

Création d'outils pour l'analyse de la performance sportive

Laurène Guidet

M2 CSMI - Université de Strasbourg

26 août 2022

Table of Contents

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Contexte général

- Difficile d'améliorer les performances sportives
- Données de plus en plus précises et massives
- Data science : nouveau regard sur les données
- Outils pour mieux analyser la performance

Présentation de l'entreprise

- Start-up créé en 2020 par Jonas Forot, Mélissa Muzeau et Damien Padilla
- Premier laboratoire itinérant français dédié à la performance sportive



Figure: Logo Sporttesting

Mes objectifs

Premier projet

Calcul d'indicateurs à partir de données bruts en vue d'automatiser l'analyse des tests grâce à la plateforme Sportgen et création de bande son pour simplifier l'organisation des tests de VO2max

Deuxième projet

Algorithme de prédiction de la performance en course à pied

Troisième projet

Collaboration avec le CNSNMM (Centre National de Ski Nordique et de Moyenne Montagne) pour analyser les données de leurs tests VO2max : calcul d'indicateurs de performance pour définir des normes

Organisation

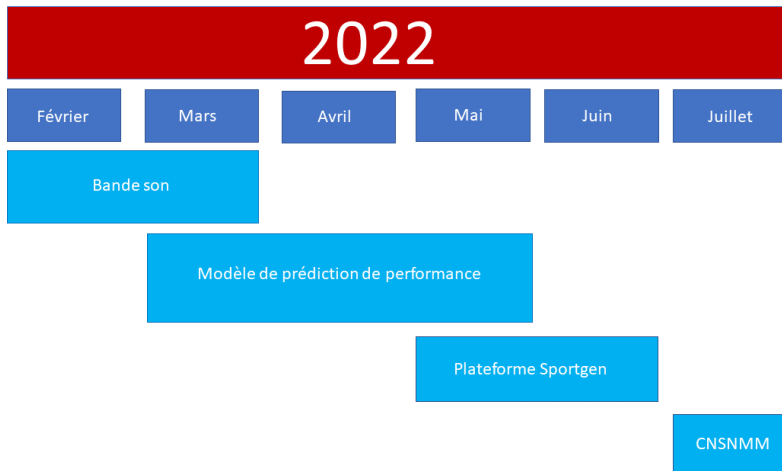


Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Test VO2max

- Valeurs au repos
- Test incrémental : palier de 0.5 km/h toutes les minutes
- Jusqu'au maximum de ce que l'on est capable de tenir (le test se termine quand l'athlète ne peut plus maintenir la vitesse demandée)



Présentation du problème

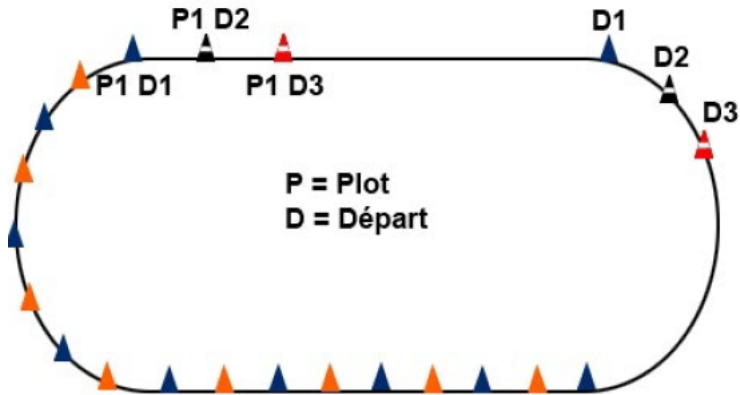
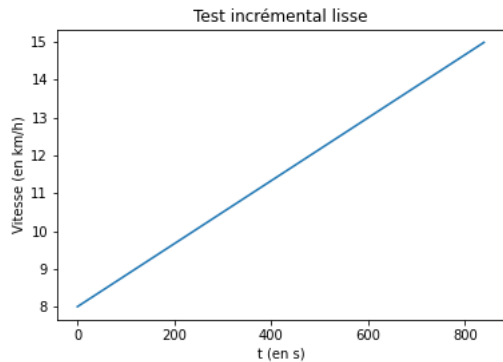
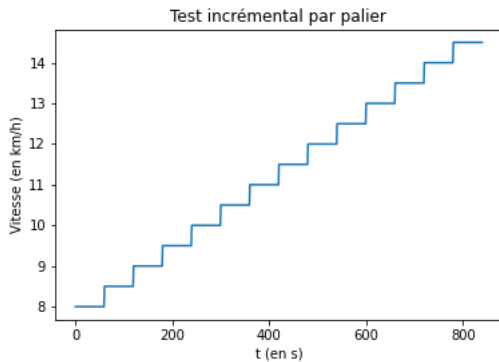


