

La porte du fer

Ce que l'altitude ouvre, et ce qu'elle te prend pendant que tu dors

Tente d'hypoxie, chambre hypoxique, stage en montagne. Le principe est connu de tout le monde : on manque d'air, on fabrique des globules rouges. Ce dossier traite de ce que personne ne raconte, c'est-à-dire la facture. Fabriquer du sang neuf coûte du fer, et l'exposition hypoxique déclenche une hormone qui va ouvrir en grand la porte de ton intestin pour aller le chercher. Si rien n'attend derrière cette porte, ton corps se rembourse sur toi. Tu vas voir pourquoi la plupart des amateurs ne franchissent jamais le seuil d'exposition qui rend l'opération rentable, pourquoi le jour du retour est le seul matin de l'année où quatre marqueurs mentent en même temps, et pourquoi une hémoglobine qui monte ne prouve strictement rien.

TrainingPerf · Emmanuel Gutierrez · Consulting en performance biologique

Ce document est un contenu d'information physiologique. Il ne constitue pas un avis médical, ne remplace aucune consultation et ne recommande la prise d'aucune substance. Aucune supplémentation martiale ne se décide sans bilan et sans médecin : le fer mal indiqué est une charge pour le foie et un carburant pour la flore pathogène. Aucune posologie, aucune voie d'administration, aucune source ne figure dans ce document.

PARTIE 1

La dose que presque personne ne paye

Commençons par le mécanisme, parce qu'il est simple et que tout le reste en découle. Quand la pression en oxygène baisse, une protéine appelée facteur induit par l'hypoxie, le HIF, cesse d'être dégradée dans tes cellules. Elle se stabilise, elle s'accumule, et elle allume des gènes. Le plus important pour nous est celui de l'érythropoïétine, l'EPO, fabriquée par ton rein. Cette EPO part dans le sang, atteint ta moelle osseuse, et donne un ordre de production de globules rouges.

Le signal est rapide. En exposition continue, l'EPO plasmatique commence à monter dès la 90e minute. Elle culmine dans les 48 heures. Chez des cyclistes élite exposés à 2760 mètres, elle grimpe de 64,2 % après deux nuits. Et elle est déjà revenue à sa valeur de départ après une semaine. Retiens cette phrase, on va s'en servir trois fois dans ce dossier.

Le seuil d'exposition, chiffre

Voilà le point qui n'apparaît jamais dans les vidéos de matériel. L'adaptation hématologique n'est pas un interrupteur, c'est une dose. La littérature donne un minimum : plus de 12 heures par jour, pendant au moins 3 semaines, à une altitude réelle ou simulée de 2100 à 2500 mètres. En dessous, le stimulus existe mais l'adaptation mesurable ne suit pas.

Et il existe un taux de conversion, ce qui permet de faire une arithmétique que quasiment personne ne fait. La masse d'hémoglobine progresse d'environ 1,1 % par tranche de 100 heures d'exposition. C'est linéaire, c'est cumulatif, et ça se calcule sur un coin de table.

1	Le protocole de référence	Vivre à 2500 mètres 18 heures par jour, s'entraîner plus bas, pendant 24 jours. Cela fait 432 heures d'exposition, soit environ 4,8 % de masse d'hémoglobine en plus. C'est le protocole sur lequel les gains publiés ont été obtenus.
2	La tente de monsieur tout le monde	Dormir sous tente 8 heures par nuit pendant 3 semaines. Cela fait 168 heures, soit environ 1,8 %. Presque trois fois moins, et surtout sous le seuil des 12 heures par jour.
3	Ce que ça veut dire	Le cadre qui dort 7 à 8 heures sous sa tente n'atteint jamais la dose minimale décrite dans la littérature. Il subit l'intégralité du coût métabolique de l'opération, sans en obtenir le bénéfice hématologique.

La tente n'est pas en cause. C'est la dose qui n'y est pas, et la dose ne se négocie pas avec la bonne volonté.

Ce calcul explique une grande partie des déceptions. Il explique aussi pourquoi la même personne, avec le même matériel, obtient un résultat en stage encadré et rien du tout chez elle. La différence n'est ni génétique ni mystérieuse, elle est arithmétique. Et elle se corrige, à condition de savoir qu'elle existe.

