

**UNIVERSITE MOHAMMED V -RABAT-
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE**

ANNEE :2015

THESE N° : 05

**LA NUTRITION DU SPORTIF
ASPECTS THEIORIQUES ET CAS PRATIQUE
DANS UN CLUB DE FOOTBALL
THESE**

Présentée et soutenue publiquement le.....

PAR

M^{lle} Wissal EL ALAOUI

Née le 20 juin 1988 à sidi ifni

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN PHARMACIE

MOTS CLES : Nutrition, sport, sportif, avant match, pendant compétition, après
compétition, récupération.

Mr. M. ZOUHDI

Professeur de Microbiologie

Mr. A. LAATIRIS

Professeur de Pharmacie galénique

Mme. S. TALLAL

Professeur de biochimie

Mme. S. ELHAMZAOU

Professeur de microbiologie

Mr. A. BELMEKKI

Professeur d'hématologie

Mr. A. DOGHMI

Médecin spécialiste en physiologie
et pathologie sportif

PRESIDENT

RAPPORTEUR

JUGES

MEMBRE ASSOCIE

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا
عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ
الْحَكِيمُ

سورة البقرة: الآية: 32

صَلَّى اللَّهُ عَلَى النَّبِيِّ



**UNIVERSITE MOHAMMED V DE RABAT
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE - RABAT**

DOYENS HONORAIRES :

1962 – 1969 : Professeur Abdelmalek FARAJ
1969 – 1974 : Professeur Abdellatif BERBICH
1974 – 1981 : Professeur Bachir LAZRAK
1981 – 1989 : Professeur Taieb CHKILI
1989 – 1997 : Professeur Mohamed Tahar ALAOUI
1997 – 2003 : Professeur Abdelmajid BELMAHI
2003 – 2013 : Professeur Najia HAJJAJ - HASSOUNI

ADMINISTRATION :

Doyen : Professeur Mohamed ADNAOUI
Vice Doyen chargé des Affaires Académiques et étudiantes
Professeur Mohammed AHALLAT
Vice Doyen chargé de la Recherche et de la Coopération
Professeur Taoufiq DAKKA
Vice Doyen chargé des Affaires Spécifiques à la Pharmacie
Professeur Jamal TAOUFIK
Secrétaire Général : Mr. El Hassane AHALLAT

**1- ENSEIGNANTS-CHERCHEURS MEDECINS
ET
PHARMACIENS**

PROFESSEURS :

Mai et Octobre 1981

Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajih	Chirurgie Cardio-Vasculaire
Pr. TAOBANE Hamid*	Chirurgie Thoracique

Mai et Novembre 1982

Pr. BENOSMAN Abdellatif	Chirurgie Thoracique
-------------------------	----------------------

Novembre 1983

Pr. HAJJAJ Najia ép. HASSOUNI	Rhumatologie
-------------------------------	--------------

Décembre 1984

Pr. MAAOUNI Abdelaziz	Médecine Interne – <i>Clinique Royale</i>
Pr. MAAZOUZI Ahmed Wajdi	Anesthésie -Réanimation
Pr. SETTAF Abdellatif	pathologie Chirurgicale

Novembre et Décembre 1985

Pr. BENJELLOUN Halima
Pr. BENSaid Younes
Pr. EL ALAOUI Faris Moulay El Mostafa

Cardiologie
Pathologie Chirurgicale
Neurologie

Janvier, Février et Décembre 1987

Pr. AJANA Ali
Pr. CHAHED OUZZANI Houria
Pr. EL YAACoubi Moradh
Pr. ESSAID EL FEYDI Abdellah
Pr. LACHKAR Hassan
Pr. YAHYAOUI Mohamed

Radiologie
Gastro-Entérologie
Traumatologie Orthopédie
Gastro-Entérologie
Médecine Interne
Neurologie

Décembre 1988

Pr. BENHAMAMOUCHE Mohamed Najib
Pr. DAFIRI Rachida
Pr. HERMAS Mohamed

Chirurgie Pédiatrique
Radiologie
Traumatologie Orthopédie

Décembre 1989

Pr. ADNAOUI Mohamed
Pr. BOUKILI MAKHOUKHI Abdelali*
Pr. CHAD Bouziane
Pr. OUZZANI Taïbi Mohamed Réda

Médecine Interne –*Doyen de la FMPR*
Cardiologie
Pathologie Chirurgicale
Neurologie

Janvier et Novembre 1990

Pr. CHKOFF Rachid
Pr. HACHIM Mohammed*
Pr. KHARBACH Aïcha
Pr. MANSOURI Fatima
Pr. TAZI Saoud Anas

Pathologie Chirurgicale
Médecine-Interne
Gynécologie -Obstétrique
Anatomie-Pathologique
Anesthésie Réanimation

Février Avril Juillet et Décembre 1991

Pr. AL HAMANY Zaïtounia
Pr. AZZOUZI Abderrahim
Pr. BAYAHIA Rabéa
Pr. BELKOUCHI Abdelkader
Pr. BENCHEKROUN Belabbes Abdellatif
Pr. BENSOUDA Yahia
Pr. BERRAHO Amina
Pr. BEZZAD Rachid
Pr. CHABRAOUI Layachi
Pr. CHERRAH Yahia
Pr. CHOKAIRI Omar
Pr. KHATTAB Mohamed
Pr. SOULAYMANI Rachida
Pr. TAOUFIK Jamal

Anatomie-Pathologique
Anesthésie Réanimation –*Doyen de la FMPO*
Néphrologie
Chirurgie Générale
Chirurgie Générale
Pharmacie galénique
Ophtalmologie
Gynécologie Obstétrique
Biochimie et Chimie
Pharmacologie
Histologie Embryologie
Pédiatrie
Pharmacologie – *Dir. du Centre National PV*
Chimie thérapeutique

Décembre 1992

Pr. AHALLAT Mohamed
Pr. BENSOUDA Adil
Pr. BOUJIDA Mohamed Najib
Pr. CHAHED OUZZANI Laaziza

Chirurgie Générale
Anesthésie Réanimation
Radiologie
Gastro-Entérologie

Pr. CHRAIBI Chafiq
 Pr. DAOUDI Rajae
 Pr. DEHAYNI Mohamed*
 Pr. EL OUAHABI Abdessamad
 Pr. FELLAT Rokaya
 Pr. GHAFIR Driss*
 Pr. JIDDANE Mohamed
 Pr. TAGHY Ahmed
 Pr. ZOUHDI Mimoun

Mars 1994

Pr. BENJAAFAR Nouredine
 Pr. BEN RAIS Nozha
 Pr. CAOUI Malika
 Pr. CHRAIBI Abdelmjid
 Pr. EL AMRANI Sabah
 Pr. EL AOUAD Rajae
 Pr. EL BARDOUNI Ahmed
 Pr. EL HASSANI My Rachid
 Pr. ERROUGANI Abdelkader
 Pr. ESSAKALI Malika
 Pr. ETTAYEBI Fouad
 Pr. HADRI Larbi*
 Pr. HASSAM Badredine
 Pr. IFRINE Lahssan
 Pr. JELTHI Ahmed
 Pr. MAHFOUD Mustapha
 Pr. MOUDENE Ahmed*
 Pr. RHRAB Brahim
 Pr. SENOUCI Karima

Mars 1994

Pr. ABBAR Mohamed*
 Pr. ABDELHAK M'barek
 Pr. BELAIDI Halima
 Pr. BRAHMI Rida Slimane
 Pr. BENTAHILA Abdelali
 Pr. BENYAHIA Mohammed Ali
 Pr. BERRADA Mohamed Saleh
 Pr. CHAMI Ilham
 Pr. CHERKAOUI Lalla Ouafae
 Pr. EL ABBADI Najia
 Pr. HANINE Ahmed*
 Pr. JALIL Abdelouahed
 Pr. LAKHDAR Amina
 Pr. MOUANE Nezha

Mars 1995

Pr. ABOUQUAL Redouane
 Pr. AMRAOUI Mohamed
 Pr. BAIDADA Abdelaziz
 Pr. BARGACH Samir
 Pr. CHAARI Jilali*

Gynécologie Obstétrique
 Ophtalmologie
 Gynécologie Obstétrique
 Neurochirurgie
 Cardiologie
 Médecine Interne
 Anatomie
 Chirurgie Générale
 Microbiologie

Radiothérapie
 Biophysique
 Biophysique
 Endocrinologie et Maladies Métaboliques
 Gynécologie Obstétrique
 Immunologie
 Traumato-Orthopédie
 Radiologie
 Chirurgie Générale- **Directeur CHIS**
 Immunologie
 Chirurgie Pédiatrique
 Médecine Interne
 Dermatologie
 Chirurgie Générale
 Anatomie Pathologique
 Traumatologie – Orthopédie
 Traumatologie- Orthopédie **Inspecteur du SS**
 Gynécologie –Obstétrique
 Dermatologie

Urologie
 Chirurgie – Pédiatrique
 Neurologie
 Gynécologie Obstétrique
 Pédiatrie
 Gynécologie – Obstétrique
 Traumatologie – Orthopédie
 Radiologie
 Ophtalmologie
 Neurochirurgie
 Radiologie
 Chirurgie Générale
 Gynécologie Obstétrique
 Pédiatrie

Réanimation Médicale
 Chirurgie Générale
 Gynécologie Obstétrique
 Gynécologie Obstétrique
 Médecine Interne