Figure: Schéma du test VO2max

Présentation du problème



Méthode de création de la bande son

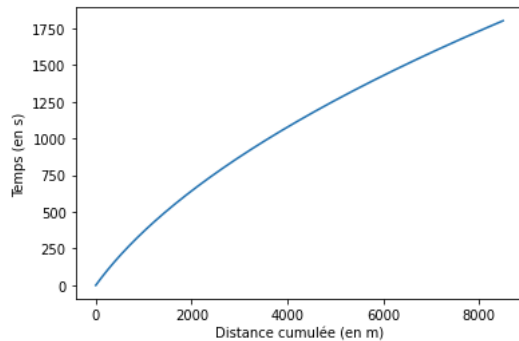


Figure: Distantie totale parcourue en fonction du temps

Méthode de création de la bande son

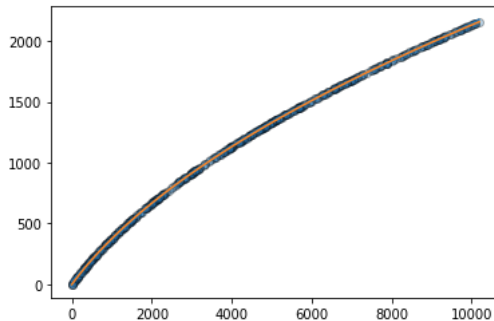
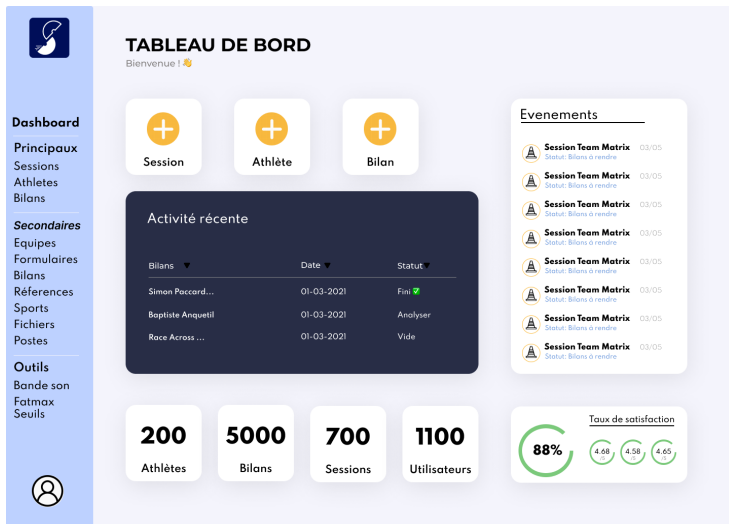


Figure: Modèle polynomial de degré 3 sur les données

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test**
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Présentation de la plateforme

