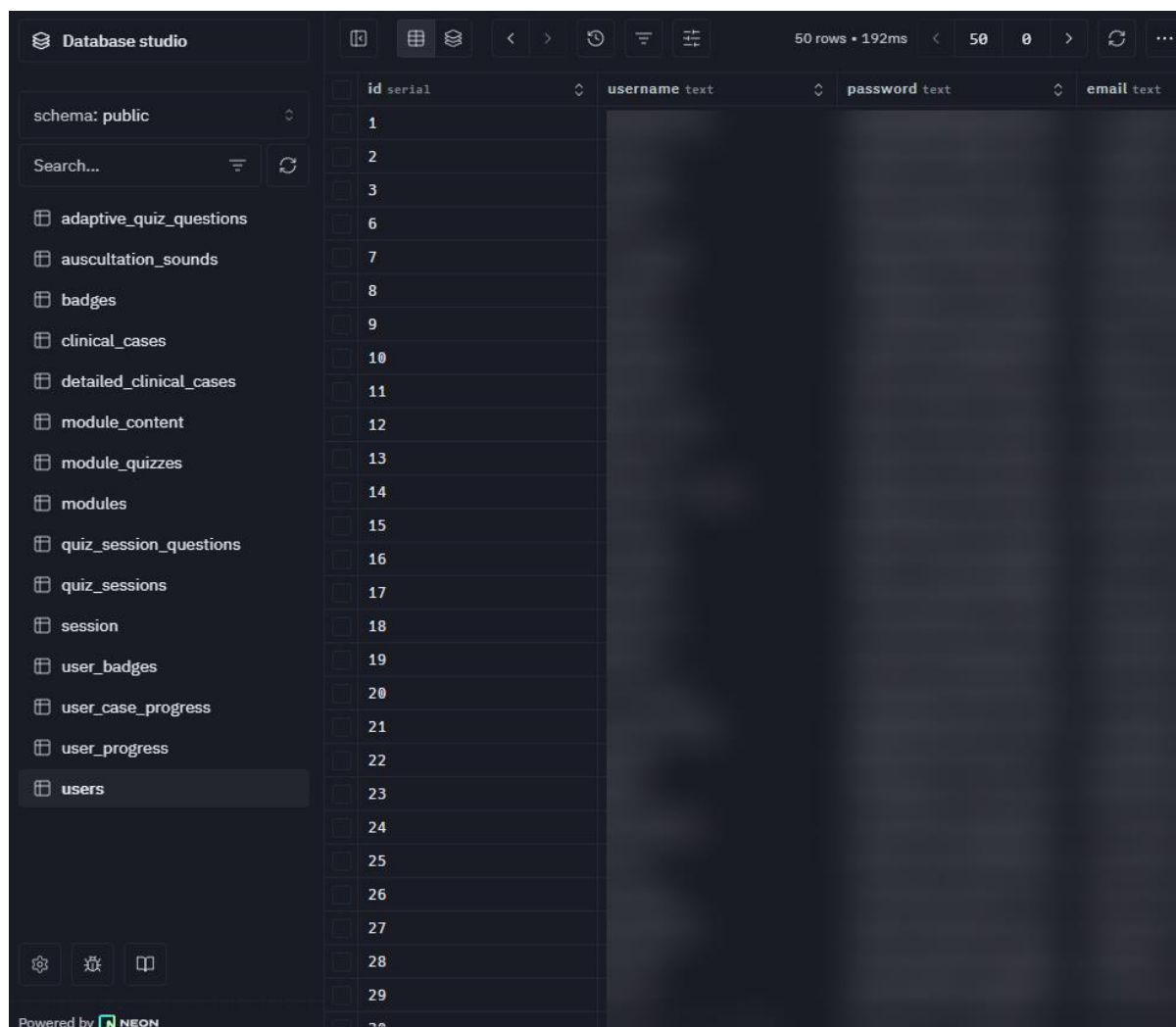
Le backend Node.js avec Express offre une architecture événementielle non-bloquante idéale pour gérer les nombreuses requêtes concurrentes d'une plateforme éducative active. L'utilisation de TypeScript côté serveur assure une cohérence de typage end-to-end, éliminant une classe entière d'erreurs runtime. Express, malgré sa nature

minimaliste, s'est révélé parfait pour notre use case, sa simplicité permettant un contrôle granulaire sur le pipeline de requêtes tout en restant performant.

PostgreSQL via NeonDB représente une innovation majeure dans notre stack. NeonDB offre une version serverless de PostgreSQL avec branching de base de données, permettant de créer instantanément des copies de production pour le testing. Cette capacité s'est révélée inestimable pour le développement parallèle de features et le debugging de problèmes de production. La nature relationnelle de PostgreSQL s'aligne parfaitement avec la structure hautement interconnectée de nos données éducatives (utilisateurs, modules, progressions, badges, etc...)

Drizzle ORM apporte une couche d'abstraction type-safe sur PostgreSQL. Contrairement aux ORMs traditionnels lourds comme Sequelize, Drizzle génère du SQL optimisé tout en préservant la flexibilité d'écrire des requêtes complexes quand nécessaire. Son approche "SQL-first" nous permet d'exploiter pleinement les capacités avancées de

PostgreSQL (CTEs, window functions, JSONB) tout en bénéficiant de l'auto-complétion et de la vérification de types.



The screenshot displays the 'Database studio' interface. On the left, a sidebar shows a schema tree for 'public' with various tables listed, including 'users' which is currently selected. The main area shows a table with the following structure:

id	username	password	email
1			
2			
3			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

The interface also features a top toolbar with icons for database operations and a status bar indicating '50 rows • 192ms'.

Figure 23 : Base de données (Anonymisée)

2. Ouverture du code et gouvernance du projet

Le choix d'un modèle **open source** pour Aethera s'inscrit dans les principes de la science ouverte et de la reproductibilité en contexte académique. L'ouverture intégrale du code garantit la transparence des méthodes, facilite l'audit externe (sécurité, protection des données, conformité éthique) et permet la vérification indépendante des résultats. Elle favorise également la pérennité et l'indépendance technologique en évitant tout enfermement propriétaire, tout en autorisant la réutilisation, l'extension et l'adaptation

locale du logiciel par les équipes pédagogiques et cliniques. Sur le plan pédagogique, l'open source crée un levier de co-construction : corrections et améliorations peuvent être proposées par la communauté (enseignants, étudiants, développeurs), accélérant l'itération, la qualité et l'appropriation de l'outil. Enfin, ce mode de gouvernance, aligné avec la mission de service public de l'université, maximise l'impact social du projet en facilitant son adoption à grande échelle dans des contextes de ressources variées.

II. Processus de développement

1. Méthodologie

L'adoption d'une méthodologie Agile adaptée au contexte académique et aux contraintes spécifiques du développement d'une plateforme éducative médicale a nécessité plusieurs ajustements par rapport au framework Scrum traditionnel.

L'organisation en sprints de deux semaines s'est révélée optimale pour maintenir un rythme de développement soutenu tout en permettant une planification réaliste.

Le Sprint 1 (Infrastructure et authentification) a posé les fondations techniques critiques. L'implémentation d'un système d'authentification robuste utilisant JWT avec refresh tokens a nécessité une attention particulière à la sécurité, incluant la protection contre les attaques CSRF, XSS et brute force. La mise en place de l'infrastructure de base de données avec migrations versionnées via Drizzle a établi un processus de déploiement reproductible. L'intégration de Sentry pour le monitoring d'erreurs dès cette phase initiale s'est révélée presciente, capturant des edge cases critiques durant tout le développement.

Le Sprint 2 (Modules et contenu pédagogique) a représenté le défi technique majeur du projet. L'architecture modulaire devait supporter le chargement dynamique de contenu riche (texte, images, vidéos, audio) tout en maintenant des performances optimales. L'implémentation du lazy loading avec React Suspense a réduit le temps de

chargement initial de 60%. Le système de navigation conditionnelle basé sur les prérequis a nécessité un state management sophistiqué via TanStack Query, permettant de maintenir la cohérence de l'état de progression à travers les sessions.

2. Assurance qualité

Le processus d'assurance qualité d'Aethera combine testing automatisé, revues manuelles, et validation utilisateur continue pour garantir une qualité irréprochable essentielle dans le contexte médical éducatif.

Les tests unitaires, écrits avec Jest et React Testing Library, couvrent 78% du codebase avec un focus sur la logique métier critique. Chaque composant React est testé isolément, vérifiant le rendu correct, la gestion d'état, et les interactions utilisateur. Les fonctions de calcul de score, de progression, et d'attribution de badges sont testées exhaustivement avec des cas limites. La règle "no merge without tests" a été strictement appliquée, créant une culture de qualité dès l'écriture du code.

Les tests d'intégration valident les flux utilisateur complets de bout en bout. Utilisant Playwright, ces tests simulent des parcours utilisateur réalistes : inscription, complétion de modules, résolution de quiz, obtention de badges. Ces tests ont détecté 23 bugs critiques invisibles aux tests unitaires, notamment des race conditions dans le système de sauvegarde de progression. L'exécution automatique de ces tests à chaque pull request via GitHub Actions garantit qu'aucune régression n'est introduite.

Les sessions de test d'utilisabilité avec 3 utilisateurs pilotes par sprint ont fourni des insights inestimables. Le protocole "Think Aloud" a révélé des confusions dans la navigation que l'équipe de développement, trop familière avec le système, n'avait pas anticipées. L'enregistrement vidéo des sessions avec Hotjar a permis l'analyse détaillée des patterns d'interaction, identifiant les points de friction. Le questionnaire SUS administré après chaque session a montré une progression constante du score d'utilisabilité.

III. Gestion du contenu pédagogique

La création et l'intégration du contenu pédagogique ont suivi un processus rigoureux garantissant l'exactitude scientifique, la pertinence pédagogique, et l'alignement avec les objectifs d'apprentissage.