Pr. DIMOU M'barek*
 Pr. DRISSI KAMILI Med Nordine*
 Pr. EL MESNAOUI Abbas
 Pr. ESSAKALI HOUSSYNI Leila
 Pr. HDA Abdelhamid*
 Pr. IBEN ATTYA ANDALOUSSI Ahmed
 Pr. OUAZZANI CHAHDI Bahia
 Pr. SEFIANI Abdelaziz
 Pr. ZEGGWAGH Amine Ali

Anesthésie Réanimation – **Dir. HMIM**
 Anesthésie Réanimation
 Chirurgie Générale
 Oto-Rhino-Laryngologie
 Cardiologie - **Directeur ERSM**
 Urologie
 Ophtalmologie
 Génétique
 Réanimation Médicale

Décembre 1996

Pr. AMIL Touriya*
 Pr. BELKACEM Rachid
 Pr. BOULANOUEAR Abdelkrim
 Pr. EL ALAMI EL FARICHA EL Hassan
 Pr. GAOUZI Ahmed
 Pr. MAHFOUDI M'barek*
 Pr. MOHAMMADI Mohamed
 Pr. OUADGHIRI Mohamed
 Pr. OUZEDDOUN Naima
 Pr. ZBIR EL Mehdi*

Radiologie
 Chirurgie Pédiatrie
 Ophtalmologie
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Radiologie
 Médecine Interne
 Traumatologie-Orthopédie
 Néphrologie
 Cardiologie

Novembre 1997

Pr. ALAMI Mohamed Hassan
 Pr. BEN SLIMANE Lounis
 Pr. BIROUK Nazha
 Pr. CHAOUIR Souad*
 Pr. ERREIMI Naima
 Pr. FELLAT Nadia
 Pr. HAIMEUR Charki*
 Pr. KADDOURI Noureddine
 Pr. KOUTANI Abdellatif
 Pr. LAHLOU Mohamed Khalid
 Pr. MAHRAOUI CHAFIQ
 Pr. OUAHABI Hamid*
 Pr. TAOUFIQ Jallal
 Pr. YOUSFI MALKI Mounia

Gynécologie-Obstétrique
 Urologie
 Neurologie
 Radiologie
 Pédiatrie
 Cardiologie
 Anesthésie Réanimation
 Chirurgie Pédiatrique
 Urologie
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Neurologie
 Psychiatrie
 Gynécologie Obstétrique

Novembre 1998

Pr. AFIFI RAJAA
 Pr. BENOMAR ALI
 Pr. BOUGTAB Abdesslam
 Pr. ER RIHANI Hassan
 Pr. EZZAITOUNI Fatima
 Pr. LAZRAK Khalid*
 Pr. BENKIRANE Majid*
 Pr. KHATOURI ALI*
 Pr. LABRAIMI Ahmed*

Gastro-Entérologie
 Neurologie – **Doyen Abulcassis**
 Chirurgie Générale
 Oncologie Médicale
 Néphrologie
 Traumatologie Orthopédie
 Hématologie
 Cardiologie
 Anatomie Pathologique

Janvier 2000

Pr. ABID Ahmed*
 Pr. AIT OUMAR Hassan
 Pr. BENJELLOUN Dakhama Badr.Sououd

Pneumophtisiologie
 Pédiatrie
 Pédiatrie

Pr. BOURKADI Jamal-Eddine
 Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Al Montacer
 Pr. ECHARRAB El Mahjoub
 Pr. EL FTOUH Mustapha
 Pr. EL MOSTARCHID Brahim*
 Pr. ISMAILI Hassane*
 Pr. MAHMOUDI Abdelkrim*
 Pr. TACHINANTE Rajae
 Pr. TAZI MEZALEK Zoubida

Pneumo-phtisiologie
 Chirurgie Générale
 Chirurgie Générale
 Pneumo-phtisiologie
 Neurochirurgie
 Traumatologie Orthopédie
 Anesthésie-Réanimation
 Anesthésie-Réanimation
 Médecine Interne

Novembre 2000

Pr. AIDI Saadia
 Pr. AIT OURHROUI Mohamed
 Pr. AJANA Fatima Zohra
 Pr. BENAMR Said
 Pr. CHERTI Mohammed
 Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Selma
 Pr. EL HASSANI Amine
 Pr. EL KHADER Khalid
 Pr. EL MAGHRAOUI Abdellah*
 Pr. GHARBI Mohamed El Hassan
 Pr. HSSAIDA Rachid*
 Pr. LAHLOU Abdou
 Pr. MAFTAH Mohamed*
 Pr. MAHASSINI Najat
 Pr. MDAGHRI ALAOUI Asmae
 Pr. NASSIH Mohamed*
 Pr. ROUIMI Abdelhadi*

Neurologie
 Dermatologie
 Gastro-Entérologie
 Chirurgie Générale
 Cardiologie
 Anesthésie-Réanimation
 Pédiatrie
 Urologie
 Rhumatologie
 Endocrinologie et Maladies Métaboliques
 Anesthésie-Réanimation
 Traumatologie Orthopédie
 Neurochirurgie
 Anatomie Pathologique
 Pédiatrie
 Stomatologie Et Chirurgie Maxillo-Faciale
 Neurologie

Décembre 2000

Pr. ZOHAIR ABDELAH*

ORL

Décembre 2001

Pr. ABABOU Adil
 Pr. BALKHI Hicham*
 Pr. BENABDELJLIL Maria
 Pr. BENAMAR Loubna
 Pr. BENAMOR Jouda
 Pr. BENELBARHDADI Imane
 Pr. BENNANI Rajae
 Pr. BENOUACHANE Thami
 Pr. BEZZA Ahmed*
 Pr. BOUCHIKHI IDRISSE Med Larbi
 Pr. BOUMDIN El Hassane*
 Pr. CHAT Latifa
 Pr. DAALI Mustapha*
 Pr. DRISSI Sidi Mourad*
 Pr. EL HIJRI Ahmed
 Pr. EL MAAQILI Moulay Rachid
 Pr. EL MADHI Tarik
 Pr. EL OUNANI Mohamed

Anesthésie-Réanimation
 Anesthésie-Réanimation
 Neurologie
 Néphrologie
 Pneumo-phtisiologie
 Gastro-Entérologie
 Cardiologie
 Pédiatrie
 Rhumatologie
 Anatomie
 Radiologie
 Radiologie
 Chirurgie Générale
 Radiologie
 Anesthésie-Réanimation
 Neuro-Chirurgie
 Chirurgie-Pédiatrique
 Chirurgie Générale

Pr. ETTAIR Said
 Pr. GAZZAZ Miloudi*
 Pr. HRORA Abdelmalek
 Pr. KABBAJ Saad
 Pr. KABIRI EL Hassane*
 Pr. LAMRANI Moulay Omar
 Pr. LEKEHAL Brahim
 Pr. MAHASSIN Fattouma*
 Pr. MEDARHRI Jalil
 Pr. MIKDAME Mohammed*
 Pr. MOHSINE Raouf
 Pr. NOUINI Yassine
 Pr. SABBAH Farid
 Pr. SEFIANI Yasser
 Pr. TAOUFIQ BENCHEKROUN Soumia

Pédiatrie
 Neuro-Chirurgie
 Chirurgie Générale
 Anesthésie-Réanimation
 Chirurgie Thoracique
 Traumatologie Orthopédie
 Chirurgie Vasculaire Périphérique
 Médecine Interne
 Chirurgie Générale
 Hématologie Clinique
 Chirurgie Générale
 Urologie
 Chirurgie Générale
 Chirurgie Vasculaire Périphérique
 Pédiatrie

Décembre 2002

Pr. AL BOUZIDI Abderrahmane*
 Pr. AMEUR Ahmed *
 Pr. AMRI Rachida
 Pr. AOURARH Aziz*
 Pr. BAMOU Youssef *
 Pr. BELMEJDOUB Ghizlene*
 Pr. BENZEKRI Laila
 Pr. BENZZOUBEIR Nadia
 Pr. BERNOUSSI Zakiya
 Pr. BICHRA Mohamed Zakariya*
 Pr. CHOHO Abdelkrim *
 Pr. CHKIRATE Bouchra
 Pr. EL ALAMI EL FELLOUS Sidi Zouhair
 Pr. EL HAOURI Mohamed *
 Pr. EL MANSARI Omar*
 Pr. FILALI ADIB Abdelhai
 Pr. HAJJI Zakia
 Pr. IKEN Ali
 Pr. JAAFAR Abdelouhab*
 Pr. KRIOUILE Yamina
 Pr. LAGHMARI Mina
 Pr. MABROUK Hfid*
 Pr. MOUSSAOUI RAHALI Driss*
 Pr. MOUSTAGHFIR Abdelhamid*
 Pr. NATLHO Abdelhamid*
 Pr. OUJILAL Abdelilah
 Pr. RACHID Khalid *
 Pr. RAISS Mohamed
 Pr. RGUIBI IDRISSE Sidi Mustapha*
 Pr. RHOUE Hakima
 Pr. SIAH Samir *
 Pr. THIMOU Amal
 Pr. ZENTAR Aziz*