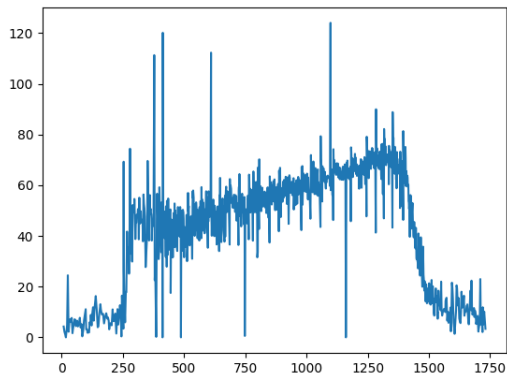


Données test VO2max

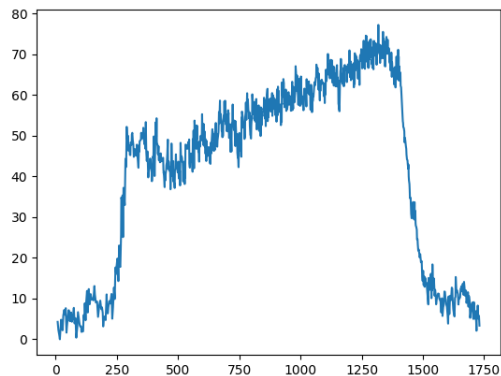
t	Phase	Marqueur	V'O2	V'O2/kg	V'O2/FC	FC	TT	V'E/V'O2	V'E/V'CO2	RER	V'E	VT	BF
h:mm:ss.ms			L/min	ml/min/kg	ml	/min	W				L/min	L	/min
0:00:14,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:15,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:16,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:17,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:18,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:19,000	Repos		0,49	7	8	61	0	21,4	25,1	0,85	11,7	1,15	10
0:00:20,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:21,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:22,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:23,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:24,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:25,000	Repos		0,48	7	8	61	0	22,3	26,0	0,86	11,9	1,20	10
0:00:26,000	Repos		0,37	5	6	60	0	21,3	24,7	0,86	9,2	0,88	10
0:00:27,000	Repos		0,37	5	6	60	0	21,3	24,7	0,86	9,2	0,88	10
0:00:28,000	Repos		0,37	5	6	60	0	21,3	24,7	0,86	9,2	0,88	10
0:00:29,000	Repos		0,37	5	6	60	0	21,3	24,7	0,86	9,2	0,88	10
0:00:30,000	Repos		0,37	5	6	60	0	21,3	24,7	0,86	9,2	0,88	10
0:00:31,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:32,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:33,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:34,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:35,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:36,000	Repos		0,45	6	8	59	0	20,9	24,4	0,86	10,8	0,97	11
0:00:37,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:38,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:39,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:40,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:41,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:42,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:43,000	Repos		0,38	5	6	58	0	20,8	24,4	0,85	9,1	0,91	10
0:00:44,000	Repos		0,38	5	7	58	0	20,9	24,4	0,85	9,1	1,01	9
0:00:45,000	Repos		0,38	5	7	58	0	20,9	24,4	0,85	9,1	1,01	9
0:00:46,000	Repos		0,38	5	7	58	0	20,9	24,4	0,85	9,1	1,01	9

Algorithme de nettoyage

Données de VO2max avant nettoyage

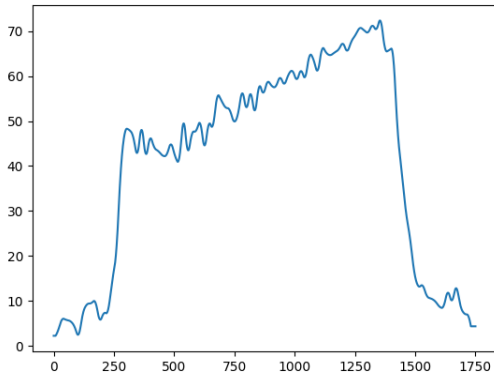


Données de VO2max après nettoyage



Algorithme de nettoyage

Données de VO2max avec la
régression par spline



- Indice de fiabilité : nombre d'outliers et de valeurs potentiellement fausses
- Savoir si les résultats surprenants peuvent être dus aux conditions de test (problèmes de capteurs, conditions extérieurs ...)

