



Déclic

PHYSIOLOGIE INTÉGRÉE

Grands équilibres · Homéostasie · Régulations

PARCOURS : Préparation EIDE

AUTEUR : Anaïs - Daranjo - IDE

DATE : Juin 2026

1. Objectifs du chapitre

À la fin de ce chapitre, tu dois être capable de :

- comprendre que l'organisme fonctionne grâce à plusieurs équilibres coordonnés ;
- expliquer l'équilibre hydrique ;
- différencier apports et pertes d'eau ;
- comprendre le rôle de la soif, de l'ADH, du rein et du sodium ;
- expliquer l'équilibre électrolytique ;
- connaître le rôle du sodium, du potassium, du calcium, du magnésium et du chlore ;
- comprendre l'équilibre acido-basique ;
- expliquer le rôle du pH sanguin, des systèmes tampons, des poumons, des reins, des bicarbonates et du CO_2 ;
- comprendre l'équilibre thermique ;
- différencier production de chaleur, perte de chaleur, fièvre, hypothermie et hyperthermie ;
- expliquer le rôle de l'hypothalamus dans la thermorégulation ;
- comprendre l'équilibre glycémique ;
- expliquer le rôle de l'insuline, du glucagon, du foie, du muscle et du tissu adipeux ;
- faire le lien entre les grands systèmes physiologiques dans le maintien de l'homéostasie.

Introduction générale

Ce chapitre est un chapitre de synthèse.

Jusqu'ici, chaque système a été étudié séparément : système nerveux, cardiovasculaire, respiratoire, rénal, digestif, endocrinien, immunitaire, tégumentaire, musculaire, etc.

Mais dans le corps humain, aucun système ne fonctionne seul.

Le corps maintient la vie grâce à plusieurs grands équilibres :

- équilibre hydrique ;
- équilibre électrolytique ;
- équilibre acido-basique ;
- équilibre thermique ;
- équilibre glycémique.

Ces équilibres sont des exemples majeurs d'homéostasie.

L'homéostasie correspond à la capacité de l'organisme à maintenir son milieu intérieur dans des limites compatibles avec la vie.

Le corps ne cherche pas une immobilité parfaite.

Il cherche une stabilité dynamique.

Cela signifie que les valeurs biologiques peuvent varier, mais restent normalement dans une zone contrôlée.

Exemples :

- la température augmente un peu à l'effort, puis redescend ;
- la glycémie augmente après un repas, puis revient vers l'équilibre ;
- le CO_2 augmente si on respire moins, puis stimule la ventilation ;
- la diurèse diminue si on manque d'eau ;
- le potassium est éliminé davantage s'il augmente dans le sang.

Chaque équilibre repose sur trois éléments :

1. des capteurs ;
2. des centres de régulation ;
3. des effecteurs.

Exemple :

Pour l'équilibre hydrique :

- capteurs : osmorécepteurs, barorécepteurs ;
- centre : hypothalamus ;
- effecteurs : soif, ADH, reins.

Pour l'équilibre thermique :

- capteurs : thermorécepteurs ;
- centre : hypothalamus ;
- effecteurs : peau, vaisseaux, muscles, comportement.

Pour l'équilibre glycémique :

- capteur : pancréas endocrine ;
- centre hormonal : cellules bêta et alpha ;
- effecteurs : foie, muscle, tissu adipeux.

Ce chapitre doit donc être compris comme une carte des grands liens physiologiques du corps.

21.1. Équilibre hydrique

2. Définition

L'équilibre hydrique correspond à l'équilibre entre les apports et les pertes d'eau.

Le corps doit maintenir une quantité d'eau suffisante pour assurer :

- le volume sanguin ;
- la pression artérielle ;
- la perfusion des organes ;
- les échanges cellulaires ;
- le transport des nutriments ;
- l'élimination des déchets ;
- la thermorégulation ;
- l'équilibre électrolytique ;
- l'équilibre acido-basique.

L'eau est présente dans plusieurs compartiments :

- liquide intracellulaire ;
- liquide interstitiel ;
- plasma ;
- lymphe ;
- liquides transcellulaires.

L'équilibre hydrique dépend fortement du sodium, car le sodium est le principal ion du compartiment extracellulaire.

L'eau suit les gradients osmotiques.

Donc, contrôler l'eau revient souvent à contrôler aussi le sodium et l'osmolarité.

3. Deux notions importantes : osmolarité et volémie

Pour comprendre l'équilibre hydrique, il faut distinguer deux grandes informations surveillées par le corps :

- l'osmolarité ;
- la volémie.

L'osmolarité correspond à la concentration du plasma en particules dissoutes.

La volémie correspond au volume de sang circulant.

Notion	Question physiologique
Osmolarité	Le plasma est-il trop concentré ou trop dilué ?
Volémie	Y a-t-il assez de volume circulant dans les vaisseaux ?

Ces deux paramètres sont liés, mais différents.

Exemple :

Une personne peut perdre de l'eau pure : le plasma devient plus concentré.

Une personne peut perdre du sang : la volémie baisse, même si l'osmolarité ne change pas immédiatement de la même manière.

Le corps doit donc surveiller à la fois la concentration et le volume.

Apports

4. Apports hydriques

Les apports d'eau viennent principalement de :

- boissons ;
- aliments ;
- eau produite par le métabolisme.

Les boissons représentent la source principale.

Les aliments contiennent aussi de l'eau, en particulier :

- fruits ;

- légumes ;
- soupes ;
- laitages ;
- certains plats cuisinés.

L'eau métabolique est produite lors de l'oxydation des nutriments.

Elle représente une petite partie des apports.

5. Adaptation des apports

Les besoins en eau augmentent dans certaines situations :

- chaleur ;
- effort physique ;
- fièvre ;
- transpiration importante ;
- diarrhée ;
- vomissements ;
- brûlures ;
- allaitement ;
- hyperglycémie avec diurèse osmotique ;
- certains traitements ;
- respiration rapide ;
- atmosphère sèche.

Les besoins diminuent rarement de manière simple, mais les apports doivent parfois être contrôlés dans certaines situations médicales, comme certaines insuffisances cardiaques, rénales ou hyponatrémies, selon prescription.

Pertes

6. Pertes hydriques normales

Le corps perd de l'eau chaque jour par plusieurs voies.

