



# **Utilisation de l'Apple Watch pour estimer la santé cardio-vasculaire avec VO2 max**

Mai 2021

# Sommaire

<b>Présentation .....</b>	<b>3</b>
Introduction.....	3
Définition .....	3
Mesure et estimation .....	3
Utilitaires.....	3
Génétique .....	4
Interventions.....	4
<b>Santé cardiovasculaire sur Apple Watch.....</b>	<b>4</b>
Description de l'indicateur .....	4
Développement.....	7
Plan d'étude .....	7
Méthodes statistiques .....	7
Résultats .....	8
Discussion .....	10
<b>Conclusions .....</b>	<b>12</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>12</b>

# Présentation

watchOS 7 fournit aux Apple Watch Series 3 et versions ultérieures un algorithme mis à jour pour estimer le niveau de santé cardiovasculaire d'un utilisateur en mesurant son VO<sub>2</sub> max., c'est-à-dire le volume maximal d'oxygène qu'il peut extraire de l'air inspiré. Cette mise à jour étend les estimations du VO<sub>2</sub> max. à des plages inférieures et améliore la disponibilité de cet indicateur. Par ailleurs, watchOS 7.2 permet aux utilisateurs de situer leur niveau de santé cardiovasculaire par rapport à leur classe d'âge et leur sexe dans l'app Santé sur iPhone et de recevoir une notification si celui-ci passe dans la plage inférieure. Le présent document aide à mieux comprendre les spécificités de ces fonctionnalités, ainsi que les étapes de test et de validation.

## Introduction

### Définition

Le VO<sub>2</sub> max. correspond au volume maximal d'oxygène qu'une personne peut extraire de l'air inspiré et consommer via le métabolisme cellulaire. Le VO<sub>2</sub> max. constitue donc un bon indicateur global de santé cardiorespiratoire (CRF), car il intègre plusieurs systèmes organiques et est soumis à de nombreux facteurs à diverses étapes, de la respiration à la consommation d'oxygène par les organes. Les valeurs de <sup>1</sup> VO<sub>2</sub> max. sont généralement normalisées pour la masse corporelle et rapportées en millilitres d'oxygène par kilogramme de masse corporelle en une minute (ml/kg/min). Elles baissent normalement avec l'âge et, au niveau de la population, diffèrent selon les sexes.<sup>2</sup>

### Mesure et estimation

Le VO<sub>2</sub> max. est mesuré pendant un test d'effort cardiorespiratoire (CPET) — une procédure au cours de laquelle une personne doit pédaler sur un vélo d'exercice ou marcher sur un tapis de course à des niveaux d'intensité de plus en plus élevés en portant un masque qui permet de mesurer directement le niveau d'oxygène dans l'air inspiré et expiré.<sup>3</sup> En général, le volume d'oxygène consommé par les individus pendant le test atteint un plateau malgré l'augmentation de l'intensité, et ce plateau ou pic de VO<sub>2</sub> est considéré comme le VO<sub>2</sub> max., bien qu'il soit impossible d'affirmer avec certitude que le niveau maximal a bien été atteint.<sup>4</sup>

Dans la pratique, le VO<sub>2</sub> max. ou la santé cardiorespiratoire sont le plus souvent estimés à partir de mesures prises pendant un test d'effort sous-maximal, car ces tests sont moins coûteux et moins longs qu'un CPET maximal. Ils sont aussi moins fatigants et plus confortables pour le sujet, et des données solides montrent qu'il est possible de dériver le VO<sub>2</sub> max. d'un effort sous-maximal.<sup>5</sup>

### Utilitaires

La santé cardiorespiratoire, mesurée par le VO<sub>2</sub> max. ou l'équivalent métabolique (MET) étroitement lié — avec 1 MET = ~3,5 ml/kg/min — s'est révélée à maintes reprises au cours des 30 dernières années comme un moyen de prédire la mortalité cardiovasculaire et toutes causes confondues, ainsi que les accidents cardiovasculaires chez les hommes et les femmes.<sup>6,7,8</sup> Dans certaines études, la santé cardiorespiratoire était indépendante et plus prédictive que les facteurs de risque connus de mortalité cardiovasculaire et toutes causes confondues, tels que l'hypertension, l'obésité et l'hypercholestérolémie.<sup>9,10,11</sup>

Au vu de cette utilité pronostique, des membres de la communauté médicale et scientifique ont plaidé pour l'intégration de mesures de la CRF dans les examens médicaux de routine en complément<sup>12</sup>, voire en remplacement, de modèles de risque traditionnels tels que le modèle de Framingham.<sup>13</sup> Cette utilité prédictive s'applique également en dehors de la population générale à des cohortes spécifiques à des

maladies, par exemple aux individus souffrant d'insuffisance cardiaque,<sup>14</sup> et dans les prises de décisions cliniques relatives à des événements spécifiques, tels que la prise en charge péri-opératoire<sup>15,16</sup> et l'orientation vers un programme de réadaptation cardiaque.<sup>17</sup> Ces démonstrations d'utilité, combinées à d'autres démonstrations de ce type, ont conduit l'American Heart Association (AHA) à préconiser en 2016 une évaluation plus systématique de la CRF, soutenant qu'elle constitue un signe vital.<sup>5</sup>

### Génétique

La génétique est fortement corrélée avec le  $VO_2$  max. d'un individu et avec l'évolution de ce  $VO_2$  max. pendant l'effort. Environ 50 à 70 % des écarts de  $VO_2$  max. observés entre les individus<sup>18,19</sup> et 20 à 60 % de la variation de l'amélioration du  $VO_2$  max. en réponse à l'entraînement physique seraient imputables à des facteurs génétiques.<sup>5,20</sup>