Anatomie Pathologique
 Urologie
 Cardiologie
 Gastro-Entérologie
 Biochimie-Chimie
 Endocrinologie et Maladies Métaboliques
 Dermatologie
 Gastro-Entérologie
 Anatomie Pathologique
 Psychiatrie
 Chirurgie Générale
 Pédiatrie
 Chirurgie Pédiatrique
 Dermatologie
 Chirurgie Générale
 Gynécologie Obstétrique
 Ophtalmologie
 Urologie
 Traumatologie Orthopédie
 Pédiatrie
 Ophtalmologie
 Traumatologie Orthopédie
 Gynécologie Obstétrique
 Cardiologie
 Médecine Interne
 Oto-Rhino-Laryngologie
 Traumatologie Orthopédie
 Chirurgie Générale
 Pneumophtisiologie
 Néphrologie
 Anesthésie Réanimation
 Pédiatrie
 Chirurgie Générale

Janvier 2004

Pr. ABDELLAH El Hassan
Pr. AMRANI Mariam
Pr. BENBOUZID Mohammed Anas
Pr. BENKIRANE Ahmed*
Pr. BOUGHALEM Mohamed*
Pr. BOULAADAS Malik
Pr. BOURAZZA Ahmed*
Pr. CHAGAR Belkacem*
Pr. CHERRADI Nadia
Pr. EL FENNI Jamal*
Pr. EL HANCHI ZAKI
Pr. EL KHORASSANI Mohamed
Pr. EL YOUNASSI Badreddine*
Pr. HACHI Hafid
Pr. JABOUIRIK Fatima
Pr. KHABOUZE Samira
Pr. KHARMAZ Mohamed
Pr. LEZREK Mohammed*
Pr. MOUGHIL Said
Pr. OUBAAZ Abdelbarre*
Pr. TARIB Abdelilah*
Pr. TIJAMI Fouad
Pr. ZARZUR Jamila

Ophtalmologie
Anatomie Pathologique
Oto-Rhino-Laryngologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie Réanimation
Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
Neurologie
Traumatologie Orthopédie
Anatomie Pathologique
Radiologie
Gynécologie Obstétrique
Pédiatrie
Cardiologie
Chirurgie Générale
Pédiatrie
Gynécologie Obstétrique
Traumatologie Orthopédie
Urologie
Chirurgie Cardio-Vasculaire
Ophtalmologie
Pharmacie Clinique
Chirurgie Générale
Cardiologie

Janvier 2005

Pr. ABBASSI Abdellah
Pr. AL KANDRY Sif Eddine*
Pr. ALAOUI Ahmed Essaid
Pr. ALLALI Fadoua
Pr. AMAZOUZI Abdellah
Pr. AZIZ Nouredine*
Pr. BAHIRI Rachid
Pr. BARKAT Amina
Pr. BENHALIMA Hanane
Pr. BENYASS Aatif
Pr. BERNOUSSI Abdelghani
Pr. CHARIF CHEFCHAOUNI Mohamed
Pr. DOUDOUH Abderrahim*
Pr. EL HAMZAOUI Sakina*
Pr. HAJJI Leila
Pr. HESSISSEN Leila
Pr. JIDAL Mohamed*
Pr. LAAROUSSI Mohamed
Pr. LYAGOUBI Mohammed
Pr. NIAMANE Radouane*
Pr. RAGALA Abdelhak
Pr. SBIHI Souad
Pr. ZERAIDI Najia

Chirurgie Réparatrice et Plastique
Chirurgie Générale
Microbiologie
Rhumatologie
Ophtalmologie
Radiologie
Rhumatologie
Pédiatrie
Stomatologie et Chirurgie Maxillo Faciale
Cardiologie
Ophtalmologie
Ophtalmologie
Biophysique
Microbiologie
Cardiologie (mise en disponibilité)
Pédiatrie
Radiologie
Chirurgie Cardio-vasculaire
Parasitologie
Rhumatologie
Gynécologie Obstétrique
Histo-Embryologie Cytogénétique
Gynécologie Obstétrique

Décembre 2005

Pr. CHANI Mohamed

Anesthésie Réanimation

Avril 2006

Pr. ACHEMLAL Lahsen*
Pr. AKJOUJ Said*
Pr. BELMEKKI Abdelkader*
Pr. BENCHEIKH Razika
Pr. BIYI Abdelhamid*
Pr. BOUHAFS Mohamed El Amine
Pr. BOULAHYA Abdellatif*
Pr. CHENGUETI ANSARI Anas
Pr. DOGHMI Nawal
Pr. ESSAMRI Wafaa
Pr. FELLAT Ibtissam
Pr. FAROUDY Mamoun
Pr. GHADOUANE Mohammed*
Pr. HARMOUCHE Hicham
Pr. HANAFI Sidi Mohamed*
Pr. IDRIS LAHLOU Amine*
Pr. JROUNDI Laila
Pr. KARMOUNI Tariq
Pr. KILI Amina
Pr. KISRA Hassan
Pr. KISRA Mounir
Pr. LAATIRIS Abdelkader*
Pr. LMIMOUNI Badreddine*
Pr. MANSOURI Hamid*
Pr. OUANASS Abderrazzak
Pr. SAFI Soumaya*
Pr. SEKKAT Fatima Zahra
Pr. SOUALHI Mouna
Pr. TELLAL Saida*
Pr. ZAHRAOUI Rachida

Rhumatologie
Radiologie
Hématologie
O.R.L
Biophysique
Chirurgie - Pédiatrique
Chirurgie Cardio – Vasculaire
Gynécologie Obstétrique
Cardiologie
Gastro-entérologie
Cardiologie
Anesthésie Réanimation
Urologie
Médecine Interne
Anesthésie Réanimation
Microbiologie
Radiologie
Urologie
Pédiatrie
Psychiatrie
Chirurgie – Pédiatrique
Pharmacie Galénique
Parasitologie
Radiothérapie
Psychiatrie
Endocrinologie
Psychiatrie
Pneumo – Phtisiologie
Biochimie
Pneumo – Phtisiologie

Octobre 2007

Pr. ABIDI Khalid
Pr. ACHACHI Leila
Pr. ACHOUR Abdessamad*
Pr. AIT HOUSSA Mahdi*
Pr. AMHAJJI Larbi*
Pr. AMMAR Haddou*
Pr. AOUI Sarra
Pr. BAITE Abdelouahed*
Pr. BALOUCH Lhousaine*
Pr. BENZIANE Hamid*
Pr. BOUTIMZINE Nourdine
Pr. CHARKAOUI Naoual*
Pr. EHIRCHIOU Abdelkader*
Pr. ELABSI Mohamed
Pr. EL MOUSSAOUI Rachid

Réanimation médicale
Pneumo phtisiologie
Chirurgie générale
Chirurgie cardio vasculaire
Traumatologie orthopédie
ORL
Parasitologie
Anesthésie réanimation
Biochimie-chimie
Pharmacie clinique
Ophtalmologie
Pharmacie galénique
Chirurgie générale
Chirurgie générale
Anesthésie réanimation

Pr. EL OMARI Fatima
 Pr. GANA Rachid
 Pr. GHARIB Nouredine
 Pr. HADADI Khalid*
 Pr. ICHOU Mohamed*
 Pr. ISMAILI Nadia
 Pr. KEBDANI Tayeb
 Pr. LALAOUI SALIM Jaafar*
 Pr. LOUZI Lhoussain*
 Pr. MADANI Naoufel
 Pr. MAHI Mohamed*
 Pr. MARC Karima
 Pr. MASRAR Azlarab
 Pr. MOUTAJ Redouane *
 Pr. MRABET Mustapha*
 Pr. MRANI Saad*
 Pr. OUZZIF Ez zohra*
 Pr. RABHI Monsef*
 Pr. RADOUANE Bouchaib*
 Pr. SEFFAR Myriame
 Pr. SEKHSOKH Yessine*
 Pr. SIFAT Hassan*
 Pr. TABERKANET Mustafa*
 Pr. TACHFOUTI Samira
 Pr. TAJDINE Mohammed Tariq*
 Pr. TANANE Mansour*
 Pr. TLIGUI Houssain
 Pr. TOUATI Zakia

Décembre 2007

Pr. DOUHAL ABDERRAHMAN

Décembre 2008

Pr ZOUBIR Mohamed*
 Pr TAHIRI My El Hassan*

Mars 2009

Pr. ABOUZAHIR Ali*
 Pr. AGDR Aomar*
 Pr. AIT ALI Abdelmounaim*
 Pr. AIT BENHADDOU El hachmia
 Pr. AKHADDAR Ali*
 Pr. ALLALI Nazik
 Pr. AMAHZOUNE Brahim*
 Pr. AMINE Bouchra
 Pr. ARKHA Yassir
 Pr. AZENDOUR Hicham*
 Pr. BELYAMANI Lahcen*

Psychiatrie
 Neuro chirurgie
 Chirurgie plastique et réparatrice
 Radiothérapie
 Oncologie médicale
 Dermatologie
 Radiothérapie
 Anesthésie réanimation
 Microbiologie
 Réanimation médicale
 Radiologie
 Pneumo phtisiologie
 Hématologie
 Parasitologie
 Médecine préventive santé publique et hygiène
 Virologie
 Biochimie-chimie
 Médecine interne
 Radiologie
 Microbiologie
 Microbiologie
 Radiothérapie
 Chirurgie vasculaire périphérique
 Ophtalmologie
 Chirurgie générale
 Traumatologie orthopédie
 Parasitologie
 Cardiologie