Voie	Type de perte
Urines	principale voie variable
Peau	transpiration + pertes insensibles
Poumons	vapeur d'eau expirée
Selles	pertes digestives
Métabolisme	pertes liées aux sécrétions et échanges

Le rein est la principale voie d'ajustement.

Si le corps doit garder l'eau, les urines diminuent et se concentrent.

Si le corps doit éliminer l'eau, les urines augmentent et se diluent.

7. Pertes insensibles

Les pertes insensibles sont les pertes d'eau non directement visibles.

Elles se font par :

- peau ;
- respiration.

Elles augmentent en cas de :

- fièvre ;
- chaleur ;
- respiration rapide ;
- brûlure ;
- prématurité ;
- ventilation importante ;
- air sec.

Ces pertes sont importantes car elles peuvent provoquer une déshydratation sans pertes évidentes comme diarrhée ou vomissements.

8. Pertes digestives

Les pertes digestives peuvent devenir importantes en cas de :

- vomissements ;
- diarrhée ;
- fistule digestive ;
- aspiration gastrique ;
- stomie très productive ;
- syndrome de malabsorption.

Elles peuvent entraîner une perte :

- d'eau ;
- de sodium ;
- de potassium ;
- de bicarbonates ou de chlore selon le type de perte ;
- d'acides selon le contexte.

Une diarrhée importante peut provoquer une déshydratation et des troubles électrolytiques.

Des vomissements prolongés peuvent provoquer une perte d'acide chlorhydrique et perturber l'équilibre acido-basique.

Soif

9. Définition

La soif est un mécanisme comportemental qui pousse à boire.

Elle est contrôlée principalement par l'hypothalamus.

La soif est un moyen d'augmenter les apports d'eau.

Elle complète l'action rénale.

Le rein peut économiser l'eau, mais il ne peut pas créer de l'eau à partir de rien en quantité suffisante.

La soif permet donc de restaurer les apports.

10. Déclencheurs de la soif

La soif est stimulée par :

- augmentation de l'osmolarité plasmatique ;
- baisse de volémie ;
- baisse de pression artérielle ;
- sécheresse buccale ;
- angiotensine II ;
- chaleur ;
- effort ;
- pertes digestives ;
- fièvre.

L'angiotensine II, produite lors de l'activation du système rénine-angiotensine-aldostérone, stimule la soif.

C'est logique : si la pression ou le volume baisse, le corps cherche à augmenter les apports d'eau.

11. Soif et personnes âgées

Avec l'âge, la sensation de soif peut diminuer.

Cela augmente le risque de déshydratation.

La personne âgée peut aussi avoir :

- accès limité à l'eau ;
- troubles cognitifs ;
- peur d'uriner ;
- dépendance ;
- traitements diurétiques ;
- baisse de concentration des urines ;
- maladies aiguës.

L'équilibre hydrique devient donc plus fragile.

ADH

12. Définition

L'ADH est l'hormone antidiurétique.

Elle est aussi appelée vasopressine.

Elle est produite par l'hypothalamus et libérée par l'hypophyse postérieure.

Son rôle principal est de conserver l'eau.

Elle agit surtout sur les tubes collecteurs du rein.

13. Effet de l'ADH

L'ADH rend le tube collecteur plus perméable à l'eau.

Elle provoque l'insertion d'aquaporines dans les cellules du tube collecteur.

Les aquaporines sont des canaux à eau.

Grâce à elles, l'eau peut sortir du tubule et retourner vers le sang.

Résultat :

- la diurèse diminue ;
- les urines deviennent plus concentrées ;
- l'eau est conservée ;
- l'osmolarité plasmatique peut diminuer vers la normale.

14. Quand l'ADH augmente

L'ADH augmente lorsque :

- l'osmolarité plasmatique augmente ;
- la volémie baisse ;
- la pression artérielle baisse ;
- il existe une déshydratation ;
- il existe une douleur, un stress ou des nausées selon contexte.

Le stimulus le plus fin est l'osmolarité.

Mais en cas de baisse importante de volume ou de pression, le corps peut sécréter de l'ADH même si l'osmolarité n'est pas le problème principal.

15. Quand l'ADH diminue

L'ADH diminue lorsque :

- le plasma est trop dilué ;
- l'osmolarité baisse ;
- les apports d'eau sont élevés ;
- le corps doit éliminer l'excès d'eau.

Résultat :

- le tube collecteur devient moins perméable à l'eau ;
- l'eau reste dans l'urine ;
- les urines sont plus diluées ;
- la diurèse augmente.

Rein

16. Le rein comme effecteur principal

Le rein est l'organe central de l'équilibre hydrique.

Il ajuste :

- volume des urines ;
- concentration des urines ;
- excrétion du sodium ;
- excrétion de l'eau ;
- réponse à l'ADH ;
- réponse à l'aldostérone ;
- réponse aux peptides natriurétiques.

Le rein peut produire des urines très diluées ou très concentrées selon les besoins.

17. Concentrer ou diluer les urines

Pour concentrer les urines, il faut :

- un gradient médullaire créé par l'anse de Henle ;

- de l'ADH ;
- un tube collecteur perméable à l'eau ;
- une fonction rénale suffisante.

Pour diluer les urines, il faut :

- peu d'ADH ;
- un tube collecteur peu perméable à l'eau ;
- une capacité rénale à éliminer l'eau libre.

Une atteinte rénale peut donc perturber la capacité à gérer l'eau.

Sodium

18. Rôle du sodium dans l'eau corporelle

Le sodium est le principal ion extracellulaire.

Il attire l'eau dans le compartiment extracellulaire.

Il influence :

- osmolarité ;
- volume extracellulaire ;
- volémie ;
- pression artérielle ;
- œdèmes ;
- hydratation cellulaire.

Quand le sodium est retenu, l'eau a tendance à être retenue aussi.

Quand le sodium est perdu, l'eau peut être perdue avec lui.

19. Sodium et aldostérone

L'aldostérone favorise la réabsorption de sodium par le rein.

Elle agit surtout au niveau du tube distal et du tube collecteur.

Quand le sodium est réabsorbé, l'eau peut suivre selon la perméabilité du segment et l'état hormonal.

L'aldostérone participe donc à :

- maintien de la volémie ;
- pression artérielle ;
- équilibre sodium/potassium.