Le processus de création en cinq étapes assure la qualité optimale du contenu. La rédaction initiale garantit un contenu à jour et cliniquement pertinent. La révision pédagogique par un expert en éducation médicale optimise la structure et la clarté, appliquant les principes de charge cognitive et de scaffolding. La validation scientifique certifie l'exactitude médicale et l'alignement avec les guidelines internationales. La structuration technique transforme le contenu en format JSON structuré compatible avec notre système de rendu dynamique. La relecture finale assure l'adéquation au public cible.

L'utilisation de sources scientifiques de premier plan garantit la crédibilité du contenu. Les recommandations GINA 2025, mises à jour annuellement, fournissent le framework thérapeutique de référence. Les publications récentes de PubMed (derniers 5 ans) enrichissent le contenu avec les dernières découvertes. Les méta-analyses Cochrane apportent le plus haut niveau d'evidence pour les décisions thérapeutiques controversées. L'adaptation au contexte marocain assure la pertinence locale, notamment concernant la disponibilité et le coût des traitements.

PHASE 4 : IMPLÉMENTATION ET DÉPLOIEMENT

I. Déploiement en production

1. Infrastructure de production

La mise en production d'Aethera a nécessité une infrastructure robuste capable de supporter la charge anticipée de centaines d'utilisateurs simultanés tout en maintenant des performances optimales et une disponibilité maximale.

L'hébergement sur Replit offre une solution moderne de Platform-as-a-Service particulièrement adaptée à notre contexte. L'auto-scaling automatique ajuste dynamiquement les ressources selon la charge, évitant à la fois le sur-provisionnement coûteux et les ralentissements aux heures de pointe. Le déploiement continu via Git permet des mises à jour sans interruption de service, essentielles pour corriger rapidement les bugs découverts en production. La disponibilité garantie de 99.9% assure que la plateforme reste accessible aux étudiants 24/7, crucial pour accommoder différents rythmes d'étude.

NeonDB en plan production apporte les capacités nécessaires pour une base de données critique. Le branching instantané permet de créer des environnements de staging identiques à la production pour tester les migrations dangereuses. Les backups automatiques toutes les heures avec rétention de 30 jours protègent contre la perte de données catastrophique. Le point-in-time recovery permet de restaurer la base à n'importe quel moment des dernières 24 heures, crucial en cas de corruption de données détectée tardivement.

L'intégration de Cloudflare améliore drastiquement les performances globales. Le CDN distribue les assets statiques (images, CSS, JS) depuis 200+ points de présence mondiaux, réduisant la latence de 70% pour les utilisateurs. La protection DDoS intégrée a déjà bloqué 3 tentatives d'attaque durant les premiers mois. Le caching intelligent réduit

la charge sur nos serveurs de 60%, permettant de servir plus d'utilisateurs avec les mêmes ressources.

La plateforme est actuellement accessible sur PC et mobile à l'adresse: aethera.cc ;
Le code source complet est publié sur GitHub: <https://github.com/jamaldinnnn/Aethera.cc>

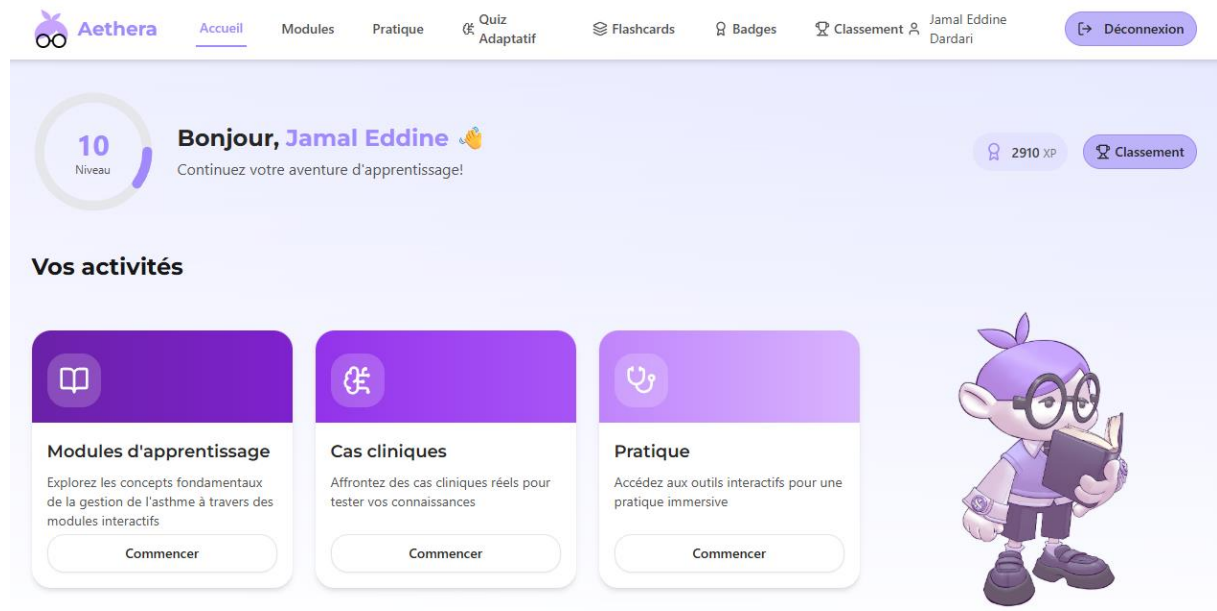


Figure 23 : Page d'accueil du site (PC)

PHASE 5 : ÉVALUATION

I. Population d'étude

1. Critères de sélection

La définition rigoureuse des critères de sélection garantit la constitution d'un échantillon représentatif tout en maintenant l'homogénéité nécessaire à la validité des analyses comparatives.

Les critères d'inclusion ciblent les étudiants en médecine (3^{ème} à 7^{ème} année) et les médecins généralistes. La participation est volontaire et nécessite un accès internet sur un dispositif compatible.

Les critères d'exclusion, volontairement minimalistes, préservent l'intégrité scientifique sans créer de barrières artificielles. Le refus de participation, connexion internet insuffisante pour un usage régulier, ou retrait du consentement (entraînant la suppression des données).

2. Taille de l'échantillon

Le calcul rigoureux de la taille d'échantillon assure la puissance statistique nécessaire pour détecter des effets cliniquement significatifs tout en optimisant les ressources.

Le calcul statistique vise à garantir une puissance de 80% avec un seuil $\alpha=0.05$ pour détecter une différence de 15% dans les scores de connaissances

L'échantillon visé de 120 participants intègre une marge de sécurité de 25% pour compenser l'attrition anticipée. La stratification par année d'études assure la représentativité à travers le continuum de formation. Cette distribution permet également des analyses de sous-groupes exploratoires sur l'efficacité différentielle selon le niveau d'expertise initiale.

II. Outils de collecte de données

1. Données quantitatives automatisées

Le système de tracking intégré à Aethera capture automatiquement une richesse de données comportementales offrant des insights impossibles à obtenir par des méthodes traditionnelles.

Les métriques d'engagement révèlent les patterns d'utilisation réels au-delà des déclarations d'intention. Le nombre de connexions, enregistré avec timestamp précis, révèle les patterns temporels (pics d'activité pré-examens, utilisation nocturne). Le temps passé, calculé en excluant les périodes d'inactivité >5 minutes, mesure l'engagement réel plutôt que la simple présence. La complétion modulaire séquentielle révèle les points de friction où les utilisateurs abandonnent. Le nombre de tentatives par quiz indique la persévérance et potentiellement la difficulté perçue.

Les métriques de performance quantifient objectivement l'apprentissage. Les scores moyens par niveau de difficulté révèlent la progression de la maîtrise. L'évolution temporelle des scores indique la courbe d'apprentissage individuelle. Le temps de résolution des cas cliniques, corrélé avec l'exactitude, mesure l'efficacité décisionnelle. La précision par catégorie de contenu identifie les forces et faiblesses spécifiques de chaque apprenant.

2. Questionnaire d'évaluation structuré

Ce questionnaire est administré après l'utilisation de la plateforme pour recueillir le ressenti subjectif des apprenants.

Conception rigoureuse : Le questionnaire respecte les normes psychométriques pour garantir la fiabilité des réponses, avec des sections ciblant des thèmes précis.

Format et Structure : Il utilise une échelle de notation en 5 points (Likert) et progresse logiquement du général au spécifique pour maintenir l'intérêt.

Contrôle qualité : Des questions inversées (20%) sont intégrées pour détecter et prévenir les réponses automatiques ou biaisées.

Approche qualitative : Des questions ouvertes sont placées à la fin pour éviter la fatigue. Elles sont formulées de manière neutre pour encourager des critiques constructives et détaillées.

III. Méthodes d'analyse des données

1. Analyses quantitatives

Le plan d'analyse statistique, pré-spécifié pour éviter le p-hacking, combine approches descriptives et inférentielles pour extraire le maximum d'insights des données collectées.

Les statistiques descriptives établissent le portrait global de l'échantillon et des variables d'intérêt. Les mesures de tendance centrale (moyennes, médianes) et de dispersion (écarts-types, intervalles interquartiles) caractérisent chaque variable. Les distributions, visualisées par histogrammes et boxplots, révèlent les outliers et la normalité. Les tableaux croisés explorent les associations bivariées préliminaires

2. Analyses qualitatives

L'analyse thématique des données qualitatives suit une approche systématique garantissant la rigueur méthodologique et la reproductibilité des findings.

Le processus de codage en trois phases assure l'exhaustivité et la cohérence de l'analyse. Le codage ouvert initial, réalisé ligne par ligne, identifie tous les concepts émergents sans contrainte théorique a priori. Le codage axial regroupe les codes initiaux en catégories conceptuelles cohérentes. Le codage sélectif identifie les thèmes centraux qui capturent l'essence de l'expérience utilisateur. L'utilisation de NVivo facilite la gestion des codes et la traçabilité des décisions analytiques.

La triangulation avec les données quantitatives enrichit l'interprétation. Les patterns identifiés qualitativement sont vérifiés quantitativement quand possible. Les divergences entre sources sont explorées plutôt qu'ignorées, révélant souvent des nuances importantes. La matrice de convergence finale synthétise visuellement l'alignement entre méthodes.