Ophtalmologie

Anesthésie Réanimation
 Chirurgie Générale

Médecine interne
 Pédiatre
 Chirurgie Générale
 Neurologie
 Neuro-chirurgie
 Radiologie
 Chirurgie Cardio-vasculaire
 Rhumatologie
 Neuro-chirurgie
 Anesthésie Réanimation
 Anesthésie Réanimation

Pr. BJIJOU Younes
 Pr. BOUHSAIN Sanae*
 Pr. BOUI Mohammed*
 Pr. BOUNAIM Ahmed*
 Pr. BOUSSOUGA Mostapha*
 Pr. CHAKOUR Mohammed *
 Pr. CHTATA Hassan Toufik*
 Pr. DOGHMI Kamal*
 Pr. EL MALKI Hadj Omar
 Pr. EL OUENNASS Mostapha*
 Pr. ENNIBI Khalid*
 Pr. FATHI Khalid
 Pr. HASSIKOU Hasna *
 Pr. KABBAJ Nawal
 Pr. KABIRI Meryem
 Pr. KARBOUBI Lamya
 Pr. L'KASSIMI Hachemi*
 Pr. LAMSAOURI Jamal*
 Pr. MARMADE Lahcen
 Pr. MESKINI Toufik
 Pr. MESSAOUDI Nezha *
 Pr. MSSROURI Rahal
 Pr. NASSAR Ittimade
 Pr. OUKERRAJ Latifa
 Pr. RHORFI Ismail Abderrahmani *
 Pr. ZOUHAIR Said*

PROFESSEURS AGREGES :
Octobre 2010

Pr. ALILOU Mustapha
 Pr. AMEZIANE Taoufiq*
 Pr. BELAGUID Abdelaziz
 Pr. BOUAITY Brahim*
 Pr. CHADLI Mariama*
 Pr. CHEMSI Mohamed*
 Pr. DAMI Abdellah*
 Pr. DARBI Abdellatif*
 Pr. DENDANE Mohammed Anouar
 Pr. EL HAFIDI Naima
 Pr. EL KHARRAS Abdennasser*
 Pr. EL MAZOUZ Samir
 Pr. EL SAYEGH Hachem
 Pr. ERRABIH Ikram
 Pr. LAMALMI Najat
 Pr. LEZREK Mounir
 Pr. MALIH Mohamed*
 Pr. MOSADIK Ahlam
 Pr. MOUJAHD Mounassir*
 Pr. NAZIH Mouna*
 Pr. ZOUAIDIA Fouad

Anatomie
 Biochimie-chimie
 Dermatologie
 Chirurgie Générale
 Traumatologie orthopédique
 Hématologie biologique
 Chirurgie vasculaire périphérique
 Hématologie clinique
 Chirurgie Générale
 Microbiologie
 Médecine interne
 Gynécologie obstétrique
 Rhumatologie
 Gastro-entérologie
 Pédiatrie
 Pédiatrie
 Microbiologie
 Chimie Thérapeutique
 Chirurgie Cardio-vasculaire
 Pédiatrie
 Hématologie biologique
 Chirurgie Générale
 Radiologie
 Cardiologie
 Pneumo-phtisiologie
 Microbiologie

Anesthésie réanimation
 Médecine interne
 Physiologie
 ORL
 Microbiologie
 Médecine aéronautique
 Biochimie chimie
 Radiologie
 Chirurgie pédiatrique
 Pédiatrie
 Radiologie
 Chirurgie plastique et réparatrice
 Urologie
 Gastro entérologie
 Anatomie pathologique
 Ophtalmologie
 Pédiatrie
 Anesthésie Réanimation
 Chirurgie générale
 Hématologie
 Anatomie pathologique

Mai 2012

Pr. AMRANI Abdelouahed
Pr. ABOUELALAA Khalil*
Pr. BELAIZI Mohamed*
Pr. BENCHEBBA Driss*
Pr. DRISSI Mohamed*
Pr. EL ALAOUI MHAMDI Mouna
Pr. EL KHATTABI Abdessadek*
Pr. EL OUAZZANI Hanane*
Pr. ER-RAJI Mounir
Pr. JAHID Ahmed
Pr. MEHSSANI Jamal*
Pr. RAISSOUNI Maha*

Chirurgie Pédiatrique
Anesthésie Réanimation
Psychiatrie
Traumatologie Orthopédique
Anesthésie Réanimation
Chirurgie Générale
Médecine Interne
Pneumophtisiologie
Chirurgie Pédiatrique
Anatomie pathologique
Psychiatrie
Cardiologie

Février 2013

Pr. AHID Samir
Pr. AIT EL CADI Mina
Pr. AMRANI HANCHI Laila
Pr. AMOUR Mourad
Pr. AWAB Almahdi
Pr. BELAYACHI Jihane
Pr. BELKHADIR Zakaria Houssain
Pr. BENCHEKROUN Laila
Pr. BENKIRANE Souad
Pr. BENNANA Ahmed*
Pr. BENSEFFAJ Nadia
Pr. BENSGHIR Mustapha*
Pr. BENYAHIA Mohammed*
Pr. BOUATIA Mustapha
Pr. BOUABID Ahmed Salim*
Pr. BOUTARBOUCH Mahjouba
Pr. CHAIB Ali*
Pr. DENDANE Tarek
Pr. DINI Nouzha*
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Mohamed Ali
Pr. ECH-CHERIF EL KETTANI Najwa
Pr. ELFATEMI Nizare
Pr. EL GUERROUJ Hasnae
Pr. EL HARTI Jaouad
Pr. EL JOUDI Rachid*
Pr. EL KABABRI Maria
Pr. EL KHANNOUSSI Basma
Pr. EL KHLOUFI Samir
Pr. EL KORAICHI Alae
Pr. EN-NOUALI Hassane*
Pr. ERRGUIG Laila
Pr. FIKRI Meryim
Pr. GHANIMI Zineb

Pharmacologie – Chimie
Toxicologie
Gastro-Entérologie
Anesthésie Réanimation
Anesthésie Réanimation
Réanimation Médicale
Anesthésie Réanimation
Biochimie-Chimie
Hématologie
Informatique Pharmaceutique
Immunologie
Anesthésie Réanimation
Néphrologie
Chimie Analytique
Traumatologie Orthopédie
Anatomie
Cardiologie
Réanimation Médicale
Pédiatrie
Anesthésie Réanimation
Radiologie
Neuro-Chirurgie
Médecine Nucléaire
Chimie Thérapeutique
Toxicologie
Pédiatrie
Anatomie Pathologie
Anatomie
Anesthésie Réanimation
Radiologie
Physiologie
Radiologie
Pédiatrie

Pr. GHFIR Imade
 Pr. IMANE Zineb
 Pr. IRAQI Hind
 Pr. KABBAJ Hakima
 Pr. KADIRI Mohamed*
 Pr. LATIB Rachida
 Pr. MAAMAR Mouna Fatima Zahra
 Pr. MEDDAH Bouchra
 Pr. MELHAOUI Adyl
 Pr. MRABTI Hind
 Pr. NEJJARI Rachid
 Pr. OUBEJJA Houda
 Pr. OUKABLI Mohamed*
 Pr. RAHALI Younes
 Pr. RATBI Ilham
 Pr. RAHMANI Mounia
 Pr. REDA Karim*
 Pr. REGRAGUI Wafa
 Pr. RKAIN Hanan
 Pr. ROSTOM Samira
 Pr. ROUAS Lamiaa
 Pr. ROUIBAA Fedoua*
 Pr. SALIHOUN Mouna
 Pr. SAYAH Rochde
 Pr. SEDDIK Hassan*
 Pr. ZERHOUNI Hicham
 Pr. ZINE Ali*

Avril 2013

Pr. EL KHATIB Mohamed Karim*
 Pr. GHOUNDALE Omar*
 Pr. ZYANI Mohammad*

Médecine Nucléaire
 Pédiatrie
 Endocrinologie et maladies métaboliques
 Microbiologie
 Psychiatrie
 Radiologie
 Médecine Interne
 Pharmacologie
 Neuro-chirurgie
 Oncologie Médicale
 Pharmacognosie
 Chirurgie Pédiatrique
 Anatomie Pathologique
 Pharmacie Galénique
 Génétique
 Neurologie
 Ophtalmologie
 Neurologie
 Physiologie
 Rhumatologie
 Anatomie Pathologique
 Gastro-Entérologie
 Gastro-Entérologie
 Chirurgie Cardio-Vasculaire
 Gastro-Entérologie
 Chirurgie Pédiatrique
 Traumatologie Orthopédie

Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale
 Urologie
 Médecine Interne

****Enseignants Militaires***

2- ENSEIGNANTS – CHERCHEURS SCIENTIFIQUES

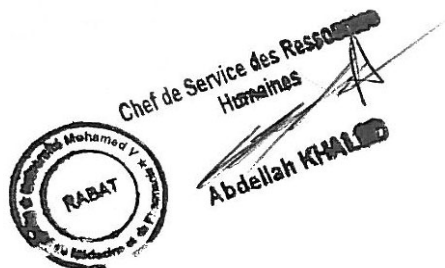
PROFESSEURS / PRs. HABILITES

Pr. ABOUDRAR Saadia
Pr. ALAMI OUHABI Naima
Pr. ALAOUI KATIM
Pr. ALAOUI SLIMANI Lalla Naïma
Pr. ANSAR M'hammed
Pr. BOUHOUCHE Ahmed
Pr. BOUKLOUZE Abdelaziz
Pr. BOURJOUANE Mohamed
Pr. BARKYOU Malika
Pr. CHAHED OUZZANI Lalla Chadia
Pr. DAKKA Taoufiq
Pr. DRAOUI Mustapha
Pr. EL GUESSABI Lahcen
Pr. ETTAIB Abdelkader
Pr. FAOUZI Moulay El Abbes
Pr. HAMZAOUI Laila
Pr. HMAMOUCI Mohamed
Pr. IBRAHIMI Azeddine
Pr. KHANFRI Jamal Eddine
Pr. OULAD BOUYAHYA IDRIS Med
Pr. REDHA Ahlam
Pr. TOUATI Driss
Pr. ZAHIDI Ahmed
Pr. ZELLOU Amina