20. Déséquilibres hydriques : logique générale

Situation	Mécanisme général	Réponse attendue
Déshydratation	manque d'eau ou pertes excessives	soif + ADH + urines concentrées
Hyperhydratation	excès d'eau	ADH basse + urines diluées
Hypovolémie	baisse du volume circulant	sympathique + SRAA + ADH
Rétention hydrosodée	excès sodium/eau	œdèmes possibles
Hyponatrémie	sodium plasmatique bas relatif à l'eau	risque entrée d'eau dans cellules
Hypernatrémie	sodium plasmatique élevé relatif à l'eau	risque sortie d'eau des cellules

Les troubles de l'eau et du sodium sont très liés au cerveau, car les cellules cérébrales sont sensibles aux mouvements d'eau.

21. Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma équilibre hydrique : apports d'eau + pertes d'eau ; si osmolarité augmente soif + ADH rein réabsorbe l'eau ; si excès d'eau ADH diminue urines diluées.

21.2. Équilibre électrolytique

22. Définition

L'équilibre électrolytique correspond au maintien de concentrations adaptées en ions dans les liquides corporels.

Les électrolytes sont indispensables à :

- équilibre hydrique ;

- potentiel de membrane ;
- contraction musculaire ;
- contraction cardiaque ;
- transmission nerveuse ;
- coagulation ;
- pH ;
- os ;
- métabolisme énergétique ;
- activité enzymatique.

Les principaux électrolytes à connaître sont :

- sodium ;
- potassium ;
- calcium ;
- magnésium ;
- chlore.

Chaque ion possède une répartition et une fonction spécifiques.

23. Compartiments et électrolytes

Les ions ne sont pas répartis de manière identique entre intérieur et extérieur des cellules.

Ion	Compartiment principal
Sodium	extracellulaire
Potassium	intracellulaire
Calcium	surtout os, très régulé dans le sang
Magnésium	intracellulaire et os
Chlore	extracellulaire

Cette répartition est maintenue par les membranes cellulaires, les pompes, les canaux, les transporteurs, les reins et les hormones.

Sodium

24. Définition

Le sodium, Na^+ , est le principal cation du liquide extracellulaire.

Il est central dans :

- osmolarité ;
- volume extracellulaire ;
- pression artérielle ;
- équilibre hydrique ;
- transmission nerveuse ;
- contraction musculaire.

Le sodium n'est pas seulement un "sel".

C'est un déterminant majeur du milieu extracellulaire.

25. Régulation du sodium

Le sodium est régulé surtout par :

- reins ;
- aldostérone ;
- système rénine-angiotensine-aldostérone ;
- peptides natriurétiques ;
- ADH indirectement via l'eau ;
- apports alimentaires ;
- pertes digestives ou cutanées.

Le rein décide combien de sodium conserver ou éliminer.

26. Sodium et eau

Le sodium attire l'eau.

Une rétention de sodium favorise une rétention d'eau.

Une perte de sodium peut entraîner une perte de volume extracellulaire.

Mais la natrémie dépend aussi de la quantité d'eau.

Une hyponatrémie signifie souvent un excès relatif d'eau par rapport au sodium, pas simplement un manque de sodium total.

27. Sodium et système nerveux

Les neurones dépendent des gradients de sodium pour générer les potentiels d'action.

Une variation importante de sodium plasmatique peut perturber le cerveau.

Cela peut provoquer selon la gravité :

- céphalées ;
- confusion ;
- troubles de vigilance ;
- convulsions ;
- coma.

Potassium

28. Définition

Le potassium, K^+ , est le principal cation intracellulaire.

Il est essentiel au potentiel de membrane.

Il est particulièrement important pour :

- cœur ;
- muscles ;
- neurones.

La concentration de potassium dans le sang est faible par rapport à la quantité totale de potassium du corps.

Une petite variation de la kaliémie peut donc être dangereuse.

29. Régulation du potassium

Le potassium est régulé par :

- reins ;
- aldostérone ;
- équilibre acido-basique ;
- insuline ;
- catécholamines ;
- apports alimentaires ;
- pertes digestives ;
- destruction cellulaire ;
- fonction rénale.

Le rein est l'organe principal d'élimination du potassium.

L'aldostérone augmente l'excrétion rénale du potassium.

L'insuline favorise l'entrée du potassium dans les cellules.

30. Potassium et cœur

Le cœur est très sensible à la kaliémie.

Une hyperkaliémie peut perturber la conduction et provoquer des troubles du rythme graves.

Une hypokaliémie peut aussi provoquer des troubles du rythme, une faiblesse musculaire et des anomalies électriques.

Le potassium est donc un ion critique.

31. Potassium et pH

Le potassium est lié à l'équilibre acido-basique.

En acidose, le potassium peut avoir tendance à sortir des cellules selon le type d'acidose.

En alcalose, le potassium peut entrer davantage dans les cellules.

Cela influence la kaliémie.

Le rein ajuste aussi l'élimination de H^+ et K^+ selon les besoins.

Calcium

32. Définition

Le calcium, Ca^{2+} , est un ion essentiel.

La majorité du calcium corporel est stockée dans l'os.

Une petite partie circule dans le sang.

Le calcium sanguin existe sous plusieurs formes :

- calcium ionisé ;
- calcium lié à l'albumine ;
- calcium complexé.

Le calcium ionisé est la forme biologiquement active.

33. Rôles du calcium

Le calcium participe à :

- contraction musculaire ;
- contraction cardiaque ;
- coagulation ;
- transmission synaptique ;
- libération de neurotransmetteurs ;
- signalisation cellulaire ;
- minéralisation osseuse ;
- excitabilité neuromusculaire.

Une baisse du calcium ionisé augmente l'excitabilité neuromusculaire.

Une hausse importante peut perturber le système nerveux, le rein, le cœur et le tube digestif.

34. Régulation du calcium

Le calcium est régulé par :

- parathormone ;
- vitamine D active ;
- reins ;
- intestin ;
- os ;
- calcitonine de manière plus secondaire.

Si la calcémie baisse :

- PTH augmente ;
- rein retient plus de calcium ;
- vitamine D active augmente ;
- intestin absorbe plus de calcium ;
- os peut libérer du calcium si nécessaire.

35. Calcium et albumine

Une partie du calcium sanguin est liée à l'albumine.

Si l'albumine diminue, le calcium total mesuré peut diminuer, même si le calcium ionisé reste normal.

C'est pourquoi l'interprétation du calcium dépend parfois de l'albumine et du contexte.