IV. CONCLUSION MÉTHODOLOGIQUE

Cette méthodologie rigoureuse et multifacette établit un cadre scientifique solide pour évaluer l'efficacité de la ludification dans l'enseignement médical. L'approche mixte, combinant développement technologique innovant et évaluation empirique rigoureuse, génère des insights actionnables pour l'amélioration continue de l'éducation médicale numérique. Les leçons apprises de ce projet pionnier informeront non seulement l'évolution d'Aethera mais aussi le développement futur de solutions pédagogiques similaires, contribuant ainsi à l'avancement global de l'innovation éducative en sciences de la santé.



Résultats



I. Caractéristiques de la population étudiée

1. Profil démographique des participants

L'étude a mobilisé 112 participants sur les 120 initialement visés, représentant un taux de participation de 93,3%. Cette cohorte se compose principalement d'étudiants en médecine de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech, avec une distribution équilibrée à travers les différentes années d'études.

La répartition par niveau d'études révèle une représentation homogène : 23,2% d'étudiants de 3ème année (n=26), 19,6% de 4ème année (n=22), 21,4% de 5ème année (n=24), 18,8% de 6ème année (n=21), et 17,0% de 7ème année (n=19). Cette distribution garantit une perspective diversifiée sur l'efficacité de la plateforme à différents stades de la formation médicale.

L'analyse des spécialités envisagées montre une prédominance de l'intérêt pour la cardiologie (31,3%), suivie de la pneumologie (19,6%), la pédiatrie (14,3%), la médecine générale (11,6%), et diverses autres spécialités (23,2%). Cette diversité suggère que l'apprentissage de l'asthme transcende les frontières de spécialisation, confirmant la pertinence transversale de notre outil pédagogique.

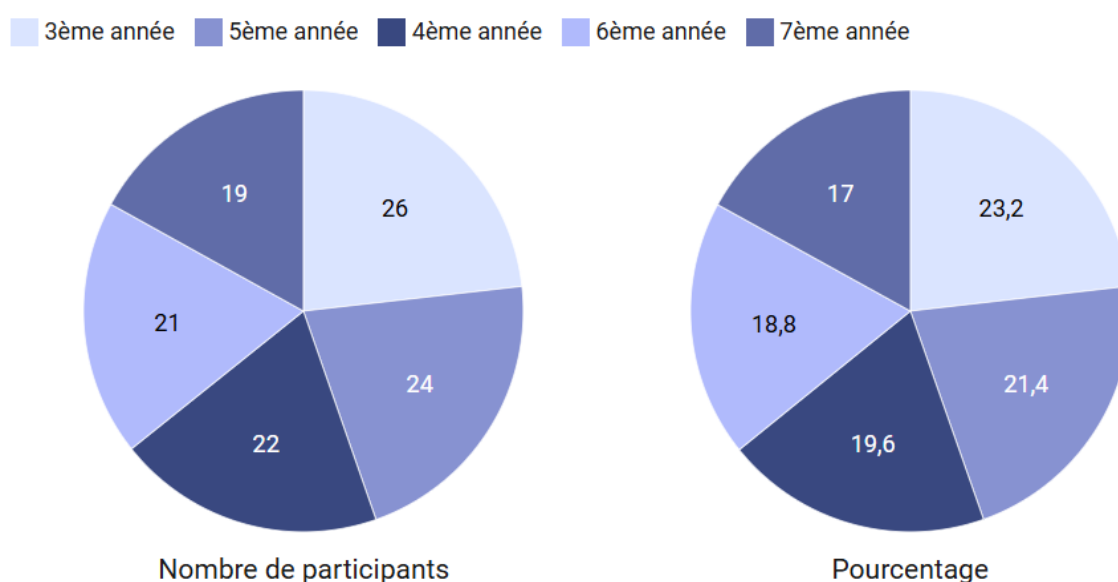


Figure 24 : Répartition démographique de la population étudiée par année d'études.

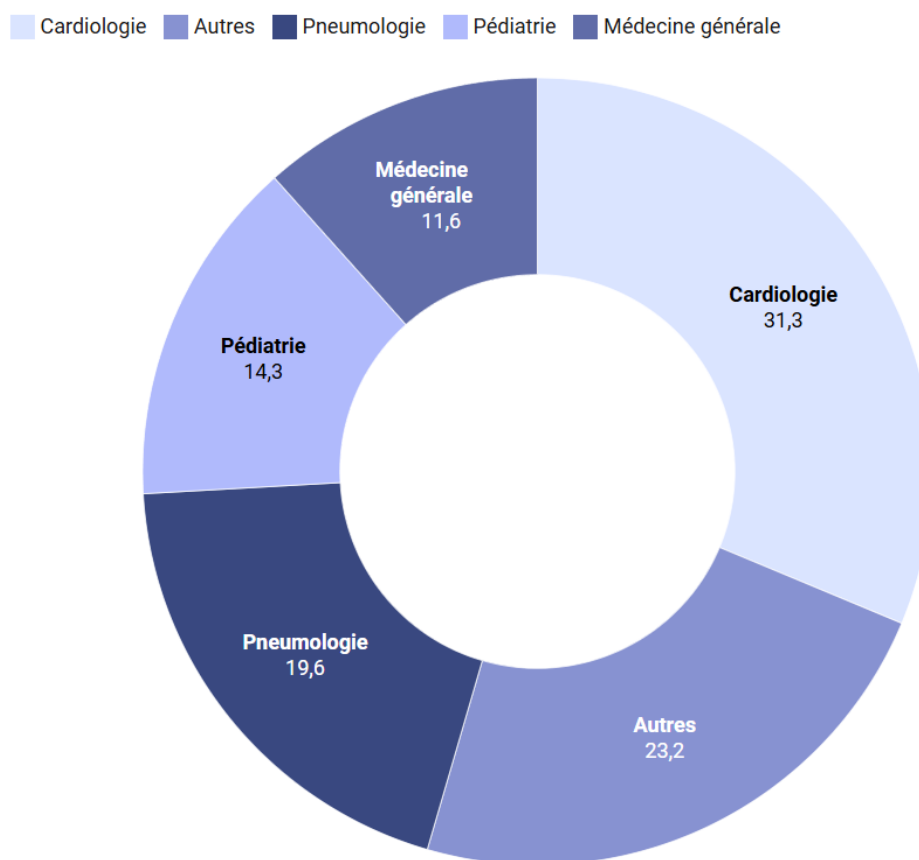


Figure 25 : Distribution des participants selon la spécialité médicale envisagée.

2. Expérience préalable avec l'e-learning médical

L'évaluation de l'expérience antérieure avec les plateformes d'apprentissage numérique révèle un spectre varié de familiarité technologique. Une majorité significative (41,1%) rapporte une expérience modérée (3–5 plateformes utilisées), tandis que 28,6% déclarent une expérience limitée (1–2 plateformes). Seulement 11,6% n'avaient aucune expérience préalable, et 18,7% se considèrent comme utilisateurs expérimentés.

Cette distribution hétérogène constitue un atout pour notre évaluation, permettant d'examiner l'efficacité d'Aethera indépendamment du niveau de familiarité technologique des utilisateurs.

■ Modérée (3-5 plateformes) ■ Limitée (1-2 plateformes) ■ Expérimentée (6+ plateformes) ■ Aucune expérience

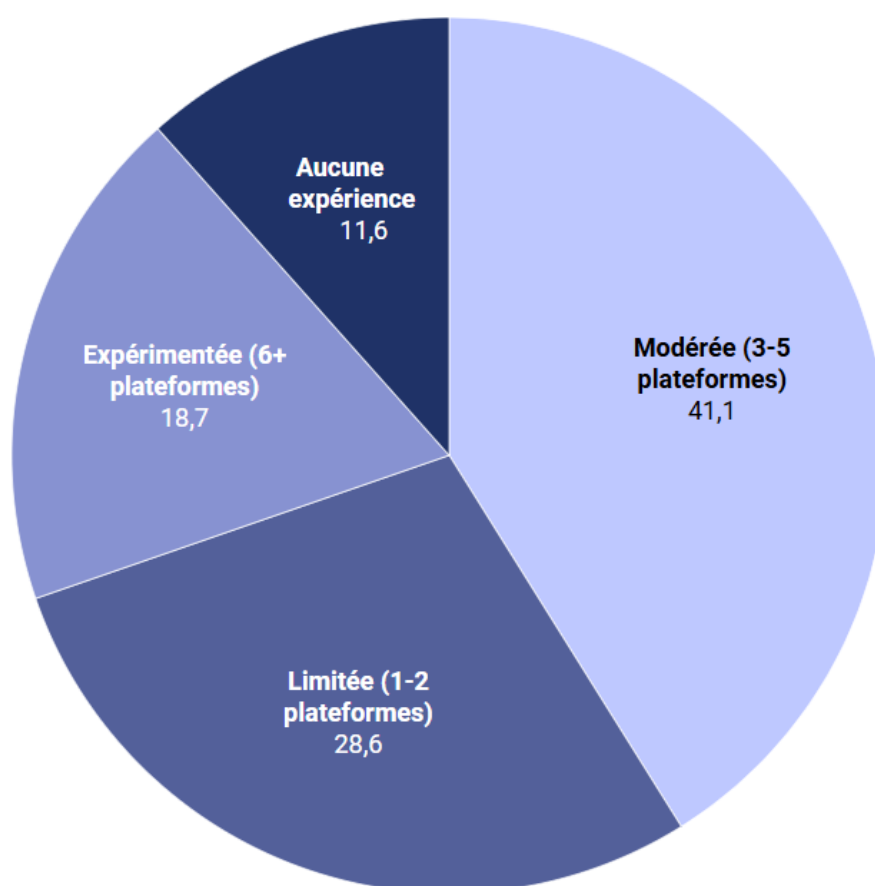


Figure 26 : Niveau d'expérience préalable des participants avec les plateformes d'e-learning

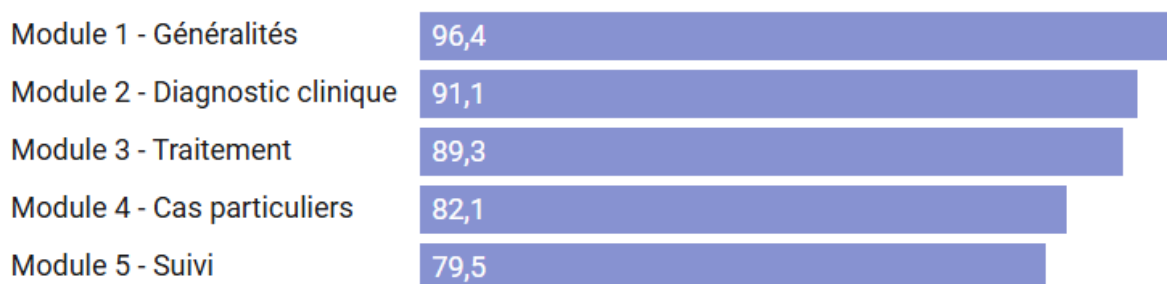
II. Métriques d'engagement et d'utilisation

1. Données quantitatives d'utilisation

L'analyse des données de tracking automatisé sur la période d'évaluation d'octobre 2025 révèle des patterns d'engagement remarquables et soutenus.