Physiologie
Biochimie – chimie
Pharmacologie
Histologie-Embryologie
Chimie Organique et Pharmacie Chimique
Génétique Humaine
Applications Pharmaceutiques
Microbiologie
Histologie-Embryologie
Biochimie – chimie
Physiologie
Chimie Analytique
Pharmacognosie
Zootechnie
Pharmacologie
Biophysique
Chimie Organique
Biologie moléculaire
Biologie
Chimie Organique
Chimie
Pharmacognosie
Pharmacologie
Chimie Organique

Mise à jour le 09/01/2015 par le
Service des Ressources Humaines

- 9 JAN 2015



Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,

Le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que



Je dédie cette Thèse... ✍

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral
et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours
sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde
dans son vaste paradis, à
toi mon père.*

*Tu t'es investi à me transmettre le sens de la responsabilité,
de la persévérance et de la droiture.*

*Merveilleux papa, j'espère que j'ai été à la hauteur
de tes espérances.*

*Que ce travail soit le gage de ma reconnaissance
et de ma gratitude.*

*Que Dieu le tout puissant puisse te bénir et t'accorder une
Longue vie pleine de bonheur et de satisfaction.*

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de

mon cœur, ma vie et mon bonheur ;

maman que j'adore.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours

pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer

ce que tu mérites et pour tous les sacrifices que tu n'as

cessé de me donner depuis ma naissance,

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants

suivent le bon chemin dans leur

vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de

mon profond amour.

À mes très chers frères Rachid et Saad

*Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite
et de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes
sentiments de fraternité et d'amour.*

À ma très chère cousine Salma

*Merci pour ton aide et ton soutien durant tout au long de ce projet,
tu es ma très chère adorée.*

À tout les membres de ma famille, petits et grands

*Je ne saurais vous remercier pour tout le soutien que vous m'avez
accordé, vous avez toujours été présents pour moi. Que ce travail soit un
témoignage de ma profonde affection.*

À mes amis

*Karima Oumalek ; Schéhérazade Bounjouâ ; Fatima Zahra Marzaque ; Meryam
wahbi ; Kḥadija Benechou*

*En souvenir de ces années pendant lesquelles nous avons partagé joies et
difficultés. Veuillez trouver ici un témoignage de ma profonde estime et
ma sincère amitié. Après ma famille, vous êtes les personnes qui
comblent mon quotidien et dont j'apprends énormément.*

Remerciements

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

Monsieur le Professeur Mimoun ZOUHDI

Professeur de Microbiologie

*Nous vous remercions pour le privilège que vous nous avez accordé en acceptant
de présider le jury de cette thèse.*

Votre accueil, votre gentillesse et votre assistance m'ont beaucoup touché.

*Veillez trouver dans ce travail, l'expression de notre respect et de notre haute
considération.*

A NOTRE MAITRE ET RAPPORTEUR DE THESE

Monsieur le Professeur Abdelkader LAATIRIS

Professeur de Pharmacie Galénique

*C'est un immense honneur pour moi d'avoir pu travailler à vos cotés et
bénéficier de votre expérience.*

*Votre accueil, votre sympathie et votre disponibilité malgré vos multiples charges
professionnelles m'ont profondément touché.*

*Veillez accepter Monsieur, l'expression de ma profonde reconnaissance et ma
grande estime.*

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE

Madame le Professeur Saida TELLAL

Professeur de Biochimie

*Nous vous remercions vivement d'avoir accepté sans réserve de siéger parmi
le jury de notre thèse.*

*Votre humanisme, votre spontanéité et votre gentillesse ne sont un secret
pour personne.*

*Veuillez accepter, Madame, l'expression de ma grande admiration et mes
sincères respects.*

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE

Monsieur le Professeur Sakina ELHAMZAOUI

Professeur de microbiologie

*Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce
travail.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre profonde et respectueuse
reconnaissance.*

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE

Monsieur le Professeur Abdelkader BELMEKKI

Professeur d'Hématologie

Je vous remercie vivement d'avoir accepté de siéger parmi le jury de notre thèse.

J'ai été touchée par votre spontanéité et votre gentillesse.

Soyez assuré de notre profonde gratitude.

A NOTRE MEMBRE INVITE DE THESE

Monsieur le Docteur Amine DOGHMI

Médecin Spécialiste en Physiologie et Pathologie sportive

Je vous remercie vivement d'avoir accepté de siéger comme

membre invité de notre thèse.

J'ai été touchée par votre spontanéité, votre aide votre gentillesse.

Soyez assuré de notre profonde gratitude.

LISTE DES ABREVIATIONS

ADP :	Adénine di phosphate
AET :	Apport énergétique total
AEQT :	Apport énergétique total quotidien
AG :	Acide gras
AGL :	Acide gras libre
AMP :	Adénosine mono phosphate
ANC :	Apport nutritionnelles conseillés
AJR :	Apport nutritionnel recommandé
ANSES :	Agence national de sécurité, de l'alimentation et de l'environnement
ATP :	Adénosine tri phosphate
CNMS :	Centre national de la médecine du sport
CoA :	Coenzyme A
CO₂	Dioxyde de carbone
CPK :	Créatine phosphate kinase
DHEA :	Hormone déhydroépiandrosterone
GH :	Hormone de croissance
FADH₂ :	Flavine adénine di nucléotide
Fc :	Fréquence cardiaque
Fc max :	Fréquence cardiaque maximale
FR :	Fréquence respiratoire
HDL :	Lipoprotéine de haute densité
HT :	Hématocrite
H₂O	Eau
IMC :	Indice de masse corporelle
K⁺	Cation potassium
Kcal :	Kilocalorie
Kj :	Kilojoule
Kg P.c :	Par kilos de poids de corps
LDL :	Lipoprotéine de basse densité
Lipox_{max}	Utilisation maximale des lipides
Meq :	Milli équivalent
MET :	Equivalent métabolique
mg :	Milligramme
MG :	Masse grasses
ml :	milli litre
mmol :	milli mol
Na⁺	Cation de sodium
NaCl :	Chlorure de sodium
NADH⁺	Nicotinamide adénine di nucléotide
PMA :	Puissance maximale aérobie
PMA théo :	Puissance maximale aérobie théorique

QC :	Débit cardiaque
QR :	Quotient respiratoire
QR.L-G :	Quotient respiratoire lipido-glucidique
QV :	Débit ventilatoire
SL :	Seuil lactique
SV :	Seuil ventilatoire
T°	Température
TG :	Triglycérides
Vt :	Volume courant
VCO₂ :	Débit de gase cardiaque
VE :	Ventilation minute
VES :	Volume d'éjection systolique
Vg :	Volume globulaire
VLDL :	Lipoprotéine de plus basse densité
Vp :	Volume plasmatique
VO₂ :	Débit d'oxygène
VO₂ max :	Débit maximal d'oxygène
VO₂ max théo :	Débit maximale d'oxygène théorique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Doses journalière maximales en vitamines et minéraux	27
Tableau 2 :	Exemples des aliments riches en magnésium	55
Tableau 3 :	Equivalence calorique du QR et pourcentage Kcal	70
Tableau 4 :	Besoins en macronutriments chez le footballeur	98
Tableau 5 :	Apport journalier recommandé en micronutriments chez le footballeur professionnel	99
Tableau 6 :	Menu type de la journée d'athlète professionnel	108
Tableau 7 :	Besoins en macronutriments chez l'athlète	111
Tableau 8 :	Apport journalier recommandé en micronutriments chez l'athlète	112
Tableau 9 :	Menu type de la journée de coureur à pied	118
Tableau 10 :	Aliments conseillés et déconseillés 48h avant l'épreuve	127
Tableau 11 :	Besoins en macronutriments chez le coureur à pied selon l'AFSSA	130
Tableau 12 :	Apport journalier recommandé en micronutriments chez le coureur à pied	130
Tableau 13 :	Aliments conseillés et déconseillés chez le nageur	141
Tableau 14 :	Besoins en macronutriments chez le nageur	142
Tableau 15 :	Apport journalier recommandé en micronutriments chez le nageur	143
Tableau 16 :	Besoins en macronutriments chez le cycliste	149
Tableau 17 :	Apport journalier en micronutriments chez le cycliste	150
Tableau 18 :	Besoins en macronutriments chez le tennisman	160
Tableau 19 :	Apport journalier en micronutriments chez le tennisman	160
Tableau 20 :	Besoins en macronutriments chez le boxeur	165
Tableau 21 :	Apport journalier en micronutriments chez le boxeur	165
Tableau 22 :	Besoins en macronutriments chez le golfeur	173
Tableau 23 :	Apport journalier en micronutriments chez le golfeur	174
Tableau 24 :	Besoins en macronutriments chez le handballeur	181
Tableau 25 :	Apport journalier en micronutriments chez le handballeur	182
Tableau 26 :	Besoins en macronutriments chez le basketteur	187