### Interventions

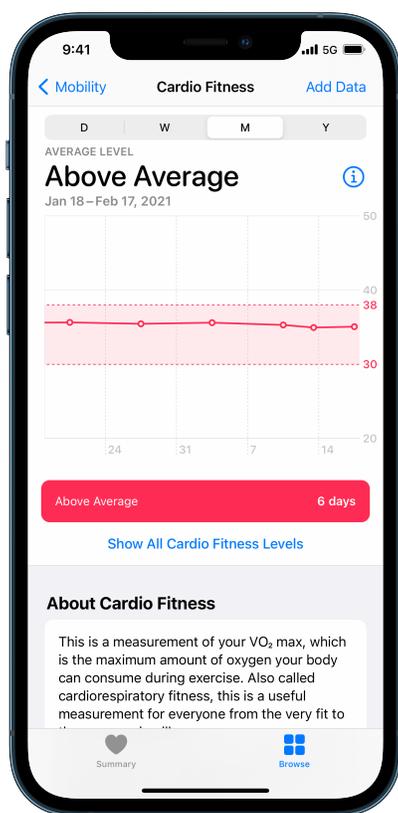
L'amélioration ou le maintien du  $VO_2$  max. dans le temps est fortement lié à une diminution de la mortalité. Lors d'une étude menée auprès de 500 hommes pendant 11 ans, Laukkanen et al. ont déterminé qu'une augmentation de 1 ml/kg/min du  $VO_2$  max. entraînait une diminution du risque de décès de 9 %.<sup>21</sup> Selon les études, l'entraînement fractionné à haute intensité est la pratique qui permet d'obtenir les meilleures améliorations du  $VO_2$  max.<sup>22,23,24</sup> Au cours de programmes qui s'étaient sur six à douze semaines, les améliorations du  $VO_2$  max. se trouvaient généralement autour de 5 à 10 % (en ml/kg/min). Il est important de noter que les diminutions du  $VO_2$  max. liées à une baisse ou à une absence d'activité étaient équivalentes ou supérieures (jusqu'à 27 % de baisse) sur des périodes beaucoup plus courtes (2-3 semaines).<sup>25,26</sup> L'augmentation de l'activité physique en l'absence d'améliorations du  $VO_2$  max. ne semble pas procurer le même bénéfice de survie chez les individus dont le  $VO_2$  max. augmente que chez ceux dont le  $VO_2$  max. n'augmente pas.<sup>27</sup>

## Santé cardiovasculaire sur Apple Watch

Le présent document décrit le développement et la validation des statistiques de santé cardiovasculaire, une estimation du  $VO_2$  max. sur Apple Watch. Il est destiné aux chercheurs, aux prestataires de soins de santé et aux développeurs qui souhaiteraient intégrer cette estimation à leurs travaux, ainsi qu'aux clients qui souhaitent en savoir plus sur le  $VO_2$  max. et sur son mode de mesure et de validation avec l'Apple Watch. Des informations supplémentaires sur la configuration et la visualisation des estimations du  $VO_2$  max. pour Apple Watch sont disponibles sur la page [support.apple.com/fr-fr/HT211856](https://support.apple.com/fr-fr/HT211856).

### Description de l'indicateur

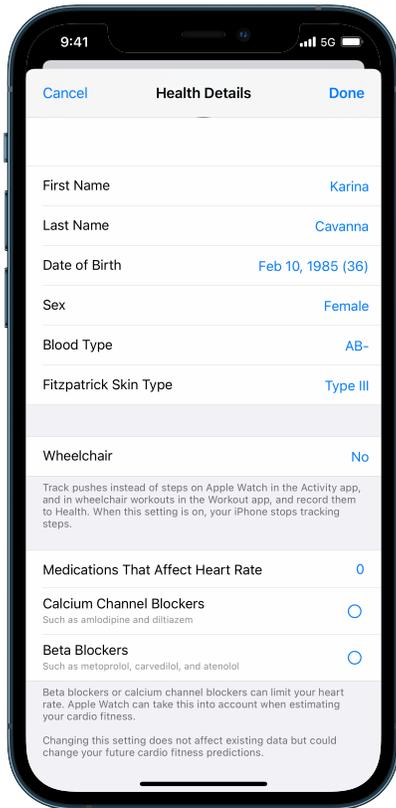
La santé cardiovasculaire sur Apple Watch est une estimation du  $VO_2$  max. en ml/kg/min d'un utilisateur, fondée sur la mesure de la réponse de sa fréquence cardiaque à une activité physique. Les mises à jour de l'algorithme d'estimation du  $VO_2$  max. dans watchOS 7 permettent d'étendre à des plages inférieures (14-60 ml/kg/min) les estimations de la santé cardiovasculaire des utilisateurs de l'Apple Watch Series 3 et des versions ultérieures. La Figure 1 représente le  $VO_2$  max. dans l'app Santé sous iOS 14 dans la rubrique Santé cardiovasculaire. Une valeur de  $VO_2$  max. peut être générée après une séance de marche, de course ou de randonnée en extérieur sur un sol relativement plat (inclinaison inférieure à 5 %) avec un GPS, une qualité de signal de fréquence cardiaque et un niveau d'effort (fréquence cardiaque maximale d'environ 30 % supérieure à la fréquence au repos) appropriés. L'utilisateur ne recevra pas d'estimation après sa première séance d'activité physique. Il doit porter son Apple Watch pendant une journée pour qu'une première estimation puisse être générée.



