

Record mondial d'altitude après greffe cardiaque à 6 136 mètres

L'exploit de Paul Baudry

Greffé cardiaque depuis 2009, Paul Baudry, a battu le record mondial d'altitude après greffe cardiaque en 2013, à l'âge de 51 ans. Retour sur son expérience.

Dr Jean-Claude Verdier*

Paul Baudry pratique l'alpinisme depuis son enfance. Porteur d'une cardiopathie restrictive détectée à l'âge de 23 ans, il poursuit ses ascensions jusqu'à 33 ans, âge auquel apparaissent les premiers épisodes de fibrillation atriale. S'en suit l'installation d'une insuffisance cardiaque d'aggravation progressive aboutissant à une greffe cardiaque en 2009, à l'âge de 47 ans. Après sa transplantation, il reprend peu à peu des activités sportives et se réapproprie les montagnes du massif de l'Oisans. Il entend alors parler de l'ascension du Mont Blanc par des greffés cardiaques, et du record d'altitude à 6 120 mètres établi en 2004 par Sylvain Bédard, québécois lui aussi greffé cardiaque. C'est alors que son projet prend forme : renouer avec l'univers de la haute altitude, qu'il a déjà connu à l'âge de 23 ans et, pourquoi pas, tenter d'établir le record mondial d'altitude après une greffe cardiaque ! Il part pour un premier essai en 2012 au Pérou avec ses compagnons Guillaume Orsal et Alain Dutrevis, mais doit s'arrêter à 5 300 mètres. Les efforts accomplis durant la période d'acclimatation ont été trop éprouvants, provoquant contractures et altérations musculaires. Fort de ce constat, il repart en 2013 avec ces mêmes compagnons (Fig. 1), adapte ses conditions d'acclimatation et établit le nouveau record en Bolivie : 6 136 mètres !

*Institut Cœur Effort Santé (ICES), Paris



© Guillaume Orsal

>>> Figure 1 - Paul Baudry et ses deux compagnons de montagne, Guillaume Orsal et Alain Dutrevis (12 juillet 2013).

UN RAPPEL : LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ALTITUDE

La caractéristique la plus importante est la diminution de la pression barométrique : elle entraîne une baisse de la pression partielle en oxygène de l'air atteignant 30 % dès 3 000 mètres d'altitude.

S'y ajoute la baisse de la température :

- - 5 °C en moyenne par 1 000 mètres de dénivelé ;
- en fonction du degré hygrométrique de l'air : - 10 °C en air saturé de vapeur d'eau et - 2,5 °C en air sec.

Cette baisse de la température dépend également de nombreux facteurs : latitude, exposition, végétation, conditions météorologiques, variations nyctémérales, vent...

Le degré hygrométrique diminue avec la pression barométrique, favorisant les pertes hydriques et la déshydratation.

Les autres caractéristiques environnementales ont peu d'impact sur les adaptations à l'altitude : radiations, baisse de densité de l'air, baisse de la gravité.

QUELLES RÉACTIONS PHYSIOLOGIQUES À L'ALTITUDE ?

Sur le plan ventilatoire, on constate une absence de modification au repos à moins de 3 000 mètres durant moins de 24 heures. Dans les autres cas, une hyperventilation, essentiellement par augmentation du volume

courant (VT), survient.

Sur le plan cardiovasculaire, au repos, une augmentation du débit cardiaque par élévation de la fréquence cardiaque (FC) est observée dès 2 000 mètres. Cette tachycardie diminue progressivement avec l'acclimatation.

La pression artérielle (PA) reste le plus souvent dans les normes, rarement des valeurs diastoliques élevées sont observées.

Au niveau sanguin, on note une augmentation de la concentration des érythrocytes et de l'hémoglobine ; rapide dans les premiers jours, plus lente par la suite. La FC s'abaisse parallèlement à ces adaptations hématologiques. La courbe de dissociation de l'hémoglobine se modifie afin de favoriser dans un premier temps la fixation de l'oxygène au niveau du poumon puis dans un deuxième temps son extraction au niveau des tissus.

Au niveau musculaire, l'exposition chronique à l'altitude induit une augmentation du nombre des capillaires. Au niveau cellulaire, l'augmentation de la myoglobine et de l'activité de certaines enzymes oxydatives majore les capacités oxydatives musculaires.