Magnésium

36. Définition

Le magnésium, Mg^{2+} , est un ion majoritairement intracellulaire.

Il est aussi présent dans l'os.

Il intervient dans de très nombreuses réactions enzymatiques.

Il est indispensable au métabolisme de l'ATP.

37. Rôles du magnésium

Le magnésium participe à :

- fonctionnement enzymatique ;

- métabolisme énergétique ;
- stabilité neuromusculaire ;
- rythme cardiaque ;
- régulation du potassium ;
- régulation du calcium ;
- synthèse protéique ;
- fonction musculaire ;
- fonction nerveuse.

Une hypomagnésémie peut favoriser ou entretenir une hypokaliémie ou une hypocalcémie.

38. Régulation du magnésium

Le magnésium dépend de :

- apports alimentaires ;
- absorption intestinale ;
- reins ;
- pertes digestives ;
- médicaments ;
- état nutritionnel.

Les reins jouent un rôle important dans son élimination ou sa conservation.

Chlore

39. Définition

Le chlore, Cl^- , est le principal anion du liquide extracellulaire.

Il accompagne souvent le sodium.

Il participe à :

- électroneutralité ;
- osmolarité ;
- équilibre acido-basique ;
- acidité gastrique ;
- transport des ions.

40. Chlore et acidité gastrique

Le chlore est nécessaire à la production d'acide chlorhydrique dans l'estomac.

L'acide chlorhydrique participe :

- à la digestion des protéines ;
- à l'activation de la pepsine ;
- à la défense antimicrobienne digestive.

Des pertes importantes de chlore, par exemple par vomissements prolongés, peuvent perturber l'équilibre acido-basique.

41. Chlore et pH

Le chlore est lié à l'équilibre acido-basique.

Il intervient dans des échanges avec les bicarbonates.

Certaines pertes digestives ou rénales de chlore peuvent favoriser des troubles du pH.

L'interprétation du chlore se fait donc souvent avec :

- sodium ;
- potassium ;
- bicarbonates ;
- pH ;
- contexte clinique.

42. Tableau récapitulatif des électrolytes

Ion	Rôle majeur	Organe/régulation dominante
Sodium	eau extracellulaire, pression, nerfs	rein, aldostérone, ADH indirecte
Potassium	cœur, muscle, potentiel de membrane	rein, aldostérone, insuline
Calcium	os, coagulation, contraction, nerfs	PTH, vitamine D, os, rein, intestin

Ion	Rôle majeur	Organe/régulation dominante
Magnésium	enzymes, ATP, cœur, nerfs	rein, intestin, nutrition
Chlore	osmolarité, acidité gastrique, pH	rein, tube digestif, équilibre HCO_3^-

43. Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma cellule/milieu extracellulaire : Na^+ surtout dehors, K^+ surtout dedans, Ca^{2+} très bas dans le cytoplasme, Cl^- surtout dehors, avec pompe Na^+/K^+ .

21.3. Équilibre acido-basique

44. Définition

L'équilibre acido-basique correspond au maintien du pH sanguin dans une zone compatible avec la vie.

Le pH sanguin normal est maintenu dans des limites très étroites.

Une variation importante du pH perturbe :

- enzymes ;
- protéines ;
- cœur ;
- cerveau ;
- respiration ;
- potassium ;
- contraction musculaire ;
- métabolisme cellulaire.

Le corps doit donc contrôler en permanence les acides et les bases.

pH sanguin

45. Définition du pH

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une solution.

Plus le pH est bas, plus la solution est acide.

Plus le pH est élevé, plus la solution est alcaline.

Le sang doit rester légèrement alcalin.

Une baisse du pH correspond à une acidose.

Une hausse du pH correspond à une alcalose.

46. Pourquoi le pH est vital

Les enzymes et les protéines ont besoin d'un pH adapté pour fonctionner.

Si le pH change trop :

- la forme des protéines peut être modifiée ;
- les enzymes fonctionnent moins bien ;
- l'excitabilité nerveuse change ;
- le rythme cardiaque peut être perturbé ;
- les échanges ioniques sont modifiés ;
- la contractilité cardiaque peut diminuer ;
- la conscience peut être altérée.

Le pH est donc une variable vitale.

Systèmes tampons

47. Définition

Un système tampon est un système chimique capable de limiter les variations de pH.

Il capte ou libère des ions H^+ pour éviter les changements brutaux.

Les systèmes tampons agissent immédiatement.

Ils ne corrigent pas totalement la cause du trouble, mais ils amortissent la variation.

48. Principaux tampons

Les principaux systèmes tampons sont :

- système bicarbonate/acide carbonique ;
- hémoglobine ;
- protéines plasmatiques ;
- phosphates ;
- tampons intracellulaires ;
- ammonium dans l'urine.

Le système bicarbonate est le plus important dans le plasma.

49. Tampon bicarbonate

Le système bicarbonate est central car il relie les poumons et les reins.

Équation simplifiée :



Cette équation montre que :

- le CO_2 est lié à l'acidité ;
- les bicarbonates tamponnent les ions H^+ ;
- les poumons contrôlent le CO_2 ;
- les reins contrôlent les bicarbonates et les H^+ .

Poumons

50. Rôle des poumons

Les poumons régulent rapidement le pH en contrôlant le CO_2 .

Le CO_2 est un acide volatil.

Il peut être éliminé par la respiration.

Si le corps ventile plus, il élimine plus de CO_2 .

Si le corps ventile moins, le CO_2 s'accumule.

51. Hyperventilation

L'hyperventilation élimine davantage de CO_2 .

Conséquence :

- CO_2 diminue ;
- H^+ diminue ;
- pH augmente.

Si excessive, cela peut provoquer une alcalose respiratoire.

52. Hypoventilation

L'hypoventilation élimine moins de CO_2 .

Conséquence :

- CO_2 augmente ;
- H^+ augmente ;
- pH diminue.

Cela peut provoquer une acidose respiratoire.

53. Compensation respiratoire

Les poumons peuvent compenser rapidement certains troubles métaboliques.

Exemple :

En acidose métabolique, le pH baisse.

Le corps augmente la ventilation pour éliminer du CO_2 .

Cela aide à faire remonter le pH.

Cette compensation est rapide, mais elle ne remplace pas la correction de la cause.

Reins

54. Rôle des reins

Les reins régulent le pH plus lentement mais durablement.