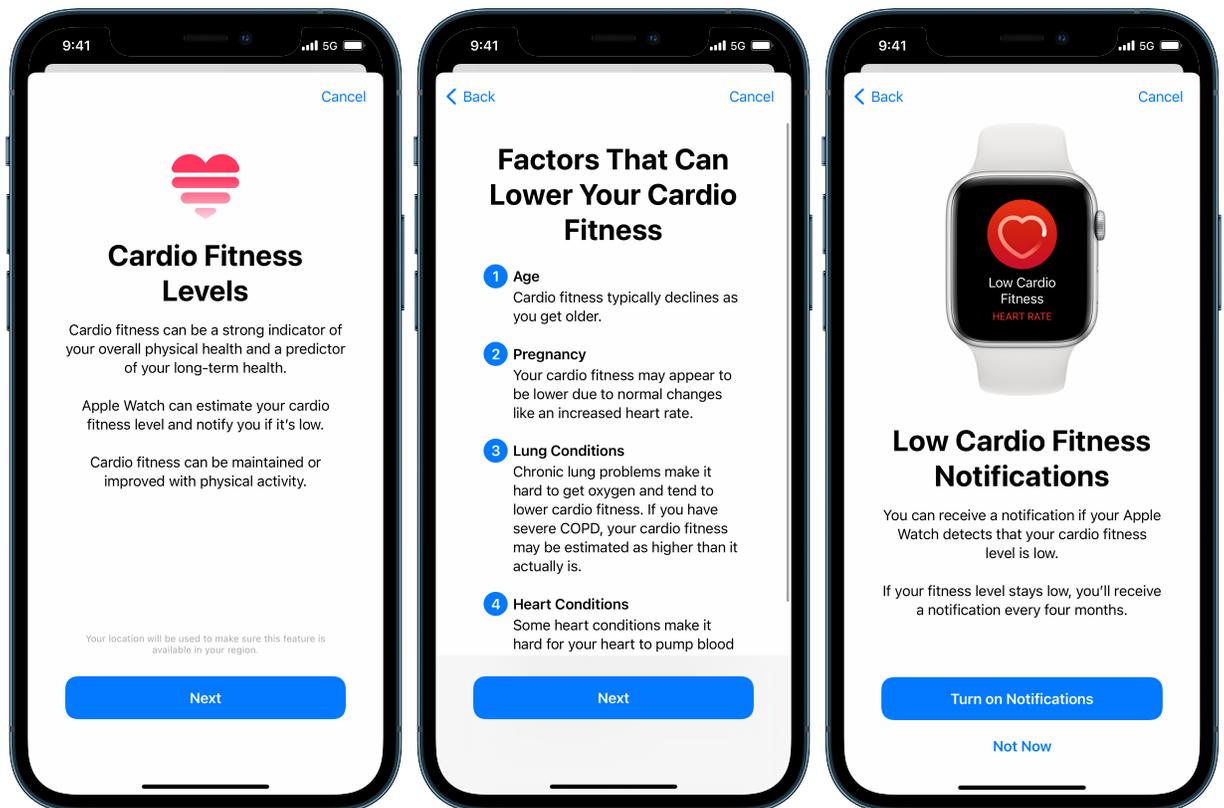
**Figure 1 : Santé cardiovasculaire dans l'app Santé sous iOS 14**

Ces estimations du VO<sub>2</sub> max. sont basées sur des prédictions sous-maximales du VO<sub>2</sub> max. plutôt que sur un pic de VO<sub>2</sub>. Les utilisateurs n'ont donc pas besoin d'atteindre un pic de fréquence cardiaque pour recevoir une estimation. Il est toutefois nécessaire d'avoir une référence du pic de fréquence cardiaque. Pour cette raison, les utilisateurs qui prennent des médicaments susceptibles de réduire leur pic de fréquence cardiaque peuvent en faire mention dans la section Renseignements médicaux de l'app Santé pour que les estimations du VO<sub>2</sub> max. soient plus précises (voir Figure 2).

Avec la nouvelle option que propose iOS 14.3, les utilisateurs de 20 ans et plus peuvent recevoir une notification si leur niveau de santé cardiovasculaire, mesuré d'après l'estimation du VO<sub>2</sub> max., atteint régulièrement un niveau suffisamment faible pour suggérer un risque pour la santé à long terme ou une limitation actuelle dans les activités quotidiennes. Pour les utilisateurs âgés de 20 à 59 ans, ce seuil de notification correspond au quintile inférieur pour leur sexe et leur âge par décennie, déterminé par la Fitness Registry and Importance of Exercise National Database<sup>2</sup>. Pour les utilisateurs de 60 ans et plus, des seuils de VO<sub>2</sub> max. absolu de 18 et 15 ml/kg/min sont utilisés respectivement pour les hommes et les femmes, d'après des données suggérant que ces valeurs constituent les seuils pour une vie autonome chez les personnes très âgées des deux sexes.<sup>28</sup> Les utilisateurs qui souhaitent recevoir des notifications de niveau de santé cardiovasculaire faible doivent s'inscrire. Ils doivent pour cela suivre une procédure d'intégration dans l'app Santé qui comprend une présentation de la fonctionnalité, la collecte d'informations telles que l'âge, le sexe ou la prise de certains médicaments pour générer une alerte précise, la présentation des facteurs susceptibles d'avoir une incidence le niveau de santé cardiovasculaire et du contenu éducatif facultatif décrivant l'importance du VO<sub>2</sub> max. et les causes potentielles d'une notification (voir Figure 3).



**Figure 2 : Possibilité de signaler la prise de médicaments influant sur la fréquence cardiaque dans la section Renseignements médicaux de l'app Santé sous iOS 14**



**Figure 3 : Inscription au service de notification de niveau de santé cardiovasculaire faible dans l'app Santé sous iOS 14**

# Développement

## Plan d'étude

Afin de concevoir et de valider les statistiques  $VO_2$  max., Apple a collecté des données provenant de plusieurs études approuvées par un comité d'examen éthique, impliquant des participants qui ont consenti à la collecte et à l'utilisation de leurs données à cette fin.