Tableau 27 :	Apports en micronutriments chez le basketteur	187
Tableau 28 :	Besoins en macronutriments chez le rugbyman	192
Tableau 29 :	Apport journalier en micronutriments chez le rugbyman	192

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Le destin des aliments	7
Figure 2 :	Alimentation pour une activité physique	10
Figure 3 :	Métabolisme des glucides	14
Figure 4 :	Métabolisme des lipides	19
Figure 5 :	Métabolisme des acides aminés	23
Figure 6 :	Production de l'énergie à partir de la phosphocréatine	34
Figure 7 :	Méthode directe de la mesure de VO_2	40
Figure 8 :	VO_2 max et le plateau de VO_2	43
Figure 9 :	Les seuils SV1 et SV2	45
Figure 10	Modification de la ventilation globale en fonction de la consommation de l' O_2	59
Figure 11 :	Méthode de Beaver	61
Figure 12 :	Méthode de Wasserman	62
Figure 13 :	Point de croisement " crossover"	76
Figure 14 :	Football	90
Figure 15 :	Différents types d'efforts en football	91
Figure 16 :	Athlétisme	100
Figure 17 :	Muscles du bassin	104
Figure 18 :	Ischio jambier	106
Figure 19 :	Course à pied	113
Figure 20 :	Les muscles inférieurs	116
Figure 21 :	Natation	132
Figure 22 :	Crawl	133
Figure 23 :	Le dos crawlé	133
Figure 24 :	La brasse	134
Figure 25 :	Le papillon	134
Figure 26 :	Cyclisme	144
Figure 27 :	Tennis	151

Figure 28 :	Boxe	161
Figure 29 :	Golf	167
Figure 30 :	Handball	175
Figure 31 :	Basketball	183
Figure 32 :	Rugby	189

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 :	Variation des proportions des macronutriments en fonction des périodes	202
Graphique 2 :	Variation des proportions des glucides lents et rapides selon les périodes	202

SOMMAIRE

INTRTODUCTION.....	1
<u>PARTIE 1 : Physiologie de la nutrition.....</u>	3
I. Physiologie de la nutrition.....	4
1.1.Nombre de repas et régime alimentaire.....	4
1.2.Valeurs énergétiques des aliments.....	4
1.3.Le destin des aliments.....	5
1.4.Réserve et besoin journalier en substrats.....	7
1.5.Alimentation et activité physique.....	8
II. Métabolisme et voies métabolique.....	11
2.1.Métabolise glucidique.....	11
2.1.1. Transport sanguin du glucose.....	11
2.1.2. Voies du métabolisme glucidique.....	12
2.1.3. Régulation du métabolisme glucidique.....	15
2.2.Métabolisme lipidique.....	15
2.2.1. Voies du métabolisme lipidique.....	16
2.2.2. Régulation du métabolisme lipidique.....	17
2.2.2.1.Régulation allostérique.....	17
2.2.2.2.Régulation hormona.....	18
2.3.Métabolisme protidique.....	20
2.3.1. Voie métabolique des protides.....	20
2.3.2. Régulation du métabolisme protidique.....	21
2.3.2.1.Régulation hormonal.....	21
2.3.2.2.Régulation nutritionnel.....	22
III. Les compléments alimentaires.....	24
3.1.Définition.....	24
3.2.Réglementation des compléments alimentaires au Maroc.....	24
3.3.Classification.....	25
3.4.Composition qualitative et quantitative.....	26
3.4.1. Composition qualitative.....	26
3.4.2. Composition quantitative.....	27
3.5.Indications.....	29
3.6.Besoins nutritionnels	29
3.7. Besoins nutritionnels conseillés	30
3.8.Apports journaliers recommandés.....	30
3.9.Prise des compléments alimentaires chez un individu sain.....	30

3.10. Prise des compléments alimentaires chez un sportif.....	31
3.11. Risque de dopage suite à la prise des compléments alimentaires.....	32

PARTIE 2 : Physiologie de l'exercice musculaire.....33

I. Bioénergétique.....	34
1.1.Sources énergétiques.....	34
1.2.Métabolisme aérobie.....	35
1.2.1. Cycle de Krebs.....	36
1.2.2. Chaîne respiratoire.....	36
1.2.3. Bilan énergétique.....	37
1.2.4. Consommation d'oxygène et exercice physique.....	37
1.2.5. Consommation maximale d'oxygène VO2 max.....	38
1.2.5.1. Protocole de mesure.....	41
1.2.5.2.Paramètres de maximalité de l'épreuve d'effort.....	42
1.2.5.3.Appareil de mesure.....	46
1.3.Métabolisme anaérobie.....	47
1.3.1. Lactates sanguins.....	47
1.3.2. Lactatémie.....	48
1.3.3. Pouvoir tampon.....	48
1.3.4. Seuil anaérobie.....	48
1.3.5. Seuil anaérobie et performance sportive.....	49
II. Besoins et équilibres hydrominéraux.....	51
2.1.Rôle et besoin en eau.....	51
2.2.Déshydratation et performance.....	51
2.3.Sodium.....	53
2.4.Potassium.....	54
2.5.Magnésium.....	54
2.6.Hématocrite.....	55
2.7.Compensation physiologique.....	56
III.Adaptation cardio-respiratoire à l'exercice physique.....	56
3.1.Adaptation ventilatoire à l'exercice.....	56
3.1.1. Equivalent respiratoire.....	57
3.1.2. Relation entre consommation maximale d'oxygène consommé et lactates produits.....	58
3.1.3. Seuil ventilatoire	58
3.1.4. Détermination du seuil ventilatoire.....	59
3.2.Adaptation cardio-vasculaire à l'effort.....	63
3.2.1. Débit cardiaque (Qc).....	64

3.2.2. Fréquence cardiaque (Fc).....	64
--------------------------------------	----

PARTIE 3 : La balance d'utilisation énergétique.....65

Apports énergétiques.....	66
I. Dépenses énergétiques.....	66
1.1. Différentes dépenses énergétiques journalières.....	67
1.2. Calorimétrie indirecte.....	67
1.3. Quotient respiratoire.....	69
1.4. Critiques de l'utilisation de la calorimétrie indirecte.....	72
II. Balance d'utilisation gluco-lipidique.....	73
III. Concept du crossover.....	75

PARTIE 4 : Effets et méthodologie de l'entraînement.....77

I. Effets physiologiques de l'entraînement.....	78
1.1. Modifications du métabolisme aérobie.....	78
1.2. Modifications du métabolisme anaérobie.....	79
1.3. Changements cardio-respiratoires.....	79
1.4. Modification de la masse corporelle.....	81
II. Principes de l'entraînement.....	81
2.1. Principes relatifs à la charge d'entraînement.....	81
2.2. Principes des cycles d'entraînement.....	83
2.3. Principes de la spécialisation.....	83
2.4. Principes de proportionnalité.....	84
III. Programmation et organisation de l'entraînement.....	84
3.1. Différents types de programme.....	85
3.2. Organisation des microcycles.....	85

PARTIE 5 : La nutrition du sportif.....87

I. Introduction.....	88
II. Différents types de sport.....	90
2.1. Football.....	90
2.1.1. Présentation	90
2.1.2. Nutrition.....	93
2.2. Athlétisme.....	100
2.2.1. Présentation.....	100
2.2.2. Nutrition.....	107
2.3. Course à pied.....	113
2.3.1. Présentation.....	113
2.3.2. Nutrition.....	117

2.4.	Natation.....	132
2.4.1.	Présentation.....	132
2.4.2.	Nutrition.....	136
2.5.	Cyclisme.....	144
2.5.1.	Présentation.....	144
2.5.2.	Nutrition.....	146
2.6.	Tennis.....	151
2.6.1.	Présentation.....	151
2.6.2.	Nutrition.....	154
2.7.	Boxe.....	161
2.7.1.	Présentation.....	161
2.7.2.	Nutrition.....	163
2.8.	Golf.....	167
2.8.1.	Présentation.....	167
2.8.2.	Nutrition.....	169
2.9.	Handball.....	175
2.9.1.	Présentation.....	175
2.9.2.	Nutrition.....	177
2.10.	Basketball.....	183
2.10.1.	Présentation.....	183
2.10.2.	Nutrition.....	184
2.11.	Rugby.....	189
2.11.1.	Présentation.....	189
2.11.2.	Nutrition.....	190
III.	Alimentation des joueurs de football : cas du Fath Union Sport (FUS).....	193
3.1.	Introduction	193
3.2.	Matériel.....	194
3.3.	Méthode.....	194
3.4.	Résultats.....	194
3.4.1.	Jours de l'entraînement.....	194
3.4.2.	La veille du match.....	198
3.4.3.	Le jour du match.....	199
	a) Avant le match.....	199
	b) A là mi-temps.....	200
	c) Après le match.....	201
3.5.	Discussion.....	204
3.6.	Conclusion.....	212

RESUME

ANNEXES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION

« Ton alimentation est ta première médecine »

Hippocrate

« Si l'alimentation du sportif ne lui permet pas de gagner, les erreurs diététiques peuvent, à coup sûr, le faire perdre »

Creff Albert-françois

Plus de 2000 ans séparent ces deux citations qui soulignent l'importance de l'alimentation sur la santé en général et l'exercice physique en particulier.