Test de composition corporelle par impédancemétrie et test de Wingate

Impédancemétrie



Test Wingate

Qualités d'explosivité : sprint maximal de 30 s
Prises de lactate régulières



Données d'impédancemétrie et autres données

Masse Non Grasse (kg)	66,35
Masse Non Grasse (%Poids)	90,27
Masse Grasse (kg)	7,15
Masse Grasse (%Poids)	9,73
Masse Maigre (kg)	50,73
Masse Maigre (%Poids)	69,02
Contenu Minéral Osseux (kg)	2,15
Contenu Minéral Osseux (%MNG)	3,24
Masse Musculaire (kg)	36,79
Index de Masse Musculaire (kg/m ²)	11,11
Masse Musculaire (%Poids)	50,06
Index de Masse Grasse (kg/m ²)	2,16
Index de Masse Non Grasse (kg/m ²)	20,03
Index de Masse Maigre (kg/m ²)	15,31
Volume d'eau totale (L)	45,42
Volume d'eau extracellulaire (L)	18,28
Volume d'eau extracellulaire (% Vt)	40,24
Volume d'eau intracellulaire (L)	27,26
Volume d'eau intracellulaire (% Vt)	60,02

Lactate	
Informations	Valeurs
Lactate repos	3,3
Lactate wingate + 1min	7,6
Lactate wingate + 3min	8,1
Lactate wingate + 7min	9
Lactate wingate + 15min	
Lactate wingate + 20min	5,6
Wingate	
Informations	Valeurs
Puissance moyenne	
Puissance/Distance max	238,5
Puissance min	
Niveau	
Informations	Valeurs
Niveau	International
Protocole	12
Macro	
Informations	Valeurs
Début	
Seuil 1	00:15:50
Seuil 2	00:19:49
Pic	00:22:50
Fin	

Formules de calcul des différents indicateurs

- S'adapter aux contraintes de manière automatique (type sport, lieu du test, protocole du test ...)
- Formules issues d'articles de physiologie (article [3])
- Placer différentes phases test : repos, exercice, rétablissement
- Calculer la vitesse pour la course à pied
- Indicateurs classés par catégorie qui sont les mêmes que dans le bilan

Indicateurs de performance

Indicateurs de performance		
Informations	Unités	Calcul
VO2max/poids corps	ml/kg/min	Lissage de la VO2 sur 10 s et on prend la valeur maximale
PMA/VMA	W/kg ou km/h	Puissance/vitesse à VO2max
SV2	W/kg ou km/h	Puissance/vitesse associée au SV2 indiqué dans le fichier DataQ
SV1	W/kg ou km/h	Puissance/vitesse associée au SV1 indiqué dans le fichier DataQ
FCmax	bpm	Valeur maximale de la fréquence cardiaque

Récupération

Récupération		
Informations	Unités	Calcul
HRR1	bpm	FCmax moins FC 1 min après fin exercice
Capacité de clairance du lactate	%	$\frac{Lactate_{max} - Lactate_{20min}}{Lactate_{max}} * 100$
Clairance du lactate	mmol/L/min	$\frac{Lactate_{max} - Lactate_{20min}}{t_{Lactate_{max}} - t_{Lactate_{20min}}}$

Calcul des consommations de glucides et de lipides

Utilité : stratégie de nutrition...

RER = 1 : on ne consomme que des glucides

RER = 0.7 : on ne consomme que des lipides

Pour calculer le pourcentage de la consommation de glucides, on utilise la formule suivante :

$$\begin{cases} 1 & \text{si } (3.4349 * rer) - 2.4229 > 1 \\ (3.4349 * rer) - 2.4229 & \text{sinon} \end{cases}$$

Formule pour la dépense calorique en kcal/min pour un individu :

$$(4.9781 * VO_2) - 0.1422$$

1 g de glucides = 4kcal

La formule pour la consommation de glucides en g/min est :

$$\text{kcal_minutes} * \text{pourcentage_glucides} / 4$$

Extrait du JSON

```
1 "Indicateurs Performance": {  
2   "Masse grasse": 9.19,  
3   "Masse musculaire": 49.72,  
4   "VO2max/poids corps": 74.17107394150582,  
5   "PMA/VMA": 19.5,  
6   "SV2": 17.1,  
7   "SV1": 15.0,  
8   "FCmax": 181  
9 },
```