Ils peuvent :

- réabsorber les bicarbonates filtrés ;
- produire de nouveaux bicarbonates ;
- sécréter des ions H^+ ;
- éliminer des acides fixes ;
- utiliser des tampons urinaires comme phosphate et ammonium.

Les reins contrôlent donc la partie métabolique de l'équilibre acido-basique.

55. Réabsorption des bicarbonates

Les bicarbonates filtrés par le glomérule doivent être réabsorbés.

Sinon, le corps perdrait sa réserve tampon.

Le tube proximal réabsorbe la majorité des bicarbonates.

56. Sécrétion des ions H^+

Le rein sécrète des ions H^+ dans les urines.

Cela permet d'éliminer l'excès d'acide.

Les cellules intercalaires du tube collecteur jouent un rôle important.

En acidose, le rein augmente l'excrétion de H^+ et la production d'ammonium.

Bicarbonates

57. Définition

Les bicarbonates, HCO_3^- , sont des bases importantes du plasma.

Ils tamponnent les ions H^+ .

Ils sont régulés principalement par les reins.

Une baisse des bicarbonates peut traduire ou accompagner une acidose métabolique.

Une augmentation des bicarbonates peut traduire ou accompagner une alcalose métabolique.

58. Bicarbonates et compensation

Les bicarbonates augmentent ou diminuent selon les troubles.

Exemple :

En acidose respiratoire chronique, les reins peuvent retenir davantage de bicarbonates pour compenser l'excès de CO_2 .

En alcalose respiratoire chronique, les reins peuvent éliminer davantage de bicarbonates.

CO_2

59. Définition

Le CO_2 est produit par le métabolisme cellulaire.

Il est transporté par le sang vers les poumons.

Il est éliminé par la ventilation.

La $PaCO_2$ reflète l'équilibre entre :

- production de CO_2 par les cellules ;
- élimination du CO_2 par les poumons.

60. CO_2 et ventilation

Si la ventilation alvéolaire diminue, le CO_2 augmente.

Si la ventilation alvéolaire augmente, le CO_2 baisse.

Le CO_2 est donc très dépendant de la ventilation.

Il est le principal stimulus chimique de la ventilation dans les conditions habituelles.

61. Les quatre grands troubles acido-basiques

Trouble	Mécanisme principal
Acidose respiratoire	CO ₂ augmente par hypoventilation
Alcalose respiratoire	CO ₂ baisse par hyperventilation
Acidose métabolique	bicarbonates bas ou acides augmentés
Alcalose métabolique	bicarbonates élevés ou perte d'acides

Le corps tente de compenser avec l'autre système.

Si le trouble est respiratoire, le rein compense.

Si le trouble est métabolique, les poumons compensent.

62. Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma équilibre acido-basique : CO₂ contrôlé par poumons, HCO₃⁻ et H⁺ contrôlés par reins, système tampon au centre.

21.4. Équilibre thermique

63. Définition

L'équilibre thermique correspond au maintien d'une température corporelle compatible avec le fonctionnement cellulaire.

Le corps produit de la chaleur et en perd en permanence.

La température dépend donc de l'équilibre entre :

- production de chaleur ;
- perte de chaleur.

L'hypothalamus est le centre principal de thermorégulation.

Production de chaleur

64. Métabolisme

Le corps produit de la chaleur grâce au métabolisme cellulaire.

Même au repos, les organes produisent de la chaleur.

Les principaux producteurs de chaleur sont :

- foie ;
- muscles ;
- cœur ;
- cerveau ;
- reins ;
- tissu adipeux brun selon contexte.

Une partie de l'énergie produite par les cellules est transformée en ATP.

Une autre partie est libérée sous forme de chaleur.

65. Muscle

Les muscles produisent beaucoup de chaleur pendant l'activité.

Pendant l'effort, la température corporelle peut augmenter.

En cas de froid, les frissons sont des contractions musculaires involontaires destinées à produire de la chaleur.

Le muscle est donc un acteur majeur de la thermorégulation.

66. Hormones thyroïdiennes

Les hormones thyroïdiennes augmentent le métabolisme basal.

Elles favorisent la production de chaleur.

En hyperthyroïdie, il peut y avoir :

- intolérance à la chaleur ;
- sueurs ;
- thermogénèse augmentée.

En hypothyroïdie, il peut y avoir :

- frilosité ;
- thermogenèse diminuée ;
- ralentissement métabolique.

Perte de chaleur

67. Mécanismes de perte

Le corps perd de la chaleur par plusieurs mécanismes.

Mécanisme	Explication
Radiation	perte de chaleur vers l'environnement sans contact
Conduction	transfert par contact direct
Convection	transfert par mouvement d'air ou d'eau
Évaporation	perte de chaleur par évaporation de la sueur

La peau est l'organe principal d'échange thermique avec l'extérieur.

68. Vasodilatation cutanée

Quand le corps doit perdre de la chaleur, les vaisseaux cutanés se dilatent.

Le sang chaud arrive davantage vers la peau.

La chaleur peut être dissipée vers l'environnement.

La peau devient souvent plus chaude et rouge.

69. Sudation

La sueur permet de perdre de la chaleur par évaporation.

Ce n'est pas le fait de transpirer qui refroidit directement.
C'est l'évaporation de la sueur.

En milieu humide, la sueur s'évapore moins bien.

La thermorégulation devient moins efficace.

70. Vasoconstriction cutanée

Quand le corps doit conserver la chaleur, les vaisseaux cutanés se contractent.

Moins de sang arrive à la peau.

La chaleur reste davantage dans les organes profonds.

La peau peut devenir froide et pâle.

Hypothalamus

71. Rôle central

L'hypothalamus compare les informations thermiques à une valeur de référence.

Il reçoit :

- informations des thermorécepteurs cutanés ;
- informations de la température sanguine ;
- informations centrales ;
- signaux inflammatoires en cas de fièvre.

Il déclenche ensuite les réponses adaptées.

72. Si le corps est trop chaud

L'hypothalamus déclenche :

- vasodilatation cutanée ;
- sudation ;
- diminution de la production de chaleur ;
- comportements de refroidissement ;
- recherche d'ombre ;
- envie de boire ;
- baisse de l'activité physique.

73. Si le corps est trop froid

L'hypothalamus déclenche :

- vasoconstriction cutanée ;
- frissons ;
- augmentation du tonus musculaire ;
- recherche de chaleur ;
- comportements de protection ;
- augmentation de certaines réponses métaboliques.