Les participants à l'étude ont effectué des tests de  $VO_2$  max. et/ou de  $VO_2$  sous-maximal (test d'effort cardiorespiratoire, CPET) en portant une Apple Watch Series 4. Différents protocoles de test CPET ont été utilisés, incluant un tapis de course et des cyclo-ergomètres. Chaque participant a effectué six CPET sur l'ensemble des études, avec un délai d'au moins dix jours entre deux tests pour garantir un temps de repos suffisant et des périodes de collecte de données appropriées avant et après les CPET individuels. Les données des CPET ont permis de vérifier que le protocole était appliqué correctement et que les participants avaient atteint au moins 60 % de la fréquence cardiaque maximale prédite. Les tests ayant donné lieu à des anomalies des échanges gazeux, des signaux de fréquence cardiaque de faible qualité, des arythmies, des douleurs ou une inefficacité biomécanique ont été exclus des analyses effectuées par la suite. Les tests qui se sont avérés concluants lors de ces étapes de vérification ont été utilisés pour le développement de l'algorithme. Pour obtenir le  $VO_2$  max. de référence de chaque participant, des projections linéaires ont été établies à l'aide de la fréquence cardiaque et du  $VO_2$  dans la plage sous-maximale afin de déterminer le  $VO_2$  max. d'après la fréquence cardiaque maximale prédite en fonction de l'âge. La fréquence cardiaque maximale prédite a été abaissée pour les utilisateurs prenant des médicaments qui limitent la fréquence cardiaque, tels que les bêta-bloquants, d'après des prédictions publiées.<sup>29</sup>

Les participants portaient une Apple Watch lors de CPET surveillés, ainsi qu'une Apple Watch et un iPhone lors des activités quotidiennes pratiquées dans le cadre des études. Ces activités comprenaient des exercices consignés par les participants. Des données issues de divers capteurs de l'Apple Watch (photopléthysmographe, accéléromètre, gyroscope, baromètre, GPS) ont été collectées au cours de cette période et utilisées pour concevoir l'algorithme  $VO_2$  max.

Les données de conception de l'algorithme n'ont pas été intégralement appliquées à un sous-ensemble des participants à l'étude afin de tester la précision de l'algorithme et d'éviter un surajustement. Sauf indication contraire, les performances de l'algorithme ont été calculées par comparaison de la dernière estimation du  $VO_2$  max. valide sur Apple Watch à la moyenne des projections sous-maximales de tous les CPET organisés pour chaque participant.

## Méthodes statistiques

La validité du  $VO_2$  max. sur Apple Watch a été calculée comme la moyenne et l'écart-type des erreurs entre la dernière estimation du  $VO_2$  max. moyen valide sur Apple Watch et la projection de  $VO_2$  max. sous-maximal moyen de tous les CPET organisés pour chaque participant. La fiabilité, exprimée sous forme de coefficient de corrélation intraclasse (ICC), a été évaluée en calculant la concordance absolue par participant entre la dernière estimation du  $VO_2$  max. valide sur Apple Watch et une estimation du  $VO_2$  max. sur Apple Watch antérieure d'au moins 28 jours. La cohérence du  $VO_2$  max. sur Apple Watch est exprimée comme la médiane et l'écart-type au 90e percentile par participant de toutes les estimations du  $VO_2$  max. sur Apple Watch pour les participants ayant reçu au moins cinq estimations. Enfin, la disponibilité du  $VO_2$  max. sur Apple Watch est calculée de deux manières différentes : sous forme de pourcentage de tous les exercices à pied en extérieur de plus de 5,75 minutes pour tous les participants ayant généré une estimation du  $VO_2$  max. sur Apple Watch, et sous forme de pourcentage de participants ayant effectué au moins 10 exercices à pied en extérieur de plus de 5,75 minutes qui ont reçu au moins une estimation du  $VO_2$  max. sur Apple Watch après dix exercices.

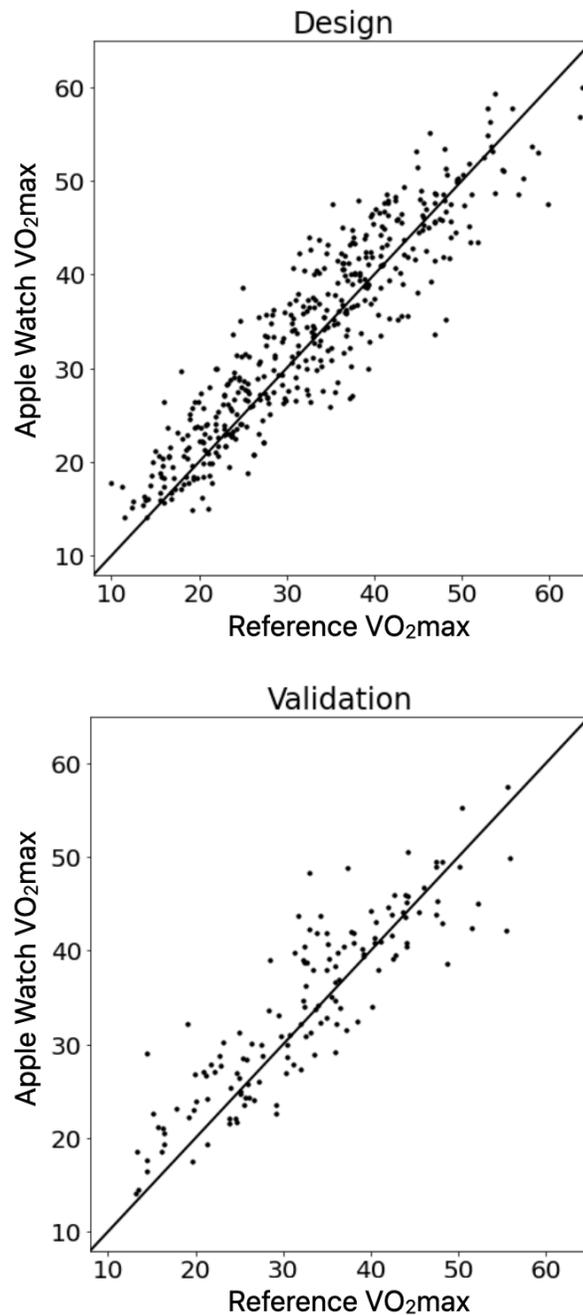
## Résultats

Les caractéristiques de base des participants dont les données ont été utilisées pour la conception et la validation sont résumées dans le Tableau 1.