Bilan final

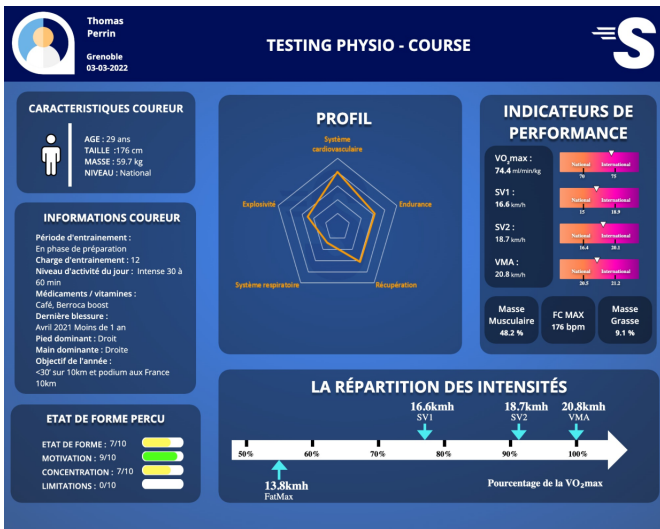


Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance**
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Premier modèle : modèle de Keller

Objectif

Déterminer le meilleur temps qu'un athlète pourrait faire sur une distance donnée (article [1])

Principes du modèle

Basé sur des paramètres physiologiques

Modèle basé sur la seconde loi de Newton, le principe de conservation de l'énergie

Energie aérobie et anaérobie

Le modèle en détails

On a un système d'équations couplées qui contient l'équation du mouvement et l'équation qui régit e_{an} (l'énergie anaérobie) :

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = f \\ \frac{de_{an}}{dt} = \bar{\sigma} - fv \end{cases}$$

où t désigne le temps, $v(t)$ la vitesse instantanée, $f(t)$ la force de propulsion, τ le coefficient de frottement de l'air, e_{an} le stock d'énergie anaérobie et $\bar{\sigma}$ la $VO2_{max}$.
On cherche à minimiser le temps T pour parcourir une certaine distance $D = \int_0^T v(t)dt$ avec pour contraintes :

$0 \leq f(t) \leq f_{max}$, $v(t) \geq 0$ et $e_{an}(t) \geq 0$
et comme conditions initiales : $v(0) = 0$ $e_{an}(0) = e_{an}^0$

Résultats

On prend pour exemple : $\bar{\sigma} = 41.56$, $f_{max} = 9$, $e_{an}^0 = 2409$ et $T = 106.01$
ce qui donne environ $d = 800$

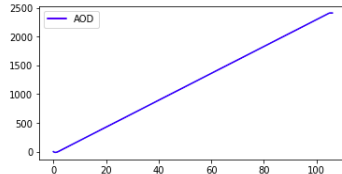
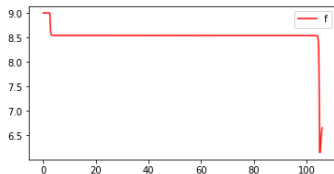
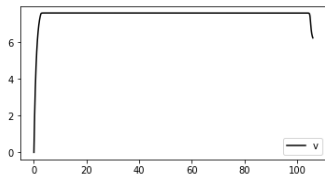


Figure: Modèle de Keller

Amélioration du modèle de Keller

- Pas de prise en compte de la fatigue et du temps pour atteindre VO_{2max} au début d'une course
- Pourcentage de VO_{2max} pour de longues distances

Détermination des paramètres physiologiques utiles au modèle

- 4 paramètres physiologiques : sa $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\bar{\sigma}$), sa force de propulsion maximale (f_{max}), le coefficient de frottement de l'air (τ) et le stock d'énergie anaérobie initial (e_{an}^0)
- On détermine ses paramètres en adaptant la méthode de l'article [2]
- Profil de vitesse : $v(t) = f_{\text{max}}\tau(1 - \exp(\frac{-t}{\tau}))$
- $e_{\text{an}}^0 = \frac{1}{1-\gamma_1}[\bar{\sigma}(t_2 - t_1) + \gamma_2 - \frac{1}{2}(v^2(t_2) - v^2(t_1)) - \int_{t_2}^{t_1} \frac{v^2(s)}{\tau} ds]$