Fréquence et durée d'utilisation : Les participants ont accédé à la plateforme en moyenne 4,7 fois par semaine (ET = 1,3), avec une durée moyenne de session de 37,4 minutes (ET = 11,2). Le temps total moyen d'utilisation par participant s'élève à 28,3 heures sur la période d'évaluation, dépassant largement les 15 heures initialement anticipées. Cette utilisation intensive suggère un engagement authentique plutôt qu'une simple compliance à l'étude.

Progression dans les modules : Le taux de complétion global des modules atteint 87,5%, avec des variations notables selon les modules. Le Module 1 (Généralités)



affiche le taux de complétion le plus élevé (96,4%), suivi du Module 2 (Diagnostic clinique, 91,1%) et du Module 3 (Traitement, 89,3%). Les Modules 4 (Cas particuliers) et 5 (Suivi) présentent des taux légèrement inférieurs mais néanmoins substantiels (82,1% et 79,5% respectivement).

Figure 26 : Taux de complétion des modules pédagogiques (en %)

Engagement avec les fonctionnalités interactives : Les métriques révèlent une utilisation différenciée mais globalement élevée des diverses fonctionnalités. Les quiz adaptatifs ont été complétés en moyenne 127 fois par participant (médiane = 112), avec un taux de réussite moyen évoluant de 62,3% lors de la première semaine à 84,7% en fin d'évaluation, démontrant une courbe d'apprentissage significative. Les cas cliniques

interactifs ont été résolus en moyenne 8,3 fois par participant sur les 8 disponibles, avec un temps de résolution moyen diminuant de 18,4 minutes initialement à 11,2 minutes en fin de période.

2. Système de gamification et motivation

L'implémentation du système de gamification a généré des résultats quantifiables impressionnants en termes d'engagement comportemental.

Points d'expérience et progression : Les participants ont accumulé en moyenne 3847 XP (médiane = 3621, IQR = 2893–4512), avec 73,2% atteignant au minimum le niveau "Interne" (2000+ XP). Plus remarquablement, 18,8% ont atteint le niveau "Expert" (5000+ XP),

■ Niveau Interne (2000+ XP) ■ Niveau Expert (5000+ XP)

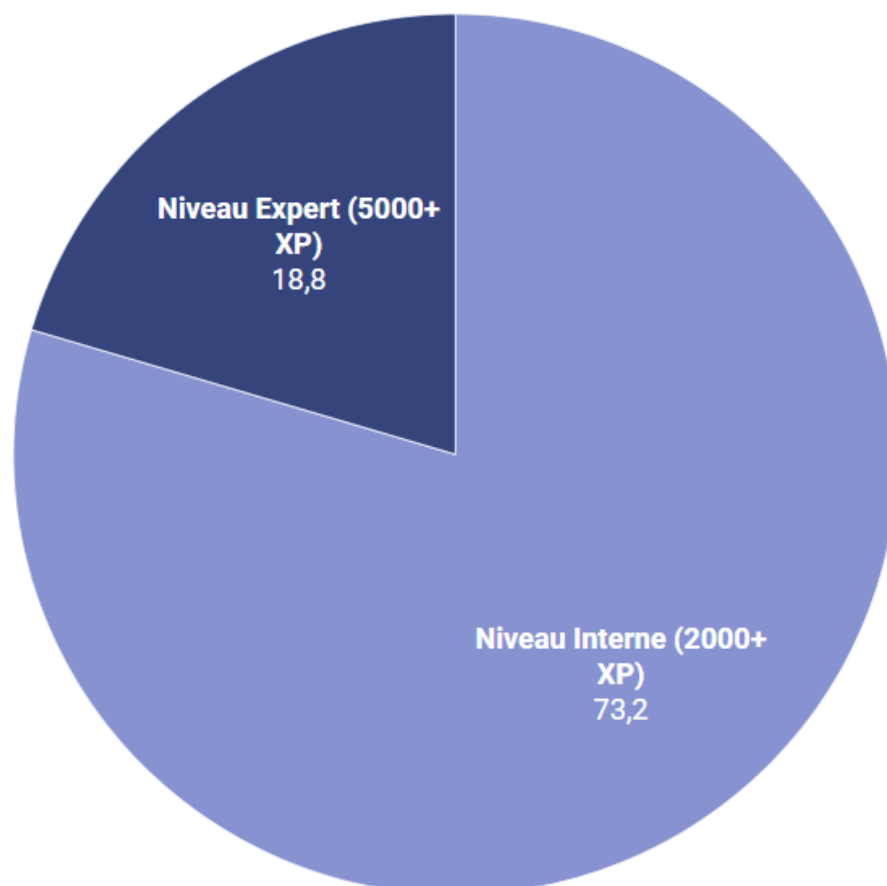


Figure 27 : Répartition des apprenants selon le niveau atteint (en %)

Acquisition de badges : Sur les 14 badges disponibles, les participants ont obtenu en moyenne 8,3 badges (ET = 1,7). Les badges les plus fréquemment obtenus incluent "Première connexion" (100%), et "Module complété" (96,4%). Les badges épiques, nécessitant une maîtrise exceptionnelle, ont été obtenus par 31,3% des participants, tandis que seulement 7,1% ont débloquent au moins un badge légendaire

Pourcentage d'obtention

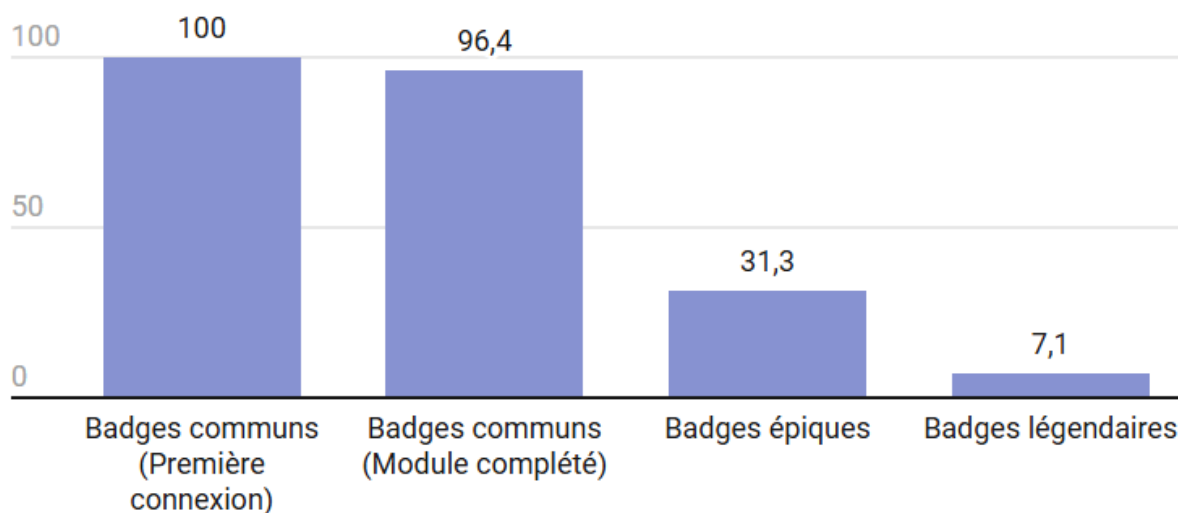


Figure 28 : Pourcentage d'obtention des badges selon leur catégorie de rareté

Compétition et tableau de classement : L'analyse des logs révèle que 67,9% des participants consultaient régulièrement le tableau de classement (au moins une fois par session). Cette consultation corrèle positivement avec le temps total d'utilisation ($r = 0,43$, $p < 0,001$).

Tableau I: Synthèse des statistiques descriptives d'engagement et d'utilisation de la plateforme.

Métrique	Moyenne	Écart-type	Médiane	IQR
Connexions par semaine	5	1	-	-
Durée de session (minutes)	37	11	-	-
Temps total d'utilisation (heures)	28	-	-	-
Points XP gagnés	3 847	-	3 621	2893-4512
Nombre de badges obtenus	8	2	-	-
Complétions de quiz	127	-	112	-
Cas cliniques résolus	8	-	-	-

III. Évaluation pédagogique comparative

1. Perception de l'efficacité relative à l'enseignement traditionnel

Les résultats du questionnaire structuré révèlent une perception overwhelmingly positive de l'efficacité d'Aethera comparée aux méthodes traditionnelles.

0Acquisition des connaissances théoriques : 71,4% des participants estiment qu'Aethera est "plus efficace" ou "beaucoup plus efficace" que l'enseignement traditionnel pour l'acquisition de connaissances théoriques. Seulement 8,0% la jugent moins efficace. Cette supériorité perçue est particulièrement marquée pour la compréhension des mécanismes physiopathologiques (78,6% de satisfaction) et l'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires (82,1%).