L'intérêt pour la relation existant entre la nutrition et l'activité physique est loin d'être nouveau, bien que la quantité impressionnante d'ouvrages réalisés à ce sujet ces dernières années tende à le faire penser.

Une alimentation adaptée est tout d'abord un élément essentiel du maintien en bonne santé. Il en est de même de l'activité physique pratiquée de façon régulière, chez le sportif elle doit répondre aux besoins nutritionnels spécifiques liés aux adaptations physiologiques à l'exercice. Elle est essentiellement basée sur la prise d'aliments courants dans le cadre d'un apport équilibré et diversifié sous forme de repas et collations.

Pour un sportif, l'objectif principal est d'éviter tous les éléments susceptibles de retarder sa progression ou de nuire à ses performances, en évitant un certain type de comportement alimentaire (alimentation déséquilibrée, supplémentation anarchique ou habitude toxique) en faveur d'une conduite alimentaire saine agissant favorablement sur la pratique sportive, à même d'entraîner une optimisation du rendement à l'entraînement et des résultats en compétition.

La nécessité de s'alimenter découle simplement de l'énergie et des nutriments dont a besoin l'organisme pour assurer son bon fonctionnement.

Ces nutriments regroupent :

- Les glucides,
- Les lipides
- Les protides
- Les vitamines
- Les oligo-éléments
- L'eau

Dans les premières parties nous aborderons la physiologie de la nutrition et de l'exercice musculaire, ainsi la balance d'utilisation énergétique et par la suite on enchainera sur les effets et méthodologie de l'entraînement.

Une seconde partie sera réservée à la nutrition du sportif sur le plan théorique et pratique, à savoir comment une approche adaptée de l'alimentation en qualité et en quantité avant, pendant et après un effort, peut aider le sujet sportif à optimiser ses performances, en tenant toujours compte, bien sûr, du sport pratiqué.

La dernière partie rapporte un aspect pratique de la nutrition du sportif d'un club de football professionnel.

PARTIE 1 :

« Physiologie de la nutrition »

I. Physiologie de la nutrition :

1.1. Nombre de repas et régime alimentaire

Le nombre optimal de repas que l'homme doit consommer varie selon les auteurs.

Pour certaines études, il semble que manger moins souvent et prendre de plus gros repas (2 à 3 fois par jour) diminue la tolérance au glucose et fait augmenter le poids. Par contre, d'autres études n'ont pas confirmé ces résultats ; en effet, il semble que le fait de prendre plusieurs repas par jour n'exerce aucun effet bénéfique sur le métabolisme [1].

1.2. Valeur énergétique des aliments

Notre alimentation est constituée principalement de glucides, lipides et protides ; les valeurs énergétiques de ces substrats sont les suivantes :

- **1g de glucides libère 4 Kcal**
- **1g de protides libère 4 Kcal**
- **1g de lipides libère 9 Kcal** (plus que le double des glucides)

Pour un repas équilibré :

- **15%** de l'apport calorique total provient des protides
- **25%** de l'apport calorique total provient des lipides
- **55 à 60%** de l'apport calorique total provient des glucides

Des études récentes incitent à exprimer cet apport en fonction du poids corporel, pour harmoniser les dépenses énergétiques (activités physiques) avec les apports nutritionnels. Ce contrôle du poids permet de réaliser cet équilibre. Un poids stable signifie une adéquation entre apports et dépenses énergétiques [2-3].

1.3. Le destin des aliments

1^{ère} étape : la bouche

Dans la bouche les aliments sont mastiqués, coupés en petits morceaux et écrasés par les dents. Ils sont en même temps imprégnés de salive et ses enzymes (dont l'amylase qui est responsable de la transformation des amidons en glucides) et humidifiés.

Cet amalgame de bouchées liées par la salive s'appelle le bol alimentaire. Il est poussé par les mouvements de la langue vers le fond de la bouche pour être avalé.

2^{ème} étape : l'œsophage

C'est un tube creux qui relie la bouche à l'estomac. Dans la partie supérieure, le pharynx oriente et contrôle le passage des aliments. Ceux-ci descendent pendant une quinzaine de secondes dans l'œsophage par péristaltisme : les contractions progressives de la paroi de l'œsophage font avancer les aliments et contribuent à leur brassage mécanique. A la base, un clapet s'ouvre sur l'estomac.

3^{ème} étape : l'estomac

L'estomac est une poche entourée de muscles épais et puissants.

Dans ce réservoir, le bol alimentaire est brassé pendant 3 ou 4 heures. Les ondes de contractions produisent un malaxage qui réduit les aliments en bouillie. En même temps, les cellules qui tapissent la paroi interne de l'estomac, sécrètent les sucs gastriques (acide chlorhydrique et enzymes).

Ces sécrétions pouvant atteindre 2 litres par 24 heures provoquent une dégradation chimique du bol alimentaire dans un milieu très acide.

On y trouve deux principaux enzymes :

- La pepsine : transforme les molécules de protéines en peptides,
- La lipase gastrique : transforme les triglycérides en acides gras et glycérol.

4ème étape : l'intestin

Dans l'intestin, les aliments sont digérés et les nutriments obtenus sont absorbés, passent dans la lumière intestinale puis dans le sang sous forme de glucose, de chylomicrons (lipides) et d'acides aminés.

5ème étape : le sang

Les nutriments sont transportés par le sang dans les organes (foie, reins....) ou les tissus (muscles, globules rouges, graisses corporelles) et pénètrent dans les cellules.

Chaque organe, tissu a des caractéristiques métaboliques propres.

Les cellules hépatiques ou hépatocytes représentent un modèle, car le foie joue un rôle fondamental dans tous les métabolismes.

6ème étape : le cytosol

Les nutriments, sitôt franchie la membrane cellulaire de l'hépatocyte, arrivent au sein du cytosol. Le cytosol est le siège principal du métabolisme intermédiaire qui consiste en une dégradation progressive des nutriments en molécules plus petites.

7ème étape : la mitochondrie

C'est le stade ultime des nutriments qui produisent l'énergie indispensable aux fonctions des cellules. Les mitochondries sont au centre du métabolisme énergétique. Les divers métabolites issus de la dégradation des nutriments dans le cytosol sont transportés dans les milliers de mitochondries que contient une cellule, leur dégradation s'y poursuit et conduit à une petite molécule clé à 2 atomes de carbone : l'acétyl-coA ; ce dernier joue un rôle crucial dans le métabolisme, c'est le produit commun de la dégradation des nutriments et la voie d'entrée dans le catabolisme final qui consiste à séparer le carbone de l'hydrogène et à récupérer l'énergie chimique qui conduira à la formation de l'ATP, monnaie énergétique de la cellule.

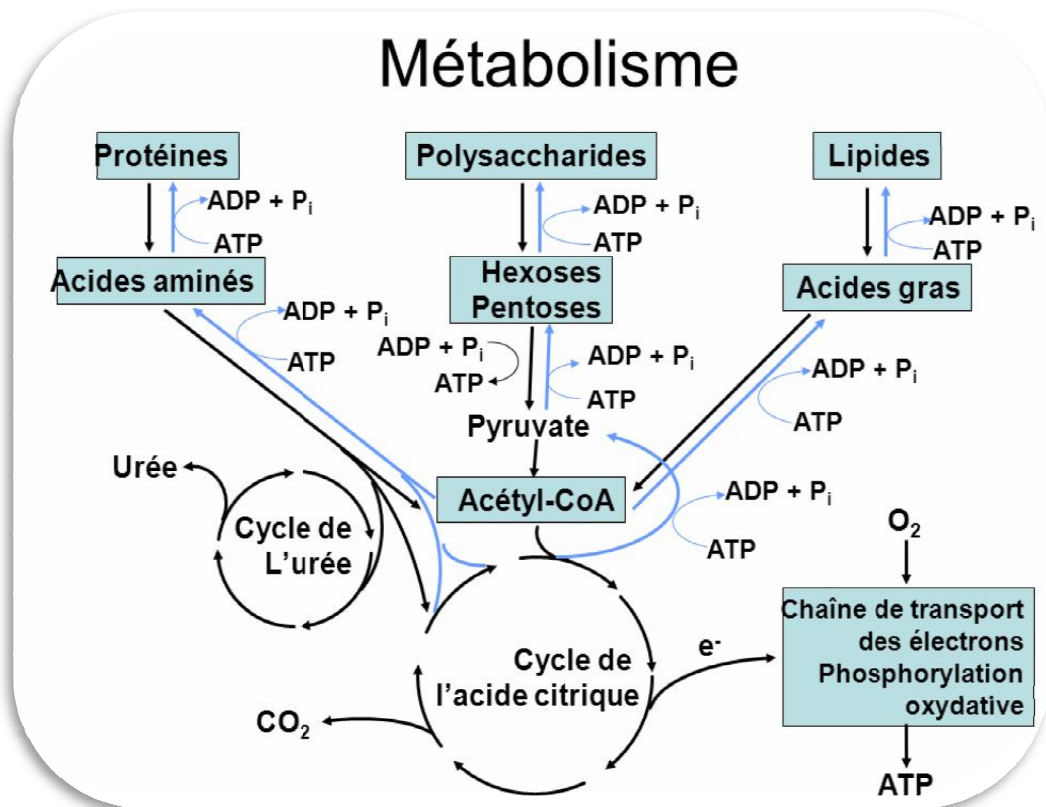


Figure 1 : Le destin des aliments [4]

1.4. Réserves et besoins journaliers en substrats

Les organes de stockage énergétique sont essentiellement le foie, les muscles et le tissu adipeux. Les réserves les plus rapidement utilisées lors de l'exercice musculaire sont les réserves en hydrates de carbone qui sont stockées essentiellement sous forme de glycogène. Pour un adulte de 70 Kg, les réserves glycogéniques totales représentent au repos environ 600 à 1000g selon l'état nutritionnel, soit 2400 à 4000 Kcal mobilisables dont 30% sont stockées dans le foie et 70% dans le muscle. Seules les réserves de glycogène musculaire sont métabolisées uniquement in situ [5].