LES ADAPTATIONS À L'EXERCICE EN ALTITUDE

Au niveau ventilatoire, en conséquence de la baisse de la pression partielle en oxygène de l'air, plus l'altitude est élevée, plus l'hyperventilation est majorée. Le degré d'hyperventilation est fonction de l'intensité de l'exercice, apparaissant pour des intensités d'autant plus faibles que l'altitude est élevée. Il existe une grande variabilité interindividuelle dans l'amplitude de la réponse ventilatoire, expliquant d'éventuelles intolérances à des altitudes modérées.

L'acclimatation limite l'importance de cette hyperventilation par désensibilisation relative des centres respiratoires et des chémorécepteurs à l'hypoxie chronique.

Dans tous les cas, la limitation de la diffusion pulmonaire réduit les capacités maximales d'oxygénation sanguine.

Au niveau cardiovasculaire, pour des efforts sous-maximaux, une majoration initiale du débit cardiaque par la tachycardie réflexe est observée. Elle se normalise progressivement lors de l'acclimatation, la tachycardie résiduelle qui est observée répond à une baisse relative du volume d'éjection systolique (VES).

La polyglobulie secondaire à l'acclimatation participe à la baisse du débit cardiaque du fait de l'augmentation des capacités de transport de l'oxygène par le sang. Cependant, cette polyglobulie majore les contraintes cardiaques par l'élévation des résistances vasculaires secondaires à l'hyperviscosité sanguine.

Les deux composantes de la PA ont tendance à s'élever, en fonction de l'altitude.

Les efforts maximaux ne sont conseillés qu'à des altitudes inférieures à 4 000 mètres lors de l'exposition aiguë. Le débit cardiaque maximum reste alors identique, la FC max et le VES max étant inchangés. Après acclimatation, le débit cardiaque maximal diminue par limitation de la FC max et baisse du VES max.

La limitation de la FC max est d'autant plus marquée que l'altitude est élevée. Elle est attribuée à l'action de l'hypoxie chronique sur le nœud sinusal associée à une modification de la balance sympathique/parasympathique par diminution de la densité et de la sensibilité des bêtarécepteurs myocardiques adrénérgiques. La baisse du VES max est liée à de multiples facteurs, réduction du volume plasmatique, des propriétés myocardiques (contractilité, compliance), de la pression de remplissage diastolique avec baisse du volume télédiastolique du ventricule gauche, et majoration des résistances périphériques. La contribution atriale au remplissage

ventriculaire est majorée avec diminution du rapport E/A mesuré échographiquement à l'anneau mitral. Enfin, les pressions artérielles pulmonaire et systémique à l'effort sont augmentées.

Au niveau énergétique, le métabolisme anaérobie alactique n'est pas modifié de façon significative. Le métabolisme anaérobie lactique montre une baisse paradoxale de la lactatémie (*lactate paradox*) pour les mêmes intensités d'efforts qu'au niveau de la mer. De multiples hypothèses sont proposées : amélioration du rendement musculaire, diminution de la réponse adrénérgique à l'exercice, oxydation du lactate sur le site de production par les fibres aérobie actives. Le métabolisme aérobie est limité par la diminution des échanges gazeux plus ou moins marquée en fonction de l'altitude.

Au total, en réponse à ces différentes contraintes, la réduction du VO_2 max est de l'ordre de 5 % par 1 000 mètres d'élévation avec une grande variabilité interindividuelle, en fonction du temps d'exposition, du mode de vie en altitude, du sexe et de l'aptitude physique. Il est intéressant de noter que ce sont les sujets les plus performants qui sont les plus touchés et que l'entraînement ne leur permet pas d'améliorer leurs capacités aérobie maximales. Après acclimatation, la tolérance aux efforts sous-maximaux est améliorée grâce à l'augmentation de l'oxygène apportée aux muscles actifs par la polyglobulie et à l'amélioration du rendement énergétique.

L'HISTOIRE DE LA MALADIE

Paul Baudry est né en 1962. Le diagnostic d'"anomalie du myocarde" est posé en 1984 alors qu'il est âgé de 22 ans... Dès 1993, des épisodes d'arythmie par fibrillation atriale surviennent. Ils imposent de multiples cardioversions, et en 2003 s'installe

une fibrillation atriale permanente avec détérioration progressive, dilatation de l'oreillette gauche et des cavités droites, de l'ensemble du myocarde. S'en suivent de multiples interventions thérapeutiques : ablation du nœud sinusal avec pose de stimulateur cardiaque en 2004, épanchements péricardiques récidivants imposant des drainages itératifs à partir de 2007. En 2008, une insuffisance cardiaque stade II fort lentement évolutive s'installe. L'indication de transplantation cardiaque pour "cardiomyopathie restrictive idiopathique" est posée et la greffe est réalisée en septembre 2009.