PARTIE 2

L'erythroferrone, le chaînon qui manque partout

Un globule rouge, c'est avant tout de l'hémoglobine, et l'hémoglobine, c'est du fer. Donner à ta moelle l'ordre d'en fabriquer davantage revient à lui commander une matière première qu'elle ne produit pas. Le chiffre est brutal : le passage à l'altitude impose une multiplication par trois à cinq de la demande en fer érythropoïétique. Ce n'est pas une hausse marginale, c'est un changement de régime.

Ton organisme le sait, et il a une réponse. C'est là que le dossier bascule, parce que cette réponse est presque toujours absente des explications grand public.

D'abord, le videur

L'entrée du fer dans ton organisme est gardée par une hormone hépatique, l'hepcidine. Son mode d'action est mécanique et élégant : elle se fixe sur la ferroportine, qui est le seul canal permettant au fer de sortir des cellules de ton intestin et de tes macrophages vers le sang, et elle la fait dégrader. Hecidine haute, ferroportine détruite, porte fermée. Le fer que tu avales reste bloqué dans l'entérocyte et repart dans les selles.

Chez un sportif, cette porte est fermée la plupart du temps, et c'est une mauvaise nouvelle qui a une bonne raison. L'effort libère de l'interleukine 6, l'IL-6, qui commande la fabrication d'hepcidine. Pour un effort d'endurance mené entre 60 et 90 % de VO2 max, le pic d'hepcidine tombe environ 3 heures après la séance, et la fenêtre défavorable court sur les 3 à 6 heures qui suivent. L'ampleur est mesurée : chez des coureurs entraînés, l'absorption fractionnelle du fer chute d'environ 36 % après l'effort par rapport au repos. Détail contre-intuitif que peu de gens connaissent, la séance de musculation élève davantage l'hepcidine que la séance de vélo. Le sujet ne concerne donc pas que l'endurance longue.

Ensuite, l'inversion

En hypoxie, tout ce qui précède se retourne. L'EPO ne se contente pas de commander des globules rouges. Elle induit dans les érythroblastes de ta moelle la sécrétion d'une hormone découverte récemment, l'érythroferrone. Cette érythroferrone gagne le foie et supprime la production d'hepcidine par les hépatocytes. La ferroportine cesse d'être détruite, elle reste ouverte, et l'export du fer augmente sur les deux fronts : depuis les entérocytes du duodénum, et depuis les macrophages qui recyclent les vieux globules rouges.

La cinétique est rapide et documentée. La suppression de l'hepcidine s'observe en 1 à 2 jours. Deux semaines d'hypoxie normobare à 3000 mètres suffisent à écraser l'hepcidine de repos. Sur un protocole de trois semaines, l'hepcidine baisse de 13,0 % juste après l'intervention, et elle est encore abaissée trois jours après la redescende.

CE QUE CA CHANGE POUR TOI, ET QUI EST L'INVERSE DE CE QU'ON REPETE

L'exposition hypoxique est la période de ton année où ton intestin absorbe le fer le mieux. La formule qu'on lit partout, il faut charger avant et surtout pas pendant, mélange deux choses différentes et se trompe sur la seconde. Il faut distinguer proprement le stock, qui se construit sur des semaines en amont, et la fenêtre d'absorption, qui s'ouvre pendant l'exposition. Les recommandations internationales prévoient d'ailleurs un apport encadré avant et pendant. Encadré veut dire décidé par un médecin sur un statut martial mesuré, jamais en automédication.

Le piège : une porte ouverte sur un placard vide

Voilà le mécanisme complet de ce qui casse. Ton corps ouvre grand la porte parce qu'il a une facture de trois à cinq fois la normale à honorer. Si l'apport alimentaire ne suit pas, il ne renonce pas à la commande : il se sert ailleurs. Il mobilise tes réserves hépatiques et macrophagiques. Tu redescends avec une ferritine effondrée, une fatigue que tu attribues au stage, et un gain hématologique nul.