Tests du modèle de Keller sur différents athlètes

- Athlète 1, temps au marathon : 3 h 34, prédiction : 3 h 39 min 50 s, erreur relative : 0.03
- Athlète 2, temps au 10 km : 29 min 22 s, prédiction : 39 min 35 s, erreur relative : 0.34
- Athlète 3, temps au 10 km : 29 min 44 s, prédiction : 37 min 34 s, erreur relative : 0.36
- Athlète 4, temps au marathon : 4 h, prédiction : 3 h 35 min et 34 s, erreur relative : 0.1
- Stratégie, état de forme, psychologie pas pris en compte

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM**
- 6 Conclusion

Présentation et objectif

Présentation CNSNMM

Recherche sur l'optimisation et le suivi de la performance Centre d'entrainement de haut niveau en ski de fond

Objectif

Calcul d'indicateurs de performance (VO_{2max} , consommation de lipides en fonction de l'intensité de l'effort...) Définition de normes pour situer les athlètes

Données à notre disposition

600 tests VO_{2max} durant les 20 dernières années

Description des données du CNSNMM

t	FR	VE (BTPS)	VO2 (STPD)	VCO2	VO2/kg	PetO2	PetCO2	QR	VE/VO2	VE/VCO2	FC	BR	VT (BTPS)
hh:mm:ss	l/min	l/min	l/min	l/min	ml/min/kg	mmHg	mmHg				1/min		l
00:00:10	0.0	0.0	0.000	0.000	0	-	-	0.00	0.0	0.0	0	125	0.00
00:00:20	6.9	2.4	0.078	0.052	1	-	-	0.67	22.1	33.1	31	123	0.34
00:00:30	15.6	9.9	0.424	0.278	6	-	-	0.66	20.0	30.5	59	115	0.64
00:00:40	22.6	22.6	1.102	0.721	15	-	-	0.65	18.6	28.4	83	102	1.00
00:00:50	23.9	24.3	1.145	0.786	15	-	-	0.69	19.3	28.1	75	101	1.02
00:01:00	24.9	23.6	0.975	0.722	13	-	-	0.74	21.8	29.5	68	101	0.95
00:01:10	27.1	22.6	0.844	0.657	11	-	-	0.78	23.8	30.6	64	102	0.84
00:01:20	28.9	22.5	0.767	0.628	10	-	-	0.82	25.8	31.5	61	102	0.78
00:01:30	28.3	20.9	0.660	0.549	9	-	-	0.83	27.6	33.1	60	104	0.74
00:01:40	31.1	23.7	0.809	0.657	11	-	-	0.81	25.6	31.5	60	101	0.76
00:01:50	30.3	20.9	0.718	0.593	10	-	-	0.83	25.1	30.4	59	104	0.69
00:02:00	30.2	26.4	0.938	0.788	13	-	-	0.84	25.1	29.9	60	99	0.87
00:02:10	25.1	21.6	0.722	0.627	10	-	-	0.87	26.7	30.7	60	103	0.86
00:02:20	26.2	23.0	0.739	0.654	10	-	-	0.89	27.8	31.5	61	102	0.88
00:02:30	23.5	20.0	0.644	0.571	9	-	-	0.89	27.6	31.2	62	105	0.85
00:02:40	29.0	23.7	0.745	0.660	10	-	-	0.89	28.2	31.8	63	101	0.82
00:02:50	25.9	24.0	0.716	0.610	10	-	-	0.85	30.1	35.3	63	101	0.93
00:03:00	32.3	25.3	0.864	0.717	12	-	-	0.83	25.8	31.1	63	100	0.78
00:03:10	29.4	24.0	0.799	0.662	11	-	-	0.83	26.6	32.1	63	101	0.82
00:03:20	28.3	21.1	0.761	0.601	10	-	-	0.79	24.2	30.7	64	104	0.75
00:03:30	27.8	22.8	0.878	0.697	12	-	-	0.79	23.0	29.0	67	102	0.82
00:03:40	28.2	25.4	0.885	0.755	12	-	-	0.85	25.7	30.2	71	100	0.90
00:03:50	30.3	26.2	0.864	0.767	12	-	-	0.89	27.0	30.4	76	99	0.86
00:04:00	27.2	24.3	0.806	0.690	11	-	-	0.86	26.9	31.5	77	101	0.89
00:04:10	28.1	22.6	0.843	0.664	11	-	-	0.79	23.7	30.1	77	102	0.81
00:04:20	28.0	21.9	0.888	0.661	12	-	-	0.74	21.7	29.2	76	103	0.78
00:04:30	26.3	22.8	1.019	0.753	14	-	-	0.74	19.9	27.0	76	102	0.87
00:04:40	22.9	24.4	1.053	0.814	14	-	-	0.77	21.1	27.3	77	101	1.07
00:04:50	23.5	27.7	1.150	0.923	16	-	-	0.80	22.1	27.6	78	97	1.18