**Tableau 1. Caractéristiques des participants**

	Conception (N = 534)	Validation (N = 221)
<b>Sexe — nombre (%)</b>		
Femme	191 (36)	94 (43)
Homme	343 (64)	127 (57)
<b>Âge — ans* (moyenne ± écart-type)</b>	<b>53 ± 18</b>	<b>55 ± 17</b>
<b>Répartition selon l'âge — nombre (%)</b>		
<45 ans	207 (39)	74 (33)
45 – 54 ans	67 (13)	26 (12)
55 – 65 ans	57 (11)	36 (16)
> 65 ans	203 (38)	85 (38)
<b>VO<sub>2</sub> max. de référence — ml/kg/min (moyenne ± écart-type)</b>	<b>31,7 ± 10,6</b>	<b>29,7 ± 10,5</b>
<b>Durée d'observation — jours (moyenne ± écart-type)</b>	<b>441 ± 137</b>	<b>390 ± 138</b>
<b>Comorbidités — nombre (%)</b>		
Arthrite	51 (10)	17 (8)
Diabète	38 (7)	23 (10)
Antécédents d'AVC	9 (2)	5 (2)
Coronaropathie	41 (8)	24 (11)
Antécédents d'infarctus du myocarde	34 (6)	16 (7)
BPCO	4 (1)	3 (1)
Insuffisance cardiaque	10 (2)	5 (2)
Hypertension	121 (22)	47 (21)
<b>Statut tabagique (cigarettes) — nombre (%)</b>		
Fumeur	5 (1)	1 (1)
Ancien fumeur	63 (12)	37 (17)
N'a jamais fumé	300 (56)	129 (58)
Statut tabagique inconnu	166 (31)	54 (24)
<b>Catégorie d'IMC — nombre (%)</b>		
Maigneur (IMC < 18,5)	1 (< 1)	2 (< 1)
Poids normal (18,5 ≤ IMC < 25,0)	215 (40)	99 (45)
Surpoids (25,0 ≤ IMC < 30,0)	220 (41)	77 (35)
Obésité (IMC ≥ 30,0)	98 (18)	43 (19)
* Selon l'année de naissance.		

Les performances de l'algorithme pour les ensembles de données de conception et de validation sont indiquées dans le Tableau 2. Un graphique de référence ( $VO_2$  max. dérivé du CPET moyen par utilisateur comparé au  $VO_2$  max. final estimé sur Apple Watch) pour les participants aux phases de conception et de validation est présenté dans la Figure 4. Les performances de l'algorithme ont été évaluées d'après les données collectées lors des exercices. Pour un sous-ensemble de participants (132 pour la conception et 62 pour la validation), le  $VO_2$  max. a également été estimé en dehors des exercices pendant des périodes de marche en extérieur afin d'évaluer la capacité d'estimation du  $VO_2$  max. lorsqu'aucun exercice n'a été lancé sur l'Apple Watch. Pour ces utilisateurs, les estimations hors exercices étaient en moyenne supérieures de 0,32 ml/kg/min à celles des exercices du groupe de conception. Aucun écart significatif n'a été détecté entre les estimations pendant les exercices et hors exercices dans le groupe de validation.



**Figure 4 :  $VO_2$  max. (ml/kg/min) de référence/estimé pour les participants des ensembles de conception et de validation**

**Tableau 2. Performances de VO<sub>2</sub> max.**

Mesure	Description	Conception (N = 534)	Validation (N = 221)
<b>Validité</b>	Erreur (VO <sub>2</sub> max. moyen estimé - référence sous-maximale moyenne projetée) — ml/kg/min (moyenne ± écart-type)	1,2 ± 4,4	1,4 ± 4,7
<b>Fiabilité</b>	ICC A-1 Comparaison de la dernière estimation du VO <sub>2</sub> max. basée sur les données et métadonnées de cette séance uniquement à une estimation du VO <sub>2</sub> max. datant de plus de 28 jours basée sur les données et métadonnées de cette séance — CCI [intervalle de confiance]	0,89 [0,86, 0,91]	0,86 [0,80, 0,90]
<b>Cohérence</b>	Écart-type du pVO <sub>2</sub> max. par utilisateur — ml/kg/min (% de pVO <sub>2</sub> max.)		
	Médiane	1,2 (3,7 %)	1,2 (3,4 %)
	90e percentile	2,6 (7,6 %)	2,6 (7,2 %)
<b>Disponibilité</b>	Pourcentage d'exercices à pied en extérieur de plus 5,75 minutes donnant lieu à la réception d'une estimation	79%	78%
	Pourcentage de participants ayant effectué au moins 10 exercices à pied en extérieur de plus de 5,75 minutes et ayant reçu au moins une estimation pour leurs 10 premiers exercices	93%	93%