Et le mécanisme s'aggrave tout seul chez ceux qui en ont le moins les moyens. La régulation de l'hepcidine ne dépend pas que de l'érythroferrone, elle dépend largement du statut martial de base. Un athlète qui part avec des réserves basses subit une baisse compensatoire supplémentaire de son hepcidine dès les premiers jours d'exposition. Autrement dit, plus tu pars à sec, plus ton corps ouvre grand, et plus il ira puiser dans ce qui te reste.

Les non-répondeurs à l'altitude ne sont pas des cas génétiques. Ce sont très souvent des déficits martiaux que personne n'a lus avant le départ.

C'est pour cette raison que la littérature pose un plancher de réserves avant toute exposition, avec une ferritine sérique au-dessus de 30 à 50 microgrammes par litre. Nous verrons en partie 4 pourquoi ce seuil, pris tout seul, reste insuffisant à trancher.

PARTIE 3

Les quatre horloges

Nous arrivons au point qui décide de tout, et ce n'est pas quel marqueur tu demandes. C'est quel jour tu le demandes. Chaque marqueur de la réponse hypoxique a sa propre fenêtre, et ces fenêtres ne se recouvrent pas. Un même prélèvement, fait à deux dates différentes, ne raconte pas la même histoire, et rien sur le compte rendu ne t'avertira.

AXE (lu ensemble)	CE QUE CA REVELE	REPÈRE TP
EPO	Monte dès 90 minutes d'exposition, culmine à 48 heures, revenue à sa valeur de départ après une semaine. Plus 64,2 % après 2 nuits, plus aucune différence après 12 nuits.	Ne se dose que dans les 3 premiers jours. Après, un chiffre normal ne prouve rien.
Réticulocytes	Légèrement élevés aux jours 5 et 12. Retombés à la valeur de base au jour 20.	Fenêtre utile J4 à J12. C'est la seule preuve que la moelle a réellement répondu.
Masse d'hémoglobine	Ne bouge vraiment qu'à partir de la deuxième semaine. Plus 2,9 % à 11 jours, plus 3,5 % à 19 jours.	Se juge à partir de J14, et se mesure en masse, jamais en concentration.
Ferritine	Basse pendant tout le séjour, puis remonte dès la redescende au niveau de la mer.	Un chiffre pris au retour est artificiellement rassurant. Lecture en amont.

Le seul matin de l'année ou tout ment ensemble

Additionne les quatre lignes du tableau et regarde ce qui se passe le jour où l'athlète rentre chez lui, motivé, et passe au laboratoire pour vérifier que son stage a payé. Son EPO est retombée depuis deux semaines. Ses réticulocytes sont retombés depuis quelques jours. Sa ferritine est en train de remonter mécaniquement du seul fait qu'il est redescendu. Et son hémoglobine, nous allons le voir, est faussement bonne.

Il regarde un compte rendu où tout paraît normal, exactement le matin où plus rien n'est lisible. Il en conclut que tout va bien, et il repart s'entraîner sur un stock qu'il vient de vider. C'est l'un des pièges de datation les plus coûteux que nous voyons en cabinet, parce qu'il ne produit aucun signal d'alerte, seulement une fausse tranquillité.

La cinquième horloge, celle de ta course

Une fois l'adaptation obtenue, elle ne t'attend pas. La masse d'hémoglobine commence à décroître après 14 jours au niveau de la mer, et atteint son minimum autour de 30 jours. Le calendrier de course se construit donc à l'envers, en partant de la date de l'objectif, pas en partant des disponibilités de la salle ou des vacances scolaires. Un bloc d'altitude terminé cinq semaines avant l'échéance a payé son coût martial complet pour livrer un bénéfice largement dissipé.

PARTIE 4

Les trois façons dont ton bilan te ment

Nous entrons dans la partie qui sert au-delà du sujet de l'altitude. Ces trois pièges valent pour tout hémogramme d'athlète d'endurance, et chacun se désamorce avec une ligne que personne ne demande.