Fièvre

74. Définition

La fièvre est une élévation régulée de la température corporelle par augmentation du point de consigne hypothalamique.

Elle survient souvent lors d'une infection ou d'une inflammation.

Elle est déclenchée par des médiateurs inflammatoires.

75. Mécanisme

Lors d'une infection ou inflammation, certaines cytokines favorisent la production de prostaglandines au niveau hypothalamique.

Le point de consigne augmente.

Le corps se comporte comme s'il avait froid par rapport à ce nouveau point de consigne.

Il déclenche :

- frissons ;
- vasoconstriction ;
- recherche de chaleur ;
- sensation de froid.

Quand le point de consigne redescend, le corps élimine la chaleur :

- sueurs ;
- vasodilatation ;
- sensation de chaud.

76. Fièvre et défense

La fièvre peut aider la défense immunitaire.

Elle peut limiter certains microbes et stimuler certains mécanismes immunitaires.

Mais une fièvre trop élevée ou mal tolérée peut devenir dangereuse, surtout chez les personnes fragiles.

Hypothermie

77. Définition

L'hypothermie correspond à une baisse anormale de la température centrale.

Elle survient lorsque les pertes de chaleur dépassent la production de chaleur.

78. Causes possibles

Causes possibles :

- exposition au froid ;
- immersion en eau froide ;
- immobilité ;
- âge avancé ;
- dénutrition ;
- alcool ;
- sédatifs ;
- troubles neurologiques ;
- hypothyroïdie sévère ;
- choc ;
- anesthésie ;
- environnement froid.

79. Conséquences

L'hypothermie peut provoquer :

- frissons au début ;
- confusion ;
- somnolence ;
- ralentissement du cœur ;
- troubles du rythme ;
- respiration lente ;
- troubles de conscience ;
- rigidité ;
- coma dans les formes sévères.

Hyperthermie

80. Définition

L'hyperthermie correspond à une élévation de température par accumulation de chaleur, sans élévation régulée du point de consigne comme dans la fièvre.

Le corps produit ou reçoit plus de chaleur qu'il ne peut en éliminer.

81. Différence fièvre / hyperthermie

Situation	Mécanisme
Fièvre	point de consigne hypothalamique augmenté
Hyperthermie	mécanismes de perte dépassés, point de consigne pas forcément augmenté

La distinction est importante.

Dans la fièvre, le corps "choisit" une température plus haute sous influence inflammatoire.

Dans l'hyperthermie, le corps est débordé par la chaleur.

82. Coup de chaleur

Le coup de chaleur est une hyperthermie sévère avec atteinte neurologique.

Il peut survenir lors :

- d'une chaleur extrême ;
- d'un effort intense ;
- d'une humidité importante ;
- d'une déshydratation ;
- d'un manque d'acclimatation ;
- de certains médicaments ;
- chez des personnes fragiles.

C'est une urgence car les protéines, le cerveau, le cœur, les reins et la coagulation peuvent être touchés.

83. Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma thermorégulation : hypothalamus au centre ; si chaud vasodilatation + sudation ; si froid vasoconstriction + frissons ; fièvre = point de consigne augmenté ; hyperthermie = chaleur excessive non compensée.

21.5. Équilibre glycémique

84. Définition

L'équilibre glycémique correspond au maintien de la concentration de glucose sanguin dans une zone compatible avec les besoins des cellules.

Le glucose est un carburant majeur.

Il est particulièrement important pour :

- cerveau ;
- globules rouges ;
- muscles ;
- reins ;

- cellules immunitaires ;
- tissus en effort.

Le corps doit éviter deux situations extrêmes :

- hypoglycémie ;
- hyperglycémie importante ou chronique.

L'équilibre glycémique dépend surtout de :

- pancréas endocrine ;
- foie ;
- muscle ;
- tissu adipeux ;
- intestin ;
- reins dans certaines situations ;
- hormones du stress ;
- activité physique ;
- alimentation.

Insuline

85. Définition

L'insuline est une hormone produite par les cellules bêta du pancréas endocrine.

Elle est sécrétée lorsque la glycémie augmente, surtout après un repas.

Son rôle global est de favoriser l'utilisation et le stockage des nutriments.

Elle fait baisser la glycémie.

86. Effets de l'insuline

L'insuline favorise :

- entrée du glucose dans le muscle et le tissu adipeux ;
- stockage du glucose en glycogène ;
- synthèse des lipides ;
- stockage des triglycérides ;
- synthèse protéique ;
- inhibition de la néoglucogenèse ;
- inhibition de la glycogénolyse hépatique ;
- inhibition de la lipolyse ;
- entrée du potassium dans les cellules.

L'insuline est donc l'hormone de l'état nourri.

87. Insuline et GLUT4

Dans le muscle et le tissu adipeux, l'insuline stimule l'insertion de transporteurs GLUT4 dans la membrane cellulaire.

Cela permet au glucose d'entrer plus facilement dans ces cellules.

Le muscle actif peut aussi faire entrer du glucose grâce à la contraction, même si l'insuline est plus basse.

Glucagon

88. Définition

Le glucagon est une hormone produite par les cellules alpha du pancréas endocrine.

Il est sécrété lorsque la glycémie baisse.

Son rôle global est d'augmenter la glycémie.

Il agit surtout sur le foie.

89. Effets du glucagon

Le glucagon stimule :

- glycogénolyse hépatique ;
- néoglucogenèse ;
- libération de glucose dans le sang ;

- mobilisation énergétique.

Il est l'hormone de l'état de jeûne court et de l'intervalle entre les repas.

90. Insuline et glucagon

L'équilibre glycémique repose beaucoup sur l'opposition fonctionnelle entre insuline et glucagon.

Situation	Hormone dominante	Effet
Après repas	insuline	stockage, baisse glycémie
Entre repas	glucagon	libération de glucose
Jeûne prolongé	glucagon + cortisol + lipolyse	néoglucogenèse, corps cétoniques
Effort	catécholamines + glucagon	mobilisation rapide

Foie

91. Rôle du foie dans la glycémie

Le foie est l'organe central de régulation de la glycémie.

Il peut :

- stocker le glucose ;
- libérer du glucose ;
- fabriquer du glucose ;
- transformer certains excès énergétiques.

Il reçoit les nutriments absorbés par l'intestin via la veine porte.