## Discussion

L'évaluation de la santé cardiorespiratoire par le biais du VO<sub>2</sub> max. suscite de plus en plus d'intérêt dans le cadre de la stratification du risque. Certains souhaitent même qu'elle soit considérée comme un signe vital.<sup>5</sup> Dans la pratique, bien que ses bénéfices aient été démontrés, la mesure objective de la santé cardiorespiratoire par CPET reste rare, en partie en raison de son coût, de sa lourdeur pour les participants et de sa faible acceptation comme norme de soin dans de nombreuses spécialités.<sup>30</sup> Une estimation précise du VO<sub>2</sub> max. d'un utilisateur via la technologie portable pourrait étendre l'évaluation de la santé cardiorespiratoire à une grande partie de la population à moindre coût. Elle permettrait également la surveillance à distance des patients entre les visites cliniques dans le cadre de programmes de réadaptation cardiaque, par exemple. La disponibilité d'estimations précises du VO<sub>2</sub> max. peut également orienter la stratification du risque et la réponse aux programmes visant à réduire les risques, tels que l'évaluation préopératoire et la réadaptation.<sup>31</sup>

L'algorithme amélioré d'estimation du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch décrit dans le présent document a été conçu et validé auprès d'une population dont le VO<sub>2</sub> max. de référence couvre une large plage de niveaux de santé cardiovasculaire, comme illustré dans la Figure 4. Près de la moitié des participants à l'étude étaient âgés de plus de 55 ans, et environ 10 % d'entre eux présentaient une coronaropathie connue. La diversité ethnique de la population étudiée ne reflétait pas celle de la population américaine. Cependant, des études internes et externes ont montré que la fréquence cardiaque, qui est un élément clé des estimations du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch, présentait une précision constante sur plusieurs couleurs de peau.<sup>32</sup>

L'extension des estimations du VO<sub>2</sub> max. à des plages inférieures dans watchOS 7 associée à l'estimation hors exercices renforce la disponibilité de ces statistiques pour les personnes présentant un niveau de santé cardiovasculaire faible. Plus de 90 % des participants ayant effectué au moins une séance de plus de trois minutes de marche en extérieur, de course en extérieur ou de randonnée en utilisant l'app Exercice ont reçu au moins une

estimation du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch. L'augmentation du nombre d'exercices à pied en extérieur augmentera la probabilité de recevoir des estimations de VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch et la précision de ces estimations.

L'estimation du VO<sub>2</sub> max. par Apple Watch est précise et fiable par rapport aux méthodes de mesure du VO<sub>2</sub> max. couramment utilisées, avec une erreur moyenne inférieure à 1 MET et un ICC supérieur à 0,85. La précision du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch est proche de celle de la référence. Pour les protocoles de test d'effort sous-maximal, l'erreur moyenne était pratiquement de zéro et l'erreur standard était mesurée à 1 MET.<sup>33</sup> En ce qui concerne la fiabilité test-retest, l'ICC du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch était de 0,87 dans les données de validation, contre 0,75 pour le test sous-maximal sur tapis de course.<sup>34</sup>

Avec le nouvel algorithme, les estimations du VO<sub>2</sub> max. pour les utilisateurs prenant des médicaments qui limitent la fréquence cardiaque, tels que les bêta-bloquants et les inhibiteurs calciques, et qui l'ont mentionné dans l'app Santé sur iPhone jumelé à l'Apple Watch, doivent être plus précises que celles effectuées dans les versions antérieures d'iOS et de watchOS. Le dosage, la cardiosélectivité ou l'activité sympathomimétique intrinsèque de certains bêta-bloquants, qui peuvent constituer des informations importantes, ont été omis afin de faciliter l'utilisation de l'app. Avec cette approche, l'erreur estimée pour les utilisateurs de la cohorte de validation prenant des bêta-bloquants et des inhibiteurs calciques est passée de 11,8 ± 4,0 ml/kg/min à 1,6 ± 3,1 ml/kg/min lorsque les paramètres de la section Renseignements médicaux reflètent correctement leur usage de médicaments. Les utilisateurs prenant des médicaments limitant la fréquence cardiaque et qui ne saisissent pas ces informations recevront des estimations supérieures à la réalité ; ceux qui prennent de faibles doses ou des doses à la demande de ces médicaments qui ne réduisent pas systématiquement la fréquence cardiaque maximale (par exemple, le propranolol contre l'anxiété) recevront des estimations plus précises s'ils ne saisissent pas ces informations. L'utilisation de ces médicaments étant très répandue,<sup>35</sup> il est essentiel d'en tenir compte pour fournir des estimations précises du VO<sub>2</sub> max., en particulier pour les personnes âgées.

Dans certains cas, l'estimation du VO<sub>2</sub> max. d'un utilisateur peut être erronée. Les utilisateurs qui n'ont pas correctement indiqué leur âge, leur sexe ou leur poids dans leur app Santé pourront recevoir systématiquement des estimations erronées du VO<sub>2</sub> max. Les changements physiologiques normaux associés à la grossesse peuvent générer des estimations erronées. Des estimations individuelles peuvent être faibles si les données du capteur sont enregistrées au cours de comportements qui augmentent l'effort de l'utilisateur d'une manière que l'Apple Watch ne peut pas détecter avec précision. Par exemple, s'il porte une charge lourde telle qu'un sac à dos ou un enfant ou s'il marche ou court sur une surface nécessitant davantage d'effort telle que le sable. De même, l'utilisation d'un dispositif d'assistance ou d'une poussette peut diminuer la disponibilité ou la précision des estimations du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch. Les facteurs qui augmentent la fréquence cardiaque, tels que la déshydratation, la consommation de caféine, une chaleur extrême ou un passage récent à haute altitude, peuvent également entraîner des sous-estimations. La précision du VO<sub>2</sub> max. sur Apple Watch peut augmenter pour les utilisateurs qui effectuent fréquemment des exercices à pied en extérieur et qui portent leur Apple Watch tout au long de la journée et pas uniquement lors des séances d'entraînement standard.