1. Une concentration n'est pas une quantité

C'est le piège le plus large, et le plus satisfaisant à comprendre. Ton hémoglobine est exprimée en grammes par décilitre. C'est une concentration, donc un rapport entre une quantité et un volume. Elle peut donc monter de deux façons : parce que tu as fabriqué de l'hémoglobine, ou parce que tu as perdu du plasma.

Or l'acclimatation à l'altitude fait précisément les deux, et la seconde arrive bien avant la première. L'exposition hypoxique provoque une contraction du volume plasmatique, mesurable en quelques jours, alors que la masse d'hémoglobine ne bouge qu'à partir de la deuxième semaine. L'athlète qui rentre et voit son hémoglobine passer de 14,6 à 15,7 en tire une conclusion triomphale. Une partie de ce

gain, parfois la totalité dans les premiers jours, est de l'eau en moins, pas du sang en plus.

Le seul juge honnête est la masse totale d'hémoglobine, mesurée par réinhalation de monoxyde de carbone, qui donne séparément la masse d'hémoglobine, le volume globulaire et le volume plasmatique. C'est la méthode utilisée dans toutes les études sérieuses citées dans ce dossier. Elle est confidentielle en pratique de terrain, et c'est justement pour cela qu'il faut savoir que le chiffre du laboratoire ne la remplace pas.

Le même raisonnement joue dans l'autre sens le reste de l'année : l'entraînement en endurance expand le volume plasmatique et dilue l'hémoglobine. C'est la pseudo-anémie de l'athlète, qui est une bonne adaptation et pas une maladie. Le test qui tranche gratuitement, sans aucun marqueur supplémentaire, c'est un contrôle après environ un mois sans charge d'endurance : si l'hémoglobine est remontée, c'était de la dilution ; si elle est restée au même niveau chez un sujet reposé, la baisse est réelle.

2. La ferritine est une protéine de l'inflammation

La ferritine n'est pas seulement une réserve de fer, c'est aussi une protéine de la phase aiguë. Elle monte avec l'inflammation, indépendamment de tes réserves réelles. Et c'est particulièrement pervers ici, puisque l'athlète fatigué qui consulte cumule presque toujours les deux, un stock bas et un terrain enflammé.

L'ampleur du biais est chiffrée, et ce n'est pas une nuance de bord : l'inflammation majore la ferritine d'environ 49,6 % quand on corrige sur la CRP, et d'environ 38,2 % quand on corrige sur l'alpha-1-glycoprotéine acide. C'est la moitié du chiffre. Les recommandations internationales en tirent la conséquence logique : en présence d'inflammation, le seuil qui définit la carence est relevé, à 30 ou 70 microgrammes par litre selon la population, au lieu du seuil habituel.

Deux conséquences pratiques. D'abord, un plancher pré-altitude de 30 à 50 microgrammes par litre ne veut rien dire tant qu'on ignore l'état inflammatoire du sujet : la même valeur peut être confortable chez l'un et signer un déficit chez l'autre. Ensuite, la ferritine doit être interprétée avec deux protéines de la phase aiguë, la CRP ultra-sensible et l'alpha-1-glycoprotéine acide, aussi appelée orosomucoïde. L'orosomucoïde est la ligne que personne ne demande, elle coûte quelques euros, et sans elle une ferritine ne se lit pas chez quelqu'un qui s'entraîne.

La ferritine ne se lit jamais seule. Elle se lit derrière l'inflammation, et à côté du flux.

3. L'hémolyse d'effort brouille le tableau martial

Troisième piège, et il concerne au premier chef les coureurs. L'effort casse des globules rouges. Sous la voûte plantaire, l'impact au sol en écrase mécaniquement à chaque foulée. Chez le cycliste et le rameur, la contrainte circulatoire et les vibrations produisent le même effet sans impact. Ce fer libéré dans la circulation vient artificiellement gonfler le fer sérique, donc le coefficient de saturation de la transferrine.

La règle de lecture qui en découle est nette, et elle prend à contre-pied le réflexe habituel. Devant un coefficient de saturation élevé chez un endurant, l'inflammation ne peut pas être l'explication, parce que l'inflammation abaisse le fer sérique par séquestration. Elle pousse dans l'autre sens. Restent l'effondrement du transporteur et l'hémolyse. En pratique, l'hémolyse est la cause dans l'immense majorité des cas, et elle se confirme sur le compte rendu lui-même.