Première année post-greffe, cinq rejets classés 1A et 1B sont traités par corticothérapie. La deuxième année est compliquée par un rejet classé 2R avec au final un diagnostic de rejet chronique imposant un traitement immunosuppresseur "lourd" avec quadrithérapie.

LE SPORTIF

Les mois passés en attente de greffe avec déconditionnement et les multiples rejets post-greffe imposant des traitements immunosuppresseurs à fortes doses ont eu des conséquences majeures sur la forme physique de Paul avec amyotrophie importante, céphalées chroniques non soulagées... et moral en forte baisse.

Homme de montagne, entouré de quelques amis fidèles, il retrouve progressivement sa force morale et entreprend un reconditionnement physique, et ce malgré les multiples rejets. Il reprend la compétition en tennis de table, sport qu'il pratiquait également à un bon niveau dans sa jeunesse. Il voit ce projet d'expédition en haute altitude comme un facteur de reconstruction, tant physique que psychique.

Et en tant que greffé et scientifique, il associe ce projet personnel à des considérations sociétales pour la pro-



>>> Figure 2 - ADOT : Association pour le Don d'Organes et de Tissus.

© Alain Dutrevis

motion du don d'organe et l'aide à la recherche médicale (Fig. 2).

C'est ainsi que son projet se construit : franchir la barre des 6 000 mètres, et pourquoi pas, établir un nouveau record mondial d'altitude après greffe cardiaque ! Il a alors 51 ans... En 2012, il effectue une première tentative au Pérou en compagnie d'Alain Dutrevis et Guillaume Orsal, eux aussi alpinistes expérimentés. En raison d'une période d'acclimatation trop intense, il s'arrête à 5 350 mètres.

Voici son analyse, retranscrite in extenso :

« Lors de l'expédition de 2012 au Pérou, où le greffé avait atteint l'altitude de 5 350 mètres, l'acclimatation avait été la suivante :

- séjour au pied des montagnes à 3 000 mètres d'altitude environ (Huaraz) ;

- premier séjour en altitude de trois jours, avec deux nuits à 3 800 mètres, une nuit à 4 600 mètres, deux ascensions de quatre heures de 3 800 à 4 600 mètres ;

- deuxième séjour en altitude par un trek d'une durée d'une semaine (tour de l'Alpamayo), avec des nuits à une altitude entre 4 000 et 4 200 mètres, et cinq cols entre 4 600 et 4 850 mètres.

- tentative du sommet (Chopicalqui, 6 350 mètres) après trois semaines. Ce processus d'acclimatation n'avait

pas donné satisfaction car le greffé avait subi des contractions musculaires lors du trek, non résorbées pour la tentative de l'ascension. »

À partir de ces enseignements, il ne renonce pas et décide de repartir en 2013, avec ses deux compagnons, toujours aussi volontaires, cette fois-ci en Bolivie. Guillaume Orsal servira de "témoin" pour les mesures de fréquence cardiaque et de pression partielle d'oxygène.

2013, L'EXPÉDITION !

Un bilan est effectué avant le départ. L'échographie cardiaque montre un ventricule gauche non hypertrophié, non dilaté avec une fraction d'éjection de 60 % et l'absence d'anomalie par ailleurs. L'épreuve d'effort est réalisée sur bicyclette ergométrique. Elle est menée jusqu'à une FC de 170 bpm (99 % de la FMT prédite pour l'âge du patient) sans anomalie clinique, ni électrique, ni tensionnelle. Le VO_2 max calculé directement est de 36 ml/kg/min.

Ces résultats, de niveau très moyen, permettent d'extrapoler à 6 000 mètres un pic de VO_2 à 30 ml/kg/min avec une vitesse ascensionnelle de longue durée (50 % du VO_2 max) de... 400 m/h face à une pente de 10 % ! Pour illustrer la difficulté lors de

l'ascension en très haute altitude, les vainqueurs de l'Everest (8 848 mètres) parcouraient les derniers mètres à... 100 m/h !