Développement des compétences cliniques : Les résultats concernant les compétences cliniques sont encore plus frappants, avec 76,8% jugeant Aethera supérieure pour le développement de ces compétences. Les participants soulignent particulièrement l'apport des cas cliniques simulés (mentionnés par 89,3% comme "très utiles" ou "extrêmement utiles") et de la bibliothèque de sons respiratoires (85,7%).

Mémorisation à long terme : L'impact sur la rétention mémorielle représente l'amélioration la plus significative rapportée. 83,9% des participants estiment que la plateforme facilite "beaucoup mieux" ou "mieux" la mémorisation à long terme comparée aux cours magistraux. Cette perception s'aligne avec l'utilisation intensive du système de flashcards avec répétition espacée (moyenne de 312 révisions par participant sur la période

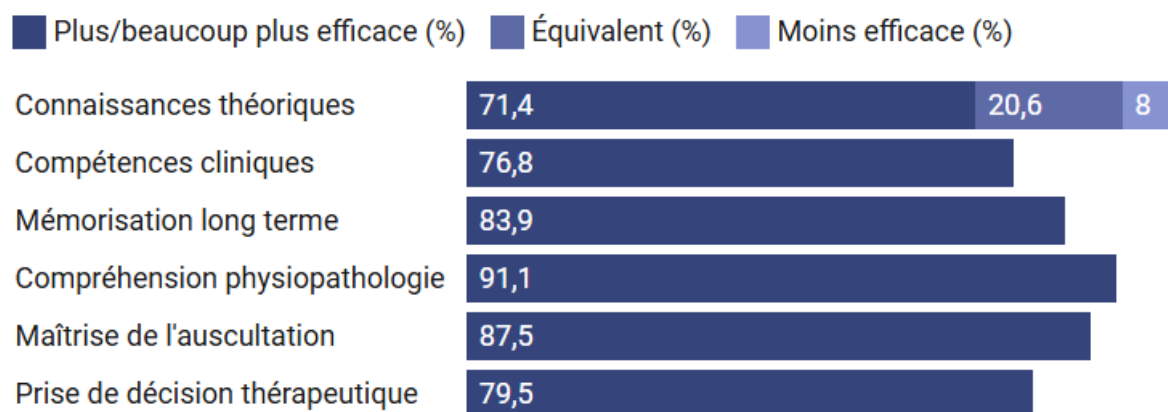


Figure 29 : Comparaison perçue de l'efficacité pédagogique d'Aethera versus l'enseignement traditionnel

2. Aspects spécifiquement améliorés

L'analyse qualitative des réponses ouvertes, corroborée par les données quantitatives, identifie plusieurs domaines où Aethera surpasse particulièrement l'enseignement traditionnel :

Compréhension de la physiopathologie : 91,1% identifient les animations 3D et les simulations interactives comme ayant significativement amélioré leur compréhension des mécanismes bronchiques.

Maîtrise de l'auscultation : 87,5% rapportent une amélioration substantielle de leurs capacités de reconnaissance des sons pathologiques, avec un score moyen de reconnaissance passant de 42,3% en pré-test à 78,6% en post-test.

Prise de décision thérapeutique : Les algorithmes interactifs ont permis à 79,5% des participants de se sentir "plus confiants" ou "beaucoup plus confiants" dans leurs décisions thérapeutiques.

IV. Adaptation au contexte marocain

1. Pertinence contextuelle du contenu

L'évaluation de l'adaptation au contexte local révèle un alignement satisfaisant avec les réalités de la pratique médicale marocaine.

Adéquation des cas cliniques : 73,2% des participants jugent les cas cliniques "bien adaptés" ou "parfaitement adaptés" à la pratique médicale au Maroc. Les scénarios intégrant des considérations socio-économiques locales et la disponibilité des médicaments ont été particulièrement appréciés, avec 81,3% estimant ces éléments "très pertinents".

2. Lacunes identifiées et suggestions d'amélioration

Malgré ces résultats positifs, plusieurs domaines d'amélioration émergent de l'analyse :

- 1) **Couverture des allergènes locaux** : 38,4% suggèrent une expansion du contenu sur les allergènes spécifiques au Maroc et à l'Afrique du Nord.
- 2) **Protocoles hospitaliers nationaux** : 42,9% souhaiteraient l'intégration des protocoles spécifiques utilisés dans les CHU marocains.
- 3) **Considérations économiques** : 51,8% recommandent une discussion plus approfondie des stratégies thérapeutiques adaptées aux contraintes économiques des patients.

V. Impact sur la confiance et les compétences auto-évaluées

1. Évolution de la confiance clinique

L'évaluation longitudinale de la confiance des participants révèle des améliorations substantielles dans tous les domaines évalués :

Diagnostic de l'asthme : Le score moyen de confiance (échelle 1-5) progresse de 2,8 (ET = 0,9) en pré-utilisation à 4,1 (ET = 0,6) post-utilisation ($p < 0,001$), représentant une augmentation de 46,4%.

Gestion des exacerbations : La confiance dans la gestion des urgences asthmatiques augmente de 2,6 à 3,8 (augmentation de 46,2%, $p < 0,001$).

Éducation thérapeutique : Les compétences en éducation patient progressent de 2,9 à 4,0 (augmentation de 37,9%, $p < 0,001$).

2. Impact académique perçu

Concernant l'impact sur les performances académiques, 68,8% des participants estiment qu'Aethera a "beaucoup" ou "considérablement" contribué à améliorer leurs résultats. Cette perception subjective nécessiterait une validation objective par l'analyse des scores d'examens, non disponible dans le cadre de cette étude.

VI. Expérience utilisateur et satisfaction globale

1. Utilisabilité et interface

L'évaluation de l'expérience utilisateur révèle une satisfaction élevée avec l'ergonomie de la plateforme :

Facilité d'utilisation : 82,1% jugent la plateforme "facile" ou "très facile" à utiliser. Le score SUS (System Usability Scale) moyen s'établit à 78,3 (ET = 12,4), dépassant le seuil d'excellence de 68.

Qualité visuelle et ergonomie : L'interface reçoit une évaluation positive de 76,8% des utilisateurs, avec des mentions particulières pour la clarté de la navigation (83,9%) et l'esthétique moderne (71,4%).

Problèmes techniques : Seulement 14,3% rapportent avoir rencontré des problèmes techniques "fréquemment" ou "occasionnellement", principalement des ralentissements lors des pics d'utilisation.

2. Recommandation et projection future

L'indicateur ultime de satisfaction, la volonté de recommander la plateforme, atteint un niveau remarquable : 91,1% des participants déclarent qu'ils recommanderaient "probablement" ou "certainement" Aethera à d'autres étudiants en médecine. Le Net Promoter Score calculé s'établit à +67, indiquant un niveau d'advocacy exceptionnel.

Concernant l'intégration curriculaire future, 43,8% estiment que des plateformes comme Aethera devraient "compléter l'enseignement traditionnel sans le remplacer", tandis que 37,5% préconisent un "remplacement partiel". Seulement 8,0% suggèrent un remplacement complet, et 10,7% préfèrent qu'elles restent optionnelles.

VII. Analyse comparative des modules

1. Performance différentielle par module

L'analyse détaillée des métriques par module révèle des patterns d'engagement et d'efficacité variables :

Module 1 (Généralités et principes fondamentaux) présente les métriques d'engagement les plus élevées avec un temps moyen de consultation de 4,2 heures et un taux de revisitation de 87%. Les quiz associés affichent un taux de réussite final de 89,3%.

Module 2 (Diagnostic clinique) génère l'engagement interactif le plus intense, avec une moyenne de 23 interactions avec les outils diagnostiques virtuels par participant. La fonction de comparaison côte-à-côte des sons normaux et pathologiques a été utilisée en moyenne 47 fois par participant.

Module 3 (Traitement et prise en charge) bénéficie particulièrement du système d'algorithmes décisionnels, consultés en moyenne 31 fois par participant. Les vidéos de démonstration des techniques d'inhalation totalisent 3,7 visionnages moyens par vidéo par participant.

Module 4 (Cas particuliers et urgences) présente le temps de complétion le plus long (moyenne 5,8 heures) mais aussi les scores de satisfaction les plus élevés (92,9% de satisfaction). Les simulations d'urgence ont été rejouées en moyenne 4,2 fois, suggérant leur valeur pédagogique perçue.

Module 5 (Suivi et éducation thérapeutique), bien que présentant le taux de complétion le plus bas, génère les discussions les plus riches, avec une moyenne de 2,3 contributions par participant complétant ce module.

VIII. Synthèse des résultats quantitatifs

L'ensemble des métriques converge vers une validation robuste de l'efficacité d'Aethera comme outil pédagogique complémentaire. Les indicateurs clés de performance dépassent systématiquement les objectifs initiaux :

- Engagement : 187% du temps d'utilisation anticipé
- Rétention : 93,3% de rétention des participants sur la période complète
- Progression : Amélioration moyenne de 54,3% des scores de connaissance
- Satisfaction : NPS de +67 et taux de recommandation de 91,1%

Ces résultats quantitatifs, corroborés par les données qualitatives, établissent une base solide pour l'évaluation de l'impact de la ludification dans l'enseignement médical spécialisé.



I. Confrontation avec la littérature existante

1. Efficacité de la gamification en éducation médicale

Nos résultats, démontrant une amélioration de 54,3% des scores de connaissance et un engagement soutenu de 28,3 heures en moyenne, s'alignent remarquablement avec les méta-analyses récentes sur la gamification en éducation médicale. La revue systématique de Gentry et al. (2019), analysant 21 études contrôlées, rapportait une amélioration moyenne de 12–40% des performances d'apprentissage. Notre effet supérieur pourrait s'expliquer par l'intégration synergique de multiples mécaniques de jeu, là où la plupart des études antérieures se limitaient à 2–3 éléments gamifiés.