92. Après un repas

Après un repas :

- la glycémie augmente ;
- l'insuline augmente ;
- le foie capte du glucose ;
- il le stocke sous forme de glycogène ;
- il diminue sa production de glucose.

C'est la glycogénogenèse.

93. Entre les repas

Entre les repas :

- l'insuline diminue ;
- le glucagon augmente ;
- le foie dégrade le glycogène ;
- il libère du glucose dans le sang.

C'est la glycogénolyse.

94. Jeûne prolongé

Quand les réserves de glycogène diminuent, le foie fabrique du glucose.

C'est la néoglucogenèse.

Les substrats utilisés peuvent être :

- lactate ;
- glycérol ;
- acides aminés ;
- pyruvate.

Le foie peut aussi produire des corps cétoniques à partir des acides gras.

Muscle

95. Rôle du muscle dans la glycémie

Le muscle est un grand consommateur de glucose.

Il utilise le glucose pour produire de l'ATP.

Il peut aussi stocker du glucose sous forme de glycogène musculaire.

Le muscle est donc très important dans l'équilibre glycémique global.

96. Muscle après repas

Après un repas, l'insuline favorise l'entrée du glucose dans les muscles.

Le muscle peut :

- utiliser le glucose ;
- stocker du glycogène ;
- fabriquer des protéines si les apports et signaux sont favorables.

97. Muscle pendant l'effort

Pendant l'effort, le muscle augmente fortement sa consommation de glucose.

La contraction musculaire favorise l'entrée du glucose dans la cellule.

Le muscle peut utiliser :

- glycogène musculaire ;
- glucose sanguin ;
- acides gras selon durée et intensité.

L'activité physique améliore la sensibilité à l'insuline.

98. Glycogène musculaire

Le glycogène musculaire sert au muscle lui-même.

Contrairement au foie, le muscle ne libère pas directement du glucose libre en grande quantité dans le sang.

Il garde son glycogène pour ses propres besoins énergétiques.

Tissu adipeux

99. Rôle du tissu adipeux

Le tissu adipeux est la grande réserve énergétique à long terme.

Il stocke les lipides sous forme de triglycérides.

Il participe aussi à l'équilibre glycémique indirectement.

Il répond à l'insuline et aux hormones de mobilisation.

100. Après repas

Après un repas, l'insuline favorise :

- entrée du glucose dans les adipocytes ;
- synthèse de triglycérides ;
- stockage des lipides ;
- inhibition de la lipolyse.

Le tissu adipeux stocke l'excès d'énergie.

101. Pendant le jeûne

Quand l'insuline baisse et que les hormones de mobilisation augmentent, le tissu adipeux libère des acides gras et du glycérol.

Les acides gras servent de carburant à de nombreux tissus.

Le glycérol peut être utilisé par le foie pour fabriquer du glucose.

Ainsi, le tissu adipeux aide à préserver la glycémie en fournissant de l'énergie alternative.

102. Tissu adipeux comme organe endocrine

Le tissu adipeux produit aussi des hormones et médiateurs appelés adipokines.

Exemples :

- leptine ;
- adiponectine ;
- cytokines selon contexte.

Ces molécules influencent :

- appétit ;
- sensibilité à l'insuline ;
- inflammation ;

- métabolisme énergétique.

Le tissu adipeux n'est donc pas un simple stockage passif.

103. Hypoglycémie

L'hypoglycémie correspond à une glycémie trop basse.

Le cerveau est particulièrement sensible au manque de glucose.

Le corps répond par :

- baisse d'insuline ;
- augmentation de glucagon ;
- activation sympathique ;
- adrénaline ;
- cortisol et GH si besoin.

Signes possibles :

- sueurs ;
- tremblements ;
- faim ;
- palpitations ;
- pâleur ;
- anxiété ;
- confusion ;
- troubles du comportement ;
- convulsions ou coma si sévère.

104. Hyperglycémie

L'hyperglycémie correspond à une glycémie trop élevée.

À court terme, une hyperglycémie importante peut provoquer :

- soif ;
- urines abondantes ;
- déshydratation ;
- fatigue ;
- troubles électrolytiques ;
- acidocétose ou syndrome hyperosmolaire selon contexte.

À long terme, l'hyperglycémie chronique peut abîmer :

- vaisseaux ;
- reins ;
- nerfs ;
- rétine ;
- cœur ;
- peau ;
- système immunitaire.

105. Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma équilibre glycémique : repas insuline foie/muscle/tissu adipeux stockent ; jeûne glucagon foie libère glucose ; effort muscle consomme glucose.

Synthèse du chapitre

Les grands équilibres du corps sont des exemples majeurs d'homéostasie. Ils ne dépendent jamais d'un seul organe, mais d'une coopération entre plusieurs systèmes.

L'équilibre hydrique dépend des apports, des pertes, de la soif, de l'ADH, du rein et du sodium. L'organisme surveille à la fois l'osmolarité et la volémie. Si le plasma est trop concentré, la soif et l'ADH augmentent. Si le volume circulant baisse, le système sympathique, le SRAA et l'ADH participent à la compensation.

L'équilibre électrolytique repose sur le maintien des concentrations adaptées en sodium, potassium, calcium, magnésium et chlore. Le sodium contrôle surtout le volume extracellulaire et l'eau. Le potassium est vital pour le cœur et les muscles. Le calcium intervient dans l'os, la contraction, la coagulation et les nerfs. Le magnésium soutient les enzymes, le cœur et le système neuromusculaire. Le chlore participe à l'osmolarité, à l'acidité gastrique et au pH.

L'équilibre acido-basique maintient le pH sanguin dans des limites compatibles avec la vie. Les systèmes tampons agissent immédiatement. Les poumons régulent rapidement le CO₂. Les reins régulent plus lentement les bicarbonates et les ions H⁺. Le

système bicarbonate relie directement respiration et fonction rénale.

L'équilibre thermique dépend de la production et de la perte de chaleur. L'hypothalamus coordonne la thermorégulation. Si le corps est trop chaud, il déclenche vasodilatation et sudation. Si le corps est trop froid, il déclenche vasoconstriction et frissons. La fièvre est une élévation régulée du point de consigne. L'hyperthermie est une accumulation de chaleur dépassant les capacités d'élimination. L'hypothermie est une baisse dangereuse de la température centrale.