Le récit de Paul Baudry :

« Fort de cette expérience (2012), il a été décidé de choisir une destination où l'acclimatation se ferait à une altitude moyenne plus élevée, mais moins éprouvante du point de vue de l'intensité cumulée de l'effort musculaire. Le choix de la Bolivie comme destination permettait de satisfaire ces conditions, avec un altiplano à 4 000 mètres.

L'expédition a eu lieu en trois phases :

- Altitude comprise entre 3 600 (La Paz) et 3 850 mètres (lac Titicaca) sur la première semaine (J1 à J7). Une première journée de marche de cinq heures au lac Titicaca avec une suite de dénivelés de 50 mètres environ.

- Altitude de 4 700 mètres au camp de base d'acclimatation sur la deuxième semaine (J7 à J13) situé dans la cordillère royale au bord du lac janka kota (lac blanc en langage Aymara). Deux journées de marche :

- montée à 5 100 mètres au deuxième jour après l'arrivée au camp de base (J9) ;

- ascension du Huyla lloreta à 5 280 mètres, quatre jours après l'arrivée au camp (J11) ;

- Altitude de 4 150 mètres au village de Sajama, camp de base pour les ascensions (Fig. 3) (J15 à J21), dans la cordillère occidentale (de nature volcanique) :

- tentative de l'Acotango (6 054 mètres) à J17. Le greffé atteint l'altitude de 5 850 mètres après six heures d'ascension. Arrêt par épuisement. Le témoin parvient au sommet.

- ascension du Parinacota (6 340 mètres) à J20 après un camp d'altitude à 5 150 mètres. Le greffé atteint l'altitude de 6 136 m à un rythme moyen très lent de 90 m/h (environ 1 000 mètres de dénivellation en 11 h 45 d'ascension. Départ à 4 h 45 et arrivée à 16 h 30 à 6 136 mètres). Arrêt en raison de l'horaire tardif (1 h 30



>>> Figure 3 - L'ascension.

© Paul Baudry



>>> Figure 4 - Le record : 6 136 mètres, le 12 juillet 2013.

© Alain Dutrevis

avant la nuit) et épuisement des réserves d'eau. Fatigue prononcée, mais pas d'épuisement (Fig. 4). Le témoin parvient au sommet.

Retour de nuit au camp à 19 h 30. »

Le relevé des altitudes des différentes étapes (nuits) de l'expédition est donné sur la figure 5. Les valeurs correspondantes de FC et de saturation (ps) en oxygène tout au long de l'expédition sont présentées sur les figures 6 et 7.

Paul Baudry raconte :

« Le sujet greffé n'a pas plus souffert de

l'altitude que le témoin au repos. Il a même mieux supporté le passage de 3 800 mètres à 4 700 mètres d'altitude en J7. Hors événements contextuels (nausée du témoin le jour de l'arrivée au camp à 4 700 mètres en J7 et rhinopharyngite du greffé en J14), la ps O₂ du greffé est inférieure en moyenne d'environ 3 % (2 à 4 %) à celle du témoin (grand sportif). À 6 000 mètres, elle a été mesurée à 73 %.

Hors phénomène de fatigue, la fréquence cardiaque au repos du greffé est supérieure (25-30 bpm) à celle

du témoin, 85 à 90 contre 60 à 4 000 mètres ; 90 à 95 contre 65 à 70 à 4 700 mètres ; ce pour un même niveau d'acclimatation.

La FC max à l'effort n'a pas pu être mesurée systématiquement. Après la période d'acclimatation (> 15 jours), baisse de la FC max par rapport à celle observée au niveau de la mer, tant pour le greffé que pour le témoin. Elle était de 125 à 130 bpm pour le greffé au-dessus de 5 000 mètres, contre 155 à 150 pour le témoin. Au-dessus de 5 000 mètres, la FC du greffé était située autour de 105 (orthostatisme). Comparé au témoin, le greffé cardiaque disposait d'une réserve de FC (FC max - FC repos) beaucoup plus réduite, pouvant participer à sa limitation lors des efforts intenses. »