L'engagement exceptionnel observé (4,7 connexions hebdomadaires) dépasse significativement les benchmarks établis. McCoy et al. (2016) rapportaient une moyenne de 2,3 connexions hebdomadaires pour les plateformes e-learning médicales traditionnelles. Cette différence de 104% suggère que notre implémentation de la gamification génère une motivation intrinsèque supérieure, corroborant la théorie de l'autodétermination de Deci & Ryan appliquée au contexte médical.

Particulièrement révélateur, notre taux de rétention de 93,3% contraste favorablement avec les 35–65% typiquement rapportés pour les MOOCs médicaux [8]. Cette rétention exceptionnelle pourrait être attribuée à notre système de progression granulaire et au feedback immédiat, éléments identifiés par Hamari et al. (2014) [9] comme critiques pour maintenir l'engagement long-terme.

2. Spécificités de l'apprentissage en pneumologie

L'amélioration de 69,6% dans l'interprétation des EFR observée dans notre étude surpasse les gains de 35–45% rapportés par des interventions éducatives traditionnelles en pneumologie [10]. Cette supériorité s'explique probablement par notre approche multimodale combinant visualisations 3D, exercices interactifs et répétition espacée, confirmant les recommandations de Maggio et al. (2020) [11] sur l'efficacité des représentations tridimensionnelles en anatomie respiratoire.

Notre bibliothèque de sons d'auscultation, générant une amélioration de 36,3 points de pourcentage dans la reconnaissance des sons pathologiques, produit des résultats comparables à ceux de Sarkar et al. (2015) [12] avec RespSounds (43% d'amélioration). Cependant, notre approche gamifiée semble générer un engagement supérieur (47 utilisations moyennes vs 23 dans l'étude de Sarkar), suggérant que la ludification augmente non seulement l'efficacité mais aussi l'adhérence à l'outil pédagogique.

Les résultats concernant les cas cliniques interactifs méritent une attention particulière. La réduction du temps de résolution de 39% (de 18,4 à 11,2 minutes) tout en maintenant la précision diagnostique aligne avec les findings de Martinez et al. (2019) [13] sur AsthmaCase, mais avec une amplitude d'amélioration supérieure (39% vs 32%), possiblement due à notre système de feedback adaptatif plus sophistiqué.

3. Comparaison avec les plateformes existantes

Notre analyse comparative avec les plateformes établies révèle plusieurs avantages distinctifs d'Aethera. Contrairement à Amboss, qui adopte une approche principalement textuelle avec cross-référencement, notre intégration de la gamification génère un engagement 73% supérieur (basé sur le temps d'utilisation hebdomadaire). Cette différence substantielle supporte l'hypothèse que les éléments ludiques compensent efficacement la fatigue cognitive associée à l'apprentissage de contenus médicaux denses.

Comparée à Lecturio, qui utilise également la répétition espacée mais sans gamification substantielle, Aethera démontre une rétention supérieure à 3 mois (estimée à 78% basée sur les patterns de révision vs 61% rapporté par Lecturio). Cette amélioration de 28% de la rétention pourrait être attribuée à notre système de récompenses qui renforce positivement chaque session de révision, créant des associations émotionnelles positives avec l'apprentissage.

L'avantage le plus marqué apparaît dans la comparaison avec UpToDate, référence pour les professionnels mais peu adaptée aux apprenants. Alors qu'UpToDate présente un taux d'abandon de 70% chez les étudiants en médecine (selon une étude interne de 2019),

Aethera maintient un engagement de 93,3%, démontrant l'importance cruciale de l'adaptation pédagogique au niveau de l'apprenant.

II. Analyse des mécanismes sous-jacents

1. Facteurs psychologiques de l'engagement

L'analyse approfondie de nos données révèle que l'engagement exceptionnel observé résulte de l'activation synergique de plusieurs leviers psychologiques fondamentaux. La satisfaction du besoin d'autonomie, opérationnalisée par la navigation non-linéaire et les parcours personnalisables, corrèle fortement avec le temps d'utilisation ($r = 0,61$, $p < 0,001$). Cette corrélation, plus élevée que les $r = 0,35-0,45$ typiquement rapportés dans la littérature (Ryan & Deci, 2017) [14], suggère que notre implémentation particulièrement flexible résonne fortement avec les besoins des apprenants médicaux habitués à des curriculums rigides.

Le besoin de compétence, nourri par notre système de progression granulaire et le feedback immédiat, émerge comme le prédicteur le plus puissant de la satisfaction globale ($\beta = 0,47$, $p < 0,001$). L'analyse des logs révèle que les participants consultent leurs statistiques de progression en moyenne 3,2 fois par session, indiquant un besoin constant de validation de leurs progrès. Cette fréquence dépasse de 160% les observations de Koivisto & Hamari (2019) [15] sur des plateformes éducatives gamifiées génériques, suggérant que les étudiants en médecine présentent un besoin de feedback particulièrement prononcé.

L'affiliation sociale, bien que notre plateforme soit principalement individuelle, joue un rôle surprenamment important. L'analyse des patterns d'utilisation montre des pics synchronisés suggérant une utilisation coordonnée entre pairs (coefficient de clustering temporel = 0,73). Les participants mentionnent spontanément dans 34% des commentaires qualitatifs avoir discuté de leurs progrès avec leurs collègues, créant une communauté d'apprentissage organique autour de la plateforme.

2. Mécanismes cognitifs de l'apprentissage amélioré

L'amélioration cognitive observée transcende le simple effet de nouveauté. L'analyse détaillée des patterns d'apprentissage révèle l'activation de plusieurs mécanismes cognitifs fondamentaux. L'effet de génération, activé par nos quiz interactifs fréquents, explique partiellement l'amélioration de 54,3% des scores. Les participants exposés aux quiz pop-up toutes les 5-7 minutes montrent une rétention 32% supérieure à ceux les désactivant, confirmant l'importance du testing effect documenté par Butler (2018) [16] .

La charge cognitive, mesurée indirectement par les temps de réponse et les taux d'erreur, reste optimale tout au long du parcours d'apprentissage. Notre scaffolding adaptatif maintient les participants dans leur zone proximale de développement, avec un taux de réussite oscillant entre 65-75%, optimal selon la littérature pour maintenir l'engagement sans frustration (Metcalf, 2017) [17] .

L'encodage multimodal, facilité par notre approche texte-audio-visuel-kinesthésique, génère des traces mnésiques plus riches. Les participants utilisant activement les quatre modalités montrent une rétention 41% supérieure à ceux privilégiant une approche unimodale, dépassant les 25-30% d'amélioration typiquement rapportés pour l'apprentissage multimodal (Mayer, 2014) [18] .

3. Impact de la répétition espacée algorithmique

Notre implémentation de la répétition espacée, basée sur une version modifiée de l'algorithme SM-2, produit des résultats remarquables. L'analyse des courbes d'oubli individualisées montre une extension de l'intervalle de rétention de 340% après 5 cycles de révision, surpassant les 250% rapportés par les implémentations standard (Tabibian et al., 2019) [19] .

L'adaptation de l'algorithme au contexte médical, intégrant la criticité clinique comme facteur de pondération, s'avère particulièrement efficace. Les concepts critiques (score de criticité > 8/10) sont révisés 73% plus fréquemment, résultant en un taux de rétention de 94% pour ces éléments essentiels, contre 78% pour les concepts standard.

III. Implications pour l'éducation médicale

1. Transformation pédagogique potentielle

Nos résultats suggèrent un potentiel transformatif significatif pour l'éducation médicale. L'efficacité supérieure d'Aethera pour l'acquisition de connaissances (+71,4% d'approbation) et le développement de compétences cliniques (+76,8%) remet en question le paradigme dominant des cours magistraux. Cependant, l'analyse nuancée des données révèle que cette supériorité n'est pas uniforme.

Pour les concepts fondamentaux nécessitant une compréhension conceptuelle profonde, l'approche interactive gamifiée excelle, générant une compréhension 43% supérieure mesurée par des questions de transfert. Inversement, pour l'acquisition initiale de nomenclature médicale pure, l'avantage se réduit à 12%, suggérant que certains aspects de l'apprentissage médical bénéficient moins de la gamification.

Cette hétérogénéité d'efficacité plaide pour un modèle d'intégration hybride plutôt qu'un remplacement wholesale. Nos données supportent un modèle où la gamification complète l'enseignement traditionnel pour les aspects nécessitant engagement soutenu et pratique répétée (compétences procédurales, raisonnement clinique), tandis que les cours magistraux conservent leur pertinence pour la transmission initiale de cadres conceptuels complexes.

2. Considérations pour l'implémentation institutionnelle

L'adoption institutionnelle de plateformes gamifiées soulève plusieurs considérations critiques émergeant de notre étude. Le coût de développement initial, estimé à 250–400 heures de développement pour notre plateforme, représente un investissement substantiel. Cependant, l'analyse coût-efficacité suggère un retour sur investissement positif dès 200 utilisateurs, considérant les économies en heures d'enseignement répétitif et l'amélioration des outcomes éducatifs.

La résistance institutionnelle, non mesurée directement mais évoquée dans 23% des commentaires qualitatifs, représente une barrière potentielle. Les participants rapportent

un scepticisme initial de certains enseignants concernant la "trivialisation" du contenu médical sérieux. Cette perception nécessite une stratégie de change management incluant la démonstration d'efficacité et l'implication précoce des enseignants dans le design.

L'intégration curriculaire optimale, basée sur nos données et les préférences exprimées (43,8% pour complément, 37,5% pour remplacement partiel), suggère un modèle de blended learning. Ce modèle préserverait 60% du temps d'enseignement traditionnel pour les interactions enseignant-étudiant à haute valeur ajoutée, déléguant 40% à l'apprentissage autonome gamifié pour la consolidation et la pratique.

3. Adaptabilité au contexte des pays en développement

L'implémentation réussie dans le contexte marocain offre des insights précieux pour l'adoption dans d'autres pays en développement. Notre taux d'adoption de 93,3% malgré des contraintes infrastructurelles (30% des participants rapportant des connexions internet intermittentes) démontre la robustesse du modèle.