Les utilisateurs présentant une incompetence chronotrope, c'est-à-dire qui ne peuvent pas augmenter leur fréquence cardiaque pour compenser l'effort,<sup>36</sup> peuvent recevoir des valeurs de VO<sub>2</sub> max. surestimées. L'incompétence chronotrope est principalement associée à l'insuffisance cardiaque, qui se produit chez environ 30 à 80 % des patients souffrant de cette pathologie (en fonction des critères de diagnostic).<sup>37</sup> Elle a également été associée à d'importantes proportions de patients souffrant de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO),<sup>38</sup> de lupus<sup>39</sup> et d'autres maladies auto-immunes.<sup>40</sup>

Outre l'incompétence chronotrope, d'autres problèmes de santé peuvent également réduire la précision des estimations du VO<sub>2</sub> max. sur l'Apple Watch. Il s'agit de problèmes de santé ou de dispositifs qui dissocient la fréquence cardiaque du mouvement ou de l'effort (par exemple, douleur, arythmies, pacemakers ou dispositifs d'assistance cardiaque) ; de problèmes de santé qui limitent fortement la tolérance à l'effort,

qui empêchent les patients d'atteindre une fréquence cardiaque proche de leur fréquence cardiaque maximale prédite (par exemple, les maladies artérielles périphériques) ; et de problèmes de santé qui entravent gravement la motricité, tels que les troubles squelettiques ou neuromusculaires qui entraînent des troubles de la marche (par exemple, la sclérose en plaques ou la paralysie cérébrale).

## Conclusions

Avec watchOS 7 sur Apple Watch Series 3 et versions ultérieures, les estimations du VO<sub>2</sub> max. ont été étendues à des plages inférieures de santé cardiovasculaire et les utilisateurs peuvent recevoir une notification si leur niveau de santé cardiovasculaire est faible pour leur âge et leur sexe. Cette plage étendue, associée à une disponibilité accrue des estimations et à la possibilité pour les utilisateurs prenant des médicaments qui limitent la fréquence cardiaque de recevoir des estimations plus précises qu'auparavant, permet aux chercheurs et aux cliniciens d'élargir l'utilisation de ces statistiques au suivi des patients âgés et présentant des comorbidités.

## Bibliographie

<sup>1</sup>Stringer WW. Cardiopulmonary exercise testing: current applications. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2010; 4(2): 179–188. doi: 10.1586/ers.10.8.

<sup>2</sup>Kaminsky LA, Arena R, Myers J. Reference Standards for Cardiopulmonary Fitness Measured With Cardiopulmonary Exercise Testing: Data From the Fitness Registry and the Importance of Exercise National Database. *Mayo Clinic Proceedings*. 2015; 90(11): 1515–1523. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.07.026.

<sup>3</sup>American Thoracic Society, American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2003; 167(2): 211–277. doi: 10.1164/rccm.167.2.211.

<sup>4</sup>Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 122(2): 191–225. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.

<sup>5</sup>Ross R, Blair SN, Arena R, et al. Importance of Assessing Cardiopulmonary Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2016; 134(24): e653–e699. doi: 10.1161/CIR.0000000000000461.

<sup>6</sup>Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, et al. Physical Fitness and All-Cause Mortality: A Prospective Study of Healthy Men and Women. *JAMA*. 1989; 262(17): 2395–2401. doi: 10.1001/jama.1989.03430170057028.

<sup>7</sup>Mandsager K, Harb S, Cremer P, Phelan D, Nissen SE, Jaber W. Association of Cardiopulmonary Fitness With Long-term Mortality Among Adults Undergoing Exercise Treadmill Testing. *JAMA Network Open*. 2018; 1(6): e183605. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2018.3605.

<sup>8</sup>Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. Midlife Cardiopulmonary Fitness and the Long-Term Risk of Mortality: 46 Years of Follow-Up. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018; 72(9): 987–995. doi: 10.1016/j.jacc.2018.06.045.

<sup>9</sup>Mora S, Redberg RF, Cui Y, et al. Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: a 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA*. 2003; 290(12): 1600–1607. doi: 10.1001/jama.290.12.1600.

<sup>10</sup>Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Rauramaa R, Salonen JT. The predictive value of cardiopulmonary fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *European Heart Journal*. 2004; 25(16): 1428–1437. doi: 10.1016/j.ehj.2004.06.013.

<sup>11</sup>Myers J, Nead KT, Chang P, Abella J, Kokkinos P, Leeper NJ. Improved reclassification of mortality risk by assessment of physical activity in patients referred for exercise testing. *The American Journal of Medicine*. 2015; 128(4): 396–402. doi: 10.1016/j.amjmed.2014.10.061.

<sup>12</sup>Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. Cardiopulmonary fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009; 301(19): 2024–2035. doi: 10.1001/jama.2009.681.

<sup>13</sup>Nauman J, Nes BM, Lavie CJ, et al. Prediction of Cardiovascular Mortality by Estimated Cardiopulmonary Fitness Independent of Traditional Risk Factors: The HUNT Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2017; 92(2): 218–227. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.10.007.

<sup>14</sup>Orimoloye OA, Kambhampati S, Hicks AJ, et al. Higher cardiopulmonary fitness predicts long-term survival in patients with heart failure and preserved ejection fraction: the Henry Ford Exercise Testing (FIT) Project. *Archives of Medical Science*. 2019; 15(2): 350–358. doi: 10.5114/aoms.2019.83290.