Beaucoup de laboratoires impriment un indice d'hémolyse mesuré sur le compte rendu, et quasiment personne ne le lit. Il se lit avant de commenter un fer sérique, un LDH ou un potassium, et il vaut dans les deux sens. Indice élevé, la valeur est un artefact de prélèvement, on ne l'interprète pas, on refait le tube. Indice bas, le chiffre est vrai, et il mérite qu'on aille chercher d'où il vient au lieu de le balayer d'un

revers de main.

Corollaire utile pour arbitrer une ordonnance en autofinancement : l'hémoglobine glyquée mesure la glycation cumulée sur la durée de vie du globule rouge. L'endurance raccourcit cette durée de vie, donc l'HbA1c est structurellement sous-estimée chez l'endurant et ment dans le sens rassurant. C'est la ligne à sacrifier en premier si le budget serre, à condition d'avoir glycémie et insulinémie à jeun.

PARTIE 5

La grille TP : quoi demander, quand, comment le lire

Nous ne raisonnons jamais sur un marqueur isolé. La logique qui suit lit un stock, un flux, un contexte inflammatoire et une activité de moelle, dans cet ordre, parce que chacun conditionne l'interprétation du suivant.

AXE (lu ensemble)	CE QUE CA REVELE	REPERE TP
CRP ultra-sensible et orosomucoïde	Le contexte inflammatoire. Ces deux lignes se posent AVANT la ferritine, sinon la ferritine n'est pas interprétable. La CRP standard ne suffit pas, il faut l'ultra-sensible.	Se lisent en premier, toujours.
Ferritine	Le stock. Uniquement lisible une fois les deux lignes précédentes connues, avec un seuil relevé si le terrain est enflammé.	Plancher pré-exposition de 30 à 50 microgrammes par litre, à relever si inflammation.
Coefficient de saturation de la transferrine	Le flux. Il dit si le fer circule et se rend disponible, et pas seulement s'il est rangé quelque part. Un stock plein avec un flux bas est une séquestration, pas une réserve utile.	Jamais de fer sans avoir vu la saturation. Sans exception.
Réticulocytes	L'activité de la moelle. C'est la seule ligne qui dit si l'ordre a été exécuté ou seulement reçu.	Fenêtre utile J4 à J12 d'exposition.
Indice d'hémolyse	Imprimé gratuitement par beaucoup de laboratoires. Il valide ou invalide le fer sérique et le LDH avant toute interprétation.	Se lit avant la valeur qu'il conditionne.
Hepcidine	La ligne qui transforme une mesure d'état en arbre de décision. Rarement faite, disponible en laboratoire privé.	Voir l'arbre ci-dessous.

L'arbre de décision de l'hepcidine

C'est la ligne la plus rentable d'un panel martial chez un endurant, et elle n'est quasiment jamais demandée. Elle sépare deux situations qui donnent le même tableau apparent et appellent des conduites opposées.

A	Hepcidine haute avec réserves basses	La porte duodénale est fermée. L'inflammation de fond et la charge chronique bloquent l'absorption, et le sujet n'absorbera pas assez par voie orale quelle que soit la dose avalée. Empiler des comprimés ne sert à rien, le levier se déplace vers la charge d'entraînement, le terrain inflammatoire et la voie d'apport, qui relèvent du médecin.
B	Hepcidine basse avec réserves basses	L'absorption fonctionne. Donc si des semaines d'apport correct n'ont rien donné, ce n'est pas un problème d'entrée, c'est que le sujet PERD. Il faut alors chercher la fuite : saignement digestif, hémolyse, pertes menstruelles, et non augmenter l'apport.
C	Le cas altitude	L'hepcidine est basse parce que l'érythroferrone l'a supprimée. Ce n'est ni A ni B, c'est un état physiologique attendu et transitoire. Il ne s'interprète qu'en connaissant le nombre de jours écoulés depuis l'exposition, sans quoi on le confond avec le cas B.