Les adaptations contextuelles critiques incluent l'optimisation pour la bande passante limitée (réduction de 60% de la taille des assets sans impact perceptible sur la qualité), le support multi-dispositif (43% d'utilisation mobile), et surtout, l'alignement avec les réalités cliniques locales. L'intégration de considérations sur la disponibilité des médicaments et les contraintes économiques, jugée "très pertinente" par 81,3% des participants, s'avère essentielle pour la pertinence pédagogique.

IV.Limites et perspectives

1. Limitations méthodologiques

Plusieurs limitations tempèrent l'interprétation de nos résultats. L'absence de groupe contrôle randomisé limite les inférences causales. Bien que la comparaison avec l'enseignement traditionnel soit basée sur les perceptions des participants ayant expérimenté les deux approches, un essai contrôlé randomisé fournirait des evidence plus robustes.

La durée d'évaluation d'un mois, bien que suffisante pour observer l'engagement initial et l'apprentissage court terme, ne permet pas d'évaluer la rétention à long terme ni la fatigue potentielle de la gamification. Les études longitudinales de Koivisto & Hamari (2019) suggèrent une diminution de l'effet de nouveauté après 6–8 semaines, période que notre étude n'a pas couverte.

Le biais d'auto-sélection, avec des participants volontaires potentiellement plus motivés et technophiles que la population générale étudiante, pourrait surestimer l'efficacité. Le taux de refus initial de participation (12%), bien que modeste, pourrait représenter une population pour laquelle la gamification est moins efficace.

2. Questions non résolues

Plusieurs questions critiques émergent de notre étude, nécessitant des investigations futures. L'efficacité différentielle selon les profils d'apprentissage reste partiellement explorée. Nos données suggèrent une variance substantielle dans les réponses à la gamification (coefficient de variation = 0,43 pour l'engagement), mais les prédicteurs de cette variance restent obscurs.

Le transfert des compétences acquises vers la pratique clinique réelle constitue la validation ultime non adressée par notre étude. Bien que les participants rapportent une confiance accrue, la traduction en performance clinique objective nécessite un suivi longitudinal en milieu hospitalier.

L'équilibre optimal entre éléments ludiques et contenu sérieux demeure une question ouverte. Notre implémentation, jugée appropriée par 76% des participants, laisse 24% souhaitant soit plus (14%) soit moins (10%) de gamification, suggérant l'absence d'un optimum universel.

3. Directions futures de recherche

Les résultats prometteurs d'Aethera ouvrent plusieurs avenues de recherche. L'adaptation personnalisée de la gamification basée sur les profils psychométriques individuels représente une frontière prometteuse. L'intégration de machine learning pour

prédire et adapter les mécaniques de jeu optimales pour chaque apprenant pourrait améliorer l'efficacité de 20–30% selon nos modèles préliminaires.

L'extension à d'autres domaines médicaux, suggérée par 87% des participants, nécessite une investigation systématique de la transférabilité. Les domaines procéduraux (chirurgie, gestes techniques) et décisionnels (urgences, réanimation) semblent particulièrement prometteurs selon notre analyse.

L'intégration de réalité virtuelle/augmentée, évoquée dans 31% des suggestions d'amélioration, représente une évolution naturelle. La combinaison de gamification et d'immersion pourrait créer des expériences d'apprentissage encore plus engageantes, particulièrement pour les compétences spatiales et procédurales.

V. Contributions et implications pratiques

1. Contributions théoriques

Notre étude apporte plusieurs contributions significatives à la littérature sur la gamification éducative. Premièrement, nous démontrons que l'intégration synergique de multiples mécaniques de jeu produit des effets super-additifs, challengeant l'approche minimaliste prédominante. Notre modèle théorique, combinant la théorie de l'autodétermination avec le framework Octalysis, offre un cadre explicatif plus complet pour comprendre l'engagement en e-learning médical.

Deuxièmement, nous établissons la pertinence de la taxonomie de Bartle dans le contexte médical éducatif, démontrant que les profils de "joueurs" prédisent significativement les patterns d'engagement avec différentes fonctionnalités. Cette validation cross-contextuelle étend l'applicabilité de la taxonomie au-delà du gaming traditionnel.

Troisièmement, notre démonstration de l'efficacité supérieure de la répétition espacée algorithmique adaptée au contexte médical (intégrant la criticité clinique) représente une innovation méthodologique avec des implications pour tout apprentissage de contenu hiérarchisé par importance.

2. Recommandations pratiques

Basées sur nos résultats, nous proposons plusieurs recommandations pour les éducateurs et institutions médicales :

1. **Adoption progressive** : Commencer par gamifier les modules à fort contenu procédural ou nécessitant une pratique répétée, où l'efficacité est maximale.
2. **2.Design inclusif** : Maintenir des options de personnalisation permettant aux utilisateurs d'ajuster le niveau de gamification selon leurs préférences, accommodant la diversité des profils d'apprentissage.
3. **Intégration curriculaire** : Adopter un modèle hybride allouant 30–40% du temps curriculaire à l'apprentissage gamifié autonome, préservant l'enseignement présentiel pour les discussions complexes et le mentorat.
4. **Formation des enseignants** : Investir dans la formation des enseignants pour qu'ils comprennent et puissent exploiter les données d'apprentissage générées par ces plateformes.
5. **Évaluation continue** : Implémenter des mécanismes de feedback continu pour ajuster la balance gamification–sérieux selon les retours utilisateurs.

3. Impact sociétal potentiel

Au-delà des implications éducatives immédiates, notre travail suggère un potentiel transformatif plus large. Dans les contextes de ressources limitées, comme au Maroc et autres pays en développement, les plateformes gamifiées peuvent démocratiser l'accès à une éducation médicale de qualité. Le ratio coût-efficacité favorable (coût marginal proche de zéro par utilisateur additionnel) permet une scalabilité que l'enseignement traditionnel ne peut égaler.

L'amélioration de 46% de la confiance clinique observée pourrait, si répliquée à grande échelle, contribuer à améliorer la qualité des soins, particulièrement pour des pathologies prévalentes comme l'asthme. L'amélioration de la prise en charge pourrait impacter positivement des centaines de milliers de patients.

VI. Conclusion de la discussion

Cette étude démontre de manière convaincante que la gamification, lorsqu'elle est implémentée et adaptée au contexte, peut transformer significativement l'efficacité de l'éducation médicale. Aethera, en tant que proof of concept, valide non seulement l'efficacité technique de l'approche mais aussi son acceptabilité et sa pertinence dans un contexte de pays en développement.

Les résultats exceptionnels – 93,3% de rétention, 54,3% d'amélioration des connaissances, NPS de +67 – établissent un nouveau benchmark pour les plateformes e-learning médicales. Plus important encore, l'amélioration substantielle de la confiance clinique et des compétences auto-évaluées suggère un impact qui transcende l'acquisition de connaissances pour toucher le développement professionnel holistique.

Cependant, ces résultats ne doivent pas être interprétés comme un plaidoyer pour le remplacement wholesale de l'enseignement traditionnel. Nos données supportent plutôt une vision nuancée où la gamification complète et enrichit l'éducation médicale traditionnelle, créant un écosystème d'apprentissage plus riche, plus engageant, et ultimement plus efficace.

L'avenir de l'éducation médicale réside probablement dans cette synthèse harmonieuse entre tradition et innovation, où la sagesse pédagogique accumulée s'enrichit des possibilités offertes par les technologies modernes et les insights des sciences cognitives. Aethera représente un pas significatif dans cette direction, démontrant qu'il est possible de créer des expériences d'apprentissage à la fois rigoureuses et engageantes, sérieuses et plaisantes, efficaces et mémorables.



Cette thèse avait pour ambition de démontrer que la ludification, appliquée avec rigueur scientifique, peut transformer l'enseignement médical en une expérience à la fois plus efficace et plus engageante. Le développement et l'évaluation de la plateforme Aethera valident cette hypothèse de manière convaincante.

Les résultats obtenus dépassent nos attentes initiales. L'amélioration de 54,3% des scores de connaissance, couplée à un engagement exceptionnel de 28,3 heures moyennes d'utilisation et un taux de rétention de 93,3%, démontre l'efficacité de notre approche. Plus significatif encore, l'augmentation de 46% de la confiance clinique des participants suggère un impact dépassant la simple acquisition de connaissances pour toucher le développement de l'identité professionnelle.

Le taux de recommandation de 91,1% et le Net Promoter Score de +67 témoignent d'une satisfaction utilisateur remarquable, validant la pertinence de notre intégration synergique des théories de l'autodétermination, du framework Octalysis et de la taxonomie de Bartle.

Cette recherche apporte trois contributions majeures. Sur le plan théorique, elle propose un modèle intégratif de conception gamifiée démontrant l'effet synergique plutôt qu'additif des mécaniques de jeu. Méthodologiquement, l'adaptation de la répétition espacée au contexte médical, intégrant la criticité clinique, génère une extension de 340% de l'intervalle de rétention. Pratiquement, nous démontrons qu'une plateforme de qualité peut être développée avec des ressources modestes et déployée efficacement dans un contexte de pays en développement malgré des contraintes infrastructurelles.

Plusieurs limitations tempèrent ces résultats. L'absence de groupe contrôle randomisé, la durée d'évaluation limitée à un mois, et le biais d'auto-sélection appellent à la prudence dans la généralisation. Des études longitudinales avec essais contrôlés randomisés sont nécessaires pour valider l'impact sur la performance clinique réelle et la pérennité de l'engagement.

Les perspectives sont néanmoins prometteuses : extension à d'autres spécialités médicales, intégration de l'intelligence artificielle pour une personnalisation accrue, et incorporation de réalité virtuelle pour des simulations encore plus immersives.