Figure: Extrait des données CNSNMM

Analyse des données du CNSNMM

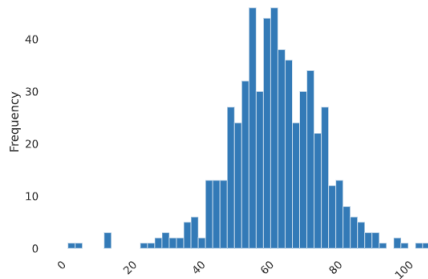
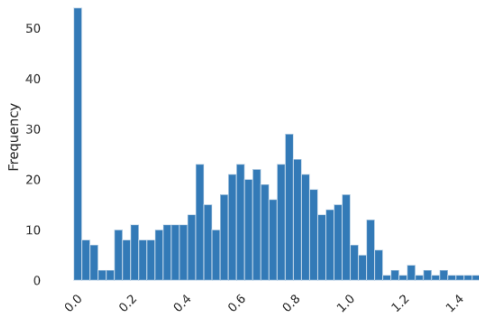
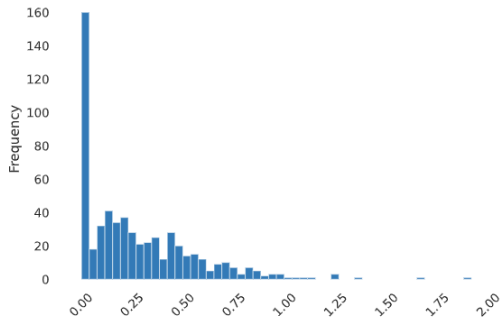


Figure: Répartition de la VO2max

Analyse des données du CNSNMM



Consommation de lipides à 40 %
de VO2max



Consommation de lipides à 70 %
de VO2max

Table des matières

- 1 Introduction
- 2 Création d'une bande son pour des tests incrémentaux de VO2max
- 3 Plateforme Sportgen : mise en place d'un algorithme de traitement des données de test
- 4 Modèle de prédiction de performance
- 5 Analyse des données du CNSNMM
- 6 Conclusion

Conclusion

- Mis en oeuvre de différentes techniques, utilisation de Python
- Notion de physiologie
- Adaptabilité et autonomie
- Prise d'initiative

Bibliographie

-  [1] Amandine Aftalion, J. Frederic Bonnans. Optimization of running strategies based on anaerobic energy and variations of velocity. [Research Report] RR-8344, 2013, pp.22.
-  [2] Amandine Aftalion, Louis-Henri Despaigne, Alexis Frentz, Pierre Gabet, Antoine Lajouanie, Marc-Antoine Lorthiois, Lucien Roquette Camille Vernet. How to identify the physiological parameters and run the optimal race.
-  [3] Daniel A. Keir, Danilo Iannetta, Felipe Mattioni Maturana, John M. Kowalchuk, Juan M. Murias. Identification of Non-Invasive Exercise Thresholds: Methods, Strategies, and an Online App, 2021