<sup>15</sup>Begum SSS, Papagiannopoulos K, Falcoz PE, Decaluwe H, Salati M, Brunelli A. Outcome after video-assisted thoracoscopic surgery and open pulmonary lobectomy in patients with low VO<sub>2</sub> max: a case-matched analysis from the ESTS database<sup>†</sup>. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2016; 49(4): 1054–1058. doi: 10.1093/ejcts/ezv378.

<sup>16</sup>Bhagwat M, Paramesh K. Cardio-pulmonary exercise testing: An objective approach to pre-operative assessment to define level of perioperative care. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2010; 54(4): 286–291. doi: 10.4103/0019-5049.68369.

- <sup>17</sup>Holmes AA, Phillips LM. Cardiopulmonary exercise testing and SPECT myocardial perfusion imaging: Pre-test probability is the key. *Journal of Nuclear Cardiology*. 2019; 26(1): 107–108. doi: 10.1007/s12350-017-0996-7.
- <sup>18</sup>Schutte NM, Nederend I, Hudziak JJ, Bartels M, de Geus EJC. Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics*. 2016; 48(3): 210–219. doi: 10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- <sup>19</sup>Bouchard C, An P, Rice T, et al. Familial aggregation of VO<sub>2</sub>(max) response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*. 1999; 87(3): 1003–1008. doi: 10.1152/jappl.1999.87.3.1003.
- <sup>20</sup>Zadro JR, Shirley D, Andrade TB, Scurrah KJ, Bauman A, Ferreira PH. The Beneficial Effects of Physical Activity: Is It Down to Your Genes? A Systematic Review and Meta-Analysis of Twin and Family Studies. *Sports Medicine - Open*. 2017; 3(1): 4. doi: 10.1186/s40798-016-0073-9.
- <sup>21</sup>Laukkanen JA, Zaccardi F, Khan H, Kurl S, Jae SY, Rauramaa R. Long-term Change in Cardiorespiratory Fitness and All-Cause Mortality: A Population-Based Follow-up Study. *Mayo Clinic Proceedings*. 2016; 91(9): 1183–1188. doi: 10.1016/j.mayocp.2016.05.014.
- <sup>22</sup>Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, et al. Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2014; 44: 269–279. doi: 10.1007/s40279-013-0115-0.
- <sup>23</sup>Sultana RN, Sabag A, Keating SE, et al. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2019; 49: 1687–1721. doi: 10.1007/s40279-019-01167-w.
- <sup>24</sup>Helgerud J, Høydal K, Wang E, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007; 39(4): 665–671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570.
- <sup>25</sup>Krogh-Madsen R, Thyfault JP, Broholm C, et al. A 2-wk reduction of ambulatory activity attenuates peripheral insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*. 2010; 108(5): 1034–1040. doi: 10.1152/jappphysiol.00977.2009.
- <sup>26</sup>Taylor HL. The effects of rest in bed and of exercise on cardiovascular function. *Circulation*. 1968; 38(6): 1016–1017. doi: 10.1161/01.cir.38.6.1016.
- <sup>27</sup>Williams PT. Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001; 33(5): 754–761. doi: 10.1097/00005768-200105000-00012.
- <sup>28</sup>Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999; 31(12): 1813–1820. doi: 10.1097/00005768-199912000-00018.
- <sup>29</sup>Brawner CA, Ehrman JK, Schairer JR, et al. Predicting maximum heart rate among patients with coronary heart disease receiving beta-adrenergic blockade therapy. *American Heart Journal*. 2004; 148(5): 910–914. doi: 10.1016/j.ahj.2004.04.035.
- <sup>30</sup>Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010; 122(6): 68–86. doi: 10.3810/pgm.2010.11.2225.
- <sup>31</sup>Older PO, Levett DZH. Cardiopulmonary Exercise Testing and Surgery. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017; 14(Supplement\_1): S74–S83. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-780FR.
- <sup>32</sup>Bent B, Goldstein BA, Kibbe WA, Dunn JP. Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors. *npj Digital Medicine*. 2020; 3(1): 18. doi: 10.1038/s41746-020-0226-6.
- <sup>33</sup>Foster C, Jackson AS, Pollock ML, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *American Heart Journal*. 1984; 107(6): 1229–1234. doi: 10.1016/0002-8703(84)90282-5.
- <sup>34</sup>Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*. 2004; 85(1): 113–118. doi: 10.1016/s0003-9993(03)00436-2.
- <sup>35</sup>Argulian E, Bangalore S, Messerli FH. Misconceptions and Facts About Beta-Blockers. *The American Journal of Medicine*. 2019; 132(7): 816–819. doi: 10.1016/j.amjmed.2019.01.039.
- <sup>36</sup>Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation*. 2011; 123(9): 1010–1020. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.940577.
- <sup>37</sup>Zweerink A, van der Lingen A-LCJ, Handoko ML, van Rossum AC, Allaart CP. Chronotropic Incompetence in Chronic Heart Failure. *Circulation: Heart Failure*. 2018; 11(8): e004969. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004969.
- <sup>38</sup>González-Costello J, Armstrong HF, Jorde UP, et al. Chronotropic incompetence predicts mortality in severe obstructive pulmonary disease. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2013; 188(2): 113–118. doi: 10.1016/j.resp.2013.05.002.
- <sup>39</sup>Prado, DM Leite do, et al. Abnormal chronotropic reserve and heart rate recovery in patients with SLE: a case-control study. *Lupus*. 2011; 20(7): 717–720. doi: 10.1177/0961203310397081.
- <sup>40</sup>Pecanha T, Rodrigues R, Pinto AJ, et al. Chronotropic Incompetence and Reduced Heart Rate Recovery in Rheumatoid Arthritis. *Journal of Clinical Rheumatology*. 2018; 24(7): 375–380. doi: 10.1097/RHU.0000000000000745.