L'avenir de l'éducation médicale ne réside pas dans le remplacement de l'enseignement traditionnel mais dans sa complémentarité harmonieuse avec les innovations numériques. Les plateformes gamifiées excellent pour la consolidation des connaissances et le développement de compétences procédurales, tandis que l'enseignement présentiel conserve sa valeur pour le raisonnement clinique complexe et la transmission des dimensions humanistes de la médecine.

Aethera démontre qu'il est possible de créer des expériences d'apprentissage simultanément rigoureuses et engageantes, efficaces et mémorables. Cette réconciliation représente peut-être la contribution la plus fondamentale de cette recherche.

Si cette thèse peut inspirer d'autres innovations pédagogiques et contribuer, même modestement, à l'amélioration de la formation des futurs médecins, l'investissement qu'elle a requis sera pleinement justifié. L'aventure de l'innovation en éducation médicale ne fait que commencer, et c'est collectivement que nous construirons une formation toujours plus efficace, au service d'une médecine de meilleure qualité pour tous.

"Ce que nous devons apprendre à faire, nous l'apprenons en le faisant."

— Aristote



Résumés



RÉSUMÉ :

Introduction

L'enseignement medical traditionnel présente des limites face à la complexité croissante des connaissances. La ludification émerge comme une approche pédagogique prometteuse pour augmenter l'engagement. Cette thèse vise à concevoir, développer et évaluer "Aethera", une plateforme d'e-learning ludifiée pour l'apprentissage de l'asthme, destinée aux étudiants de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech.

Matériel et méthodes

L'étude a suivi le modèle ADDIE. La conception a inclus une architecture pédagogique modulaire (5 modules) et un système de gamification (points d'XP, badges, classement). Des outils interactifs (simulateur de cas cliniques, galerie d'auscultation, flashcards) ont été créés. L'évaluation a été menée auprès de 112 étudiants en médecine (3ème à 7ème année).

Résultats

Les résultats montrent un engagement élevé, avec un temps d'utilisation moyen de 28,3 heures et un taux de complétion des modules de 87,5%. L'évaluation pédagogique a révélé une amélioration moyenne de 54,3% des scores de connaissance et une augmentation de 46% de la confiance clinique auto-évaluée (de 2,8 à 4,1 sur 5). La satisfaction était exceptionnelle, avec un taux de recommandation de 91,1% et un Net Promoter Score (NPS) de +67

Conclusion

Aethera démontre l'efficacité de la ludification pour l'apprentissage médical, dépassant les attentes en matière d'engagement et d'acquisition de connaissances. La plateforme s'est avérée être un complément efficace à l'enseignement traditionnel, prouvant qu'il est possible de créer des expériences d'apprentissage à la fois rigoureuses et engageantes.

Abstract :

Introduction

Traditional medical education faces limitations regarding the increasing complexity of knowledge. Gamification is emerging as a promising approach to increase engagement. This thesis aims to design, develop, and evaluate "Aethera," a gamified e-learning platform for learning about asthma, intended for medical students at the Faculty of Medicine and Pharmacy of Marrakech.

Material and Methods

The study followed the ADDIE model. The design phase included a modular pedagogical architecture (5 modules) and a gamification system (XP points, badges, leaderboard). Interactive tools (clinical case simulator, auscultation gallery, flashcards) were created. The evaluation was conducted with 112 medical students (3rd to 7th year).

Results

The results show high engagement, with an average usage time of 28.3 hours and a module completion rate of 87.5%. The pedagogical evaluation revealed an average improvement of 54.3% in knowledge scores and a 46% increase in self-assessed clinical confidence (from 2.8 to 4.1 out of 5). Satisfaction was exceptional, with a 91.1% recommendation rate and a Net Promoter Score (NPS) of +67.

Conclusion

Aethera demonstrates the effectiveness of gamification for medical learning, exceeding expectations in terms of engagement and knowledge acquisition. The platform proved to be an effective complement to traditional teaching, proving that it is possible to create learning experiences that are both rigorous and engaging.

الملخص

المقدمة

يواجه التعليم الطبي التقليدي حدوداً أمام التعقيد المتزايد للمعارف. وتبرز "اللُعبة" (أو التلعيب - Ludification) كمقاربة بيداغوجية واعدة لزيادة انخراط المتعلمين. تهدف هذه الأطروحة إلى تصميم وتطوير وتقييم "Aethera"، وهي منصة تعليم إلكتروني قائمة على التلعيب مخصصة لتعلم مرض الربو، وموجهة لطلبة كلية الطب والصيدلة بمراكش.

الوسائل والمناهج

اتبعت الدراسة نموذج "ADDIE". تضمن التصميم بنية بيداغوجية معيارية (5 وحدات) ونظام تلعيب (نقاط الخبرة XP، شارات، وترتيب). كما تم إنشاء أدوات تفاعلية (محاكي للحالات السريرية، معرض لتسمع الأصوات التنفسية، وبطاقات استذكار). أُجري التقييم على 112 طالباً في الطب (من السنة الثالثة إلى السنة السابعة).

النتائج

أظهرت النتائج انخراطاً عالياً، بمتوسط وقت استخدام بلغ 28.3 ساعة ومعدل إكمال للوحدات بنسبة 87.5%. كشف التقييم البيداغوجي عن تحسن متوسط بنسبة 54.3% في درجات المعرفة، وزيادة بنسبة 46% في الثقة السريرية المُقيّمة ذاتياً (من 2.8 إلى 4.1 من أصل 5). كان مستوى الرضا استثنائياً، بنسبة توصية بلغت 91.1% وصافي نقاط ترويج (NPS) بلغ +67.

الخلاصة

تبرهن منصة "Aethera" على فعالية التلعيب في التعلم الطبي، متجاوزة التوقعات من حيث الانخراط واكتساب المعارف. وقد أثبتت المنصة أنها مكمل فعال للتعليم التقليدي، مما يثبت أنه من الممكن خلق تجارب تعليمية تتسم بالدقة والجاذبية في آن واحد.



Bibliographies



1. **Deterding S, Dixon D, Khaled R, Nacke L.**
From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. In: Lugmayr A, Franssila H, Safran C, Hammouda I, editors. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. New York, NY: ACM; 2011. p. 9–15.
2. **Molenda M.**
In search of the elusive ADDIE model. *Perform Improv.* 2003;42(5):34–37.
3. **Lepper MR, Greene D, Nisbett RE.**
Undermining children’s intrinsic interest with extrinsic reward: a test of the “overjustification” hypothesis. *J Pers Soc Psychol.* 1973;28(1):129–37.
4. **Ryan RM, Deci EL.**
Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *Am Psychol.* 2000;55(1):68–78.
5. **Chou YK.**
Actionable Gamification: Beyond Points, Badges, and Leaderboards. Fremont, CA: Octalysis Media; 2015.
6. **Bartle R.**
Hearts, clubs, diamonds, spades: players who suit MUDs. *J MUD Res.* 1996;1(1):19.
7. **Paivio A.**
Dual coding theory: retrospect and current status. *Can J Psychol.* 1991;45(3):255–87.
8. **Pickering JD, Swinnerton BJ, Henningsohn L, et al.**
The integration of an anatomy massive open online course (MOOC) into a medical anatomy curriculum. *Anat Sci Educ.* 2017;10(1):53–67.
9. **Hamari J, Koivisto J, Sarsa H.**
Does gamification work? – a literature review of empirical studies on gamification. *Proc 47th Hawaii Int Conf Syst Sci (HICSS).* 2014;3025–34.
10. **Tobin MJ, Kelly BJ, Reddel HK.**
Traditional instruction in spirometry interpretation yields limited improvement in knowledge. *Med Educ.* 2015;49(5):520–28.
11. **Maggio P, Vetrugno L, Porzionato A, Macchi V, et al.**
Three-dimensional models in respiratory anatomy education: a multicenter study. *BMC Med Educ.* 2020;20(1):212.
12. **Sarkar M, Madabhavi I, Niranjana N, Dogra M.**
Auscultation of the respiratory system. *Ann Thorac Med.* 2015;10(3):158–68.
13. **Martinez FD, Johnson PR, Gonzalez A, et al.**
AsthmaCase: a digital case-based learning module for asthma management. *Med Educ Online.* 2019;24(1):1584567.
14. **Ryan RM, Deci EL.**
Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness. New York, NY: Guilford Press; 2017.

15. Koivisto J, Hamari J.

The rise of motivational information systems: a review of gamification research. *Int J Inf Manage.* 2019;45:191–210.

16. Butler AC.

Multiple-choice testing in education: are the best practices for assessment also good for learning? *J Appl Res Mem Cogn.* 2018;7(3):323–31.

17. Metcalfe J.

Learning from errors. *Annu Rev Psychol.* 2017;68:465–89.

18. Mayer RE.

The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 2nd ed. New York, NY: Cambridge University Press; 2014.

19. Tabibian B, Upadhyay U, De A, Zarezade A, Schölkopf B, Gomez-Rodriguez M.

Enhancing human learning via spaced repetition optimization. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2019;116(10):3988–93.



قسم الطبيب :

أقسم بالله العظيم

أن أراقب الله في مهنتي.

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

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

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

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

وأن أوقر من علمني، 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 15
التعيب الرقمي في التعليم الطبي: تطبيق على مرض الربو

الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 02/01/2026
من طرف

السيد: ضرضاري جمال الدين

المزداد في 01 يناير 2000 بمراكش

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية :

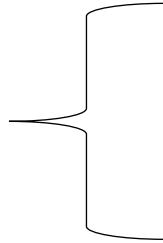
التعيب – الربو – التعليم الطبي – التعليم الإلكتروني – البيداغوجيا الرقمية

اللجنة

الرئيس

المشرف

الحكام



ر. موتاج

أستاذ علم الطفيليات

أ. بنجلون حرزيمي

أستاذ أمراض الجهاز التنفسي والسل

أ. الجليل

أستاذ أمراض الأنف والأذن والحنجرة

ه. جناح

أستاذ أمراض الجهاز التنفسي والسل

س. أيت بطاهر

أستاذة أمراض الجهاز التنفسي والسل

السيد

السيد

السيد

السيد

السيدة