LES CONCLUSIONS

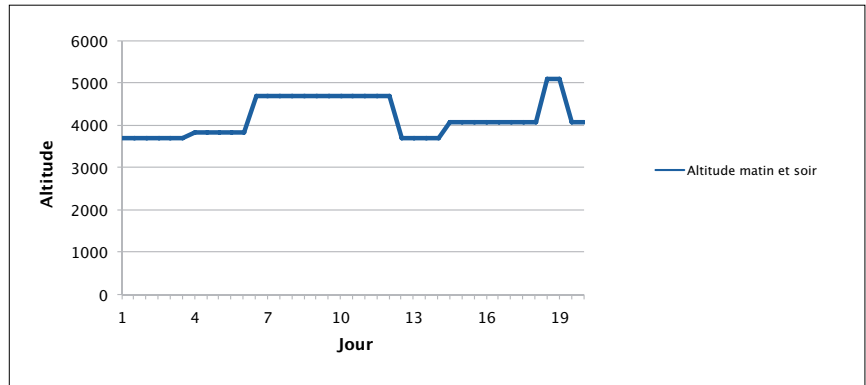
C'est possible ! Effectuée en douceur, de durée suffisante et avec des niveaux d'effort espacés et progressifs, la bonne acclimatation a permis au greffé du cœur de poursuivre un effort ascensionnel jusqu'à plus de 6 000 mètres.

Les conditions du succès ? Avant l'expédition, une préparation physique de longue durée et une acclimatation adéquate. Pendant l'expédition, hydratation, pauses régulières, absence de charge (sac porté par le compagnon).

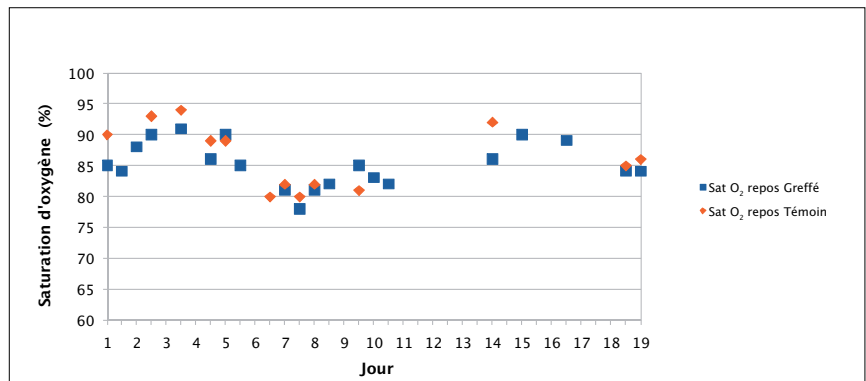
Le respect des capacités d'endurance a été la condition pour que l'ascension, même à vitesse très réduite, puisse être poursuivie (en fonction du degré de la pente). Illustration ici encore de la difficulté et de la portée de ce qu'il faut considérer comme un réel exploit, le dénivelé de 1 000 mètres (5 150 à 6 136 mètres) a été réalisé en 11 h 45, c'est-à-dire à une vitesse de... 90 m/h !



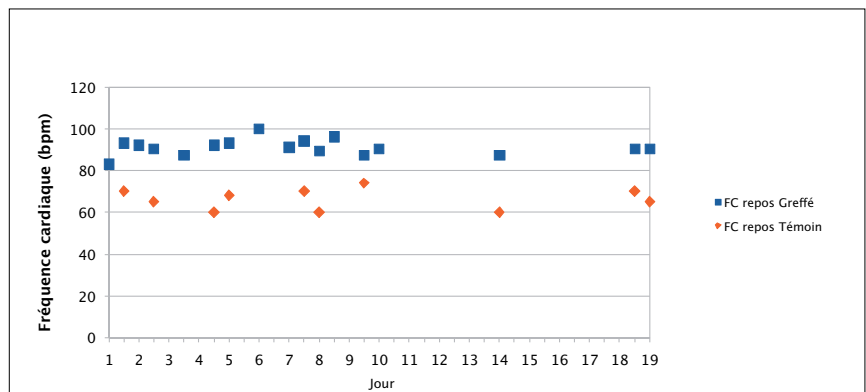
Merci à Paul pour cet exploit et pour avoir bien voulu nous le faire partager.



»» Figure 5 - Chronologie des altitudes des étapes de l'expédition.



»» Figure 6 - Variation de la pression de saturation d'oxygène du greffé et du témoin au repos (matin et soir).



»» Figure 7 - Variation de la fréquence cardiaque du greffé et du témoin au repos (matin et soir).

MOTS-CLÉS

Grefe cardiaque, Transplantation, Ascension Alpinisme, Fréquence cardiaque, Acclimatation

POUR EN SAVOIR PLUS

1. Bedard S. Bolivia 6000 m: achieving new heights after heart transplantation. *The Journal of Heart and Lung Transplantation* 2006 ; 25 : 160-1.