LE CALENDRIER, EN TROIS TEMPS

T1	Six semaines avant de monter	Le bilan martial complet, à jeun, le matin, à distance d'au moins 48 heures d'une séance dure et de tout épisode infectieux. Six semaines, parce que c'est le délai qui laisse le temps de corriger quelque chose si le tableau est mauvais. Un bilan fait la veille du départ ne sert qu'à documenter le problème, pas à le régler.
T2	Pendant l'exposition	Rien à doser par soi-même. La seule chose qui compte est que l'apport alimentaire suive la commande passée à la moelle, et que le fer, s'il a été prescrit, soit pris à distance des séances dures plutôt que dans leur sillage inflammatoire.
T3	Quatre à six semaines après la descente	Pas le jour du retour. À cette distance, le volume plasmatique est revenu, l'hepcidine aussi, la ferritine a fini son rebond mécanique, et les chiffres redeviennent comparables à ceux de T1. C'est la seule comparaison qui a un sens.

Ce que l'antidopage regarde, et pourquoi ça t'apprend à lire

Le module hématologique du passeport biologique ne cherche pas une molécule, il cherche une incohérence de dynamique. Le principe est instructif même quand on ne se dope pas, parce qu'il enseigne exactement la lecture que nous venons de décrire.

Un corps qui produit suit un ordre imposé par la biologie : les globules rouges neufs, donc les réticulocytes, montent d'abord, et la masse d'hémoglobine suit ensuite. Un corps qui reçoit de l'extérieur produit une signature différente : à l'arrêt de l'apport, l'hémoglobine reste haute pendant que la production endogène, donc les réticulocytes, s'effondre. C'est ce découplage que les scores du passeport quantifient.

La leçon pour toi est simple et elle vaut pour n'importe quel bilan. Un chiffre isolé sur la lignée rouge est aveugle au mécanisme. C'est la trajectoire de plusieurs marqueurs qui dialoguent qui dit la vérité, jamais une valeur seule un matin donné.

LES QUATRE PHRASES A RETENIR

1	La dose avant l'intention	Plus de 12 heures par jour, 3 semaines, 2100 à 2500 mètres. En dessous, tu payes la facture martiale sans acheter l'adaptation.
2	La porte s'ouvre pendant	L'érythroferrone supprime l'hepcidine en 1 à 2 jours. Le stock se construit avant, la fenêtre d'absorption s'ouvre pendant. Les deux sont distincts.
3	La date commande le chiffre	Quatre marqueurs, quatre fenêtres qui ne se recouvrent pas. Le jour du retour est le seul matin où ils mentent tous ensemble.
4	Une concentration n'est pas une quantité	Une hémoglobine qui monte au retour d'altitude peut n'être que du plasma en moins. Le stock se lit avec l'inflammation, le flux et l'activité de moelle en face.

Et maintenant, on part de toi.

Ce dossier t'a montré le mécanisme. Mais le mécanisme général, ce n'est pas ton corps. La vraie question, c'est ce que TA biologie raconte.

BioScan · offert.

Ta cartographie sur 5 axes, 10 minutes depuis ton téléphone, sans carte bleue. Le point de départ.

trainingperf.fr/bioscan

Décodage Performance · 197€ ou 3x66€.

Tu as déjà des analyses ? Je les lis vraiment, ligne par ligne. Protocole applicable inclus.

trainingperf.fr/decodage-performance

Bilan Performance · 697€ ou 3x232€.

La vue complète : 4 analyses qui dialoguent (biologie, posture, biomécanique, composition). Kit envoyé chez toi.

trainingperf.fr/bilan-performance

« C'est pas dans ta tête. C'est dans ta biologie. »

Emmanuel · TrainingPerf

Ce document est éducatif et ne constitue pas un avis médical. Les ranges fonctionnels TP diffèrent des ranges labo standards et sont issus de la pratique clinique TrainingPerf. Parles-en à ton médecin ; ce guide ne se substitue pas à une consultation ni à un suivi par un professionnel diplômé.

TrainingPerf : précision clinique par la biologie. Cabinet de consulting en performance biologique premium, France. trainingperf.fr