L'équilibre glycémique dépend surtout de l'insuline, du glucagon, du foie, du muscle et du tissu adipeux. Après un repas, l'insuline favorise l'utilisation et le stockage du glucose. Entre les repas, le glucagon stimule le foie pour libérer du glucose. Le muscle consomme et stocke le glucose. Le tissu adipeux stocke l'énergie et libère des acides gras pendant le jeûne.

Ces équilibres sont interconnectés. Une déshydratation peut modifier la pression artérielle, le sodium et la fonction rénale. Une acidose peut modifier le potassium. Une fièvre augmente les pertes d'eau et les besoins énergétiques. Une hypoglycémie active le sympathique. Une insuffisance rénale peut perturber l'eau, les ions, le pH, la pression artérielle et le métabolisme osseux.

Comprendre la physiologie intégrée, c'est comprendre que le corps fonctionne comme un réseau.

À retenir absolument

Équilibre	Organes et systèmes principaux
Hydrique	hypothalamus, ADH, reins, sodium, soif, SRAA
Électrolytique	reins, hormones, intestin, os, membranes cellulaires
Acido-basique	tampons, poumons, reins, CO ₂ , bicarbonates
Thermique	hypothalamus, peau, vaisseaux, muscles, hormones
Glycémique	pancréas, foie, muscle, tissu adipeux, hormones

106. Tableau des grands régulateurs

Variable	Capteurs	Centre / régulation	Effecteurs
Eau	osmorécepteurs, barorécepteurs	hypothalamus, ADH, SRAA	reins, soif
Sodium	osmolarité, volémie, rein	aldostérone, peptides natriurétiques	reins
Potassium	kaliémie	aldostérone, insuline, rein	reins, cellules
Calcium	récepteurs parathyroïdiens	PTH, vitamine D	os, reins, intestin
pH	chémorécepteurs, tampons	centres respiratoires, reins	poumons, reins
Température	thermorécepteurs	hypothalamus	peau, muscles, comportement
Glycémie	pancréas endocrine	insuline, glucagon	foie, muscle, tissu adipeux

Mini-évaluation

Réponds aux questions suivantes :

1. Qu'est-ce que l'homéostasie ?
2. Pourquoi parle-t-on de stabilité dynamique ?
3. Quels sont les cinq grands équilibres étudiés dans ce chapitre ?
4. Quelle est la différence entre osmolarité et volémie ?
5. Quels sont les principaux apports d'eau ?
6. Quelles sont les principales pertes d'eau ?
7. Que sont les pertes insensibles ?
8. Quels facteurs augmentent les pertes hydriques ?
9. Quel est le rôle de la soif ?
10. Où se trouvent principalement les osmorécepteurs ?
11. Qu'est-ce que l'ADH ?
12. Où est produite et libérée l'ADH ?
13. Quel est l'effet de l'ADH sur le rein ?
14. Qu'est-ce qu'une aquaporine ?
15. Pourquoi le sodium est-il central dans l'équilibre hydrique ?
16. Quel est le rôle de l'aldostérone sur le sodium ?
17. Pourquoi une déshydratation stimule-t-elle soif et ADH ?
18. Pourquoi une hyperhydratation diminue-t-elle l'ADH ?
19. Qu'est-ce que l'équilibre électrolytique ?
20. Quel est le principal ion extracellulaire ?
21. Quel est le principal ion intracellulaire ?
22. Pourquoi le sodium influence-t-il la pression artérielle ?

23. Pourquoi le potassium est-il dangereux lorsqu'il varie trop ?
24. Quel est le rôle du calcium dans la contraction musculaire ?
25. Quel est le rôle du calcium dans la coagulation ?
26. Quels organes régulent le calcium ?
27. Quel est le rôle du magnésium ?
28. Pourquoi une hypomagnésémie peut-elle perturber potassium et calcium ?
29. Quel est le rôle du chlore dans l'estomac ?
30. Pourquoi le chlore est-il lié à l'équilibre acido-basique ?
31. Qu'est-ce que le pH sanguin ?
32. Pourquoi le pH doit-il rester très contrôlé ?
33. Qu'est-ce qu'un système tampon ?
34. Quel est le principal système tampon plasmatique ?
35. Quel est le lien entre CO_2 et pH ?
36. Quel est le rôle des poumons dans l'équilibre acido-basique ?
37. Quel est le rôle des reins dans l'équilibre acido-basique ?
38. Qu'est-ce qu'une acidose respiratoire ?
39. Qu'est-ce qu'une alcalose respiratoire ?
40. Qu'est-ce qu'une acidose métabolique ?
41. Qu'est-ce qu'une alcalose métabolique ?
42. Pourquoi les poumons compensent-ils les troubles métaboliques ?
43. Pourquoi les reins compensent-ils les troubles respiratoires ?
44. Qu'est-ce que l'équilibre thermique ?
45. Quels organes produisent beaucoup de chaleur ?
46. Quel est le rôle des muscles dans la production de chaleur ?
47. Quels sont les mécanismes de perte de chaleur ?
48. Pourquoi la sudation refroidit-elle le corps ?
49. Quel est le rôle de l'hypothalamus dans la thermorégulation ?
50. Que fait le corps quand il a trop chaud ?
51. Que fait le corps quand il a trop froid ?
52. Quelle est la différence entre fièvre et hyperthermie ?
53. Qu'est-ce que l'hypothermie ?
54. Pourquoi le coup de chaleur est-il dangereux ?
55. Qu'est-ce que l'équilibre glycémique ?
56. Quel est le rôle de l'insuline ?
57. Quel est le rôle du glucagon ?
58. Quel organe maintient principalement la glycémie entre les repas ?
59. Que fait le foie après un repas ?
60. Que fait le foie pendant le jeûne ?
61. Quel est le rôle du muscle dans la glycémie ?
62. Pourquoi l'activité physique améliore-t-elle la sensibilité à l'insuline ?
63. Quel est le rôle du tissu adipeux dans l'équilibre énergétique ?
64. Pourquoi une hypoglycémie active-t-elle le système sympathique ?
65. Pourquoi une hyperglycémie peut-elle provoquer une déshydratation ?
66. Donne un exemple de lien entre équilibre hydrique et équilibre électrolytique.
67. Donne un exemple de lien entre équilibre acido-basique et potassium.
68. Donne un exemple de lien entre fièvre et équilibre hydrique.
69. Donne un exemple de lien entre stress et glycémie.
70. Pourquoi la physiologie intégrée est-elle indispensable pour comprendre les décompensations ?