L'apport en glucides devrait représenter l'équivalent de 55% de l'apport énergétique total quotidien : AETQ.

Les réserves lipidiques représentent 16 Kg de triglycérides et acides gras, soit, 140000 Kcal, stockées essentiellement dans les adipocytes, mais également sous forme de vacuoles lipidiques intercalées entre les fibres musculaires (2800 Kcal). A ces réserves s'ajoutent les substrats énergétiques des lipides circulant pour quelques centaines de Kcal seulement. Les lipides devraient constituer environ 30% de l'AETQ. Les réserves protidiques, principalement musculaires, représentent un total de 41000 Kcal. Celle-ci est faiblement utilisée lors de la contraction musculaire. Certains acides aminés sont directement oxydés dans le muscle. Par ailleurs, la mobilisation du pool total des acides aminés intramusculaires contribue, lors d'exercices prolongés, au maintien de la glycémie par le biais de la néoglucogenèse hépatique [6].

Les protides devraient constituer 12 à 16% de l'AETQ, l'apport nutritionnel étant de 0,8 à 1g / Kg de poids corporel et par jour.

Pour l'eau, l'AETQ de base étant de 2000 à 2500 Kcal/jour requiert environ 2 à 2,5l d'eau par jour. Les besoins d'apport hydrique peuvent s'élever chez le sportif à 5 voire 10 l si les pertes sudorales sont aussi élevées, les conditions ambiantes pouvant profondément moduler les besoins [7].

1.5. Alimentation et activité physique :

Les aliments que nous ingérons ne sont pas directement utilisables au niveau cellulaire. Ils sont principalement composés de carbone, d'hydrogène et d'azote : glucose, acides gras et acides aminés. Un des buts de la digestion est de casser les molécules complexes afin de les rendre plus simples et d'utiliser l'énergie libérée en la stockant dans une molécule qui porte le nom d'ATP « adénosine triphosphate » ; l'énergie contenue dans la liaison phosphate-phosphate est de 7,6 Kcal / mole d'ATP.

Dans le sens inverse, le processus de stockage de l'énergie lors de la synthèse de l'ATP est appelé « phosphorylation » [8].

Le corps du sportif a besoin d'un apport nutritif particulier et spécifique pour équilibrer les dépenses et les pertes avec les entrées en terme d'énergie, de liquides, de macronutriments et de micronutriments. L'équilibre nutritionnel est le support d'un environnement physiologique et biochimique propre à assurer le potentiel athlétique et l'assimilation optimale des séances, en particulier le maintien de l'homéostasie cellulaire, processus directement en relation avec la récupération. Il nécessite une bonne alimentation [2].

Assurer à l'athlète un statut nutritionnel satisfaisant implique une alimentation équilibrée, diversifiée et adaptée. L'équilibre permet une répartition harmonieuse de la ration énergétique sur une journée et participe à procurer une efficacité maximale à l'organisme aussi bien au niveau du renouvellement des tissus, de la croissance éventuelle que de la réalisation d'une performance motrice [3].

L'équilibre nutritionnel regroupe les aspects suivants :

- un apport énergétique : il compense les dépenses occasionnées par l'entraînement, la reconstitution des réserves et la stabilité pondérale;
- Une bonne répartition des aliments ingérés entre les différentes familles de nutriments fournisseurs d'énergie, ce qui constitue la ration alimentaire;
- Une répartition équilibrée des apports alimentaires au cours de la journée afin d'éviter de rester pendant de longues périodes sans apports énergétiques;
- Une combinaison appropriée des aliments au cours des repas;
- Une prévention des déficits en micronutriments;
- Une bonne hydratation qui garantit une bonne élimination des déchets et une efficace thermorégulation. Un apport hydrique insuffisant lors d'effort de longue durée ou sous des climats difficiles, contribue à une déshydratation progressive. Lorsqu'elle dépasse le seuil critique de 2% du poids corporel, des effets nocifs peuvent s'observer au niveau des muscles ou des tendons, accompagnés d'une diminution des aptitudes physiques. Pour éviter ces effets délétères, il est fortement recommandé de réhydrater efficacement et régulièrement avant, pendant, et juste après l'effort.
- Un apport alimentaire sans privation chronique
- Le maintien d'une bonne vigilance et d'un système immunitaire opérationnel : une hypoglycémie ou une carence minérale, par exemple peuvent altérer les fonctions

mentales et l'insuffisance de certains substrats peut altérer les défenses immunitaires [2].



Figure 2 : Alimentaires pour une bonne activité physique. [9]

I. Métabolisme et voies métabolique

2.1.Métabolisme glucidique

Les glucides ou hydrates de carbone sont la source d'énergie humaine la plus importante. Ils fournissent, dans les conditions normales, les 2/3 de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire [10]. Les glucides sont susceptibles d'apporter rapidement des calories disponibles et faciles à métaboliser [11]. Ils représentent 50 à 60% de l'apport énergétique total et peuvent donner 16 à 18 Kj (3,8 à 4,3 Kcal/g) ou par litre d'O₂, on obtient la valeur calorifique de 21,3 Kj, soit, 5,1 Kcal qui correspond à 6,34 moles d'ATP.

Dans la cellule musculaire, le glucose peut, soit, entrer directement dans le cycle de production d'énergie, soit, être polymérisé en une substance de réserve : le glycogène.

Il est important de préciser que la cellule musculaire utilise le glucose circulant et épargne, ainsi, ses réserves en glycogène. Mais, en revanche, elle ne peut pas libérer du glucose dans la circulation.

Deux facteurs sont capables d'influencer les stocks du glycogène musculaire :

L'entraînement et l'alimentation. La combinaison harmonieuse des deux facteurs procure le meilleur résultat [3].

2.1.1. Transport sanguin du glucose :

Le glucose contenu dans le type digestif travers la paroi de l'intestin grêle puis celle des vaisseaux sanguins pour rejoindre le sang, l'augmentation de la glycémie déclenche la sécrétion d'insuline sécrétée par les cellules β du pancréas. Le foie, premier tissu traversé par le sang, capte 30 à 40% du glucose. Le glucose restant se répartit entre les autres tissus, cerveau, globules rouges, tissu adipeux, muscles....

Il est dégradé en pyruvate par la voie de la glycolyse et stocké par glycogénogenèse sous forme de glycogène dans le foie et les muscles.

2.1.2. Voies du métabolisme glucidique

Plusieurs voies métaboliques interviennent pour permettre le stockage ou l'hydrolyse des réserves glycogéniques. Elles se résument en :

- **La glycogénogenèse** (du glucose au glycogène) :

La glycogénogenèse permet de stocker le glucose sous forme d'un polysaccharide de réserve : le glycogène. Cette filière est commune à de nombreux tissus, mais, a lieu principalement dans le foie et les muscles. La capacité de stockage est de 50 à 60g/Kg de tissu. Soit, environ 100g dans le foie et 400g dans les muscles.

- **La glycogénolyse** : (du glycogène hépatique au glucose sanguin) :

C'est l'hydrolyse des réserves du glycogène, elle s'effectue dans le foie et les muscles. Elle permet à l'organisme de puiser dans sa réserve glucidique lorsque l'apport alimentaire du glucose est interrompu. Cependant, les finalités métaboliques de la glycogénolyse sont différentes selon les tissus :

- Le foie libère du glucose dans le sang à partir de sa réserve de glycogène en situation de jeûne, il assure ainsi un taux constant de la glycémie permettant de couvrir ses besoins énergétiques du cerveau et des cellules glucodépendantes qui nécessitent du glucose pour survenir leur métabolisme (comme les neurones).

- Le muscle ne libère pas de glucose dans le sang malgré une réserve glycogénique plus importante (400g). La glycogénolyse permet au muscle de couvrir ses propres besoins énergétiques pendant quelques jours en cas de jeûne.

- **la glycolyse** : (du glucose au pyruvate)

C'est une chaîne enzymatique qui permet la dégradation du glucose en pyruvate.

Elle consiste en l'oxydation progressive de glucose (6Carbones) en 02 molécules de pyruvates à 3Carbones. Le pyruvate est transformé, soit en acide lactique et produisant de l'ATP en

faible quantité, soit en acétyl-coA et regagne les mitochondries pour produire de l'énergie, du CO₂, du H₂O et de la chaleur [12].

- **La glycolyse aérobie** : c'est l'oxydation dans le cycle de Krebs de l'acide pyruvique produit par la dégradation du glucose dont les différentes dégradations donnent le CO₂ et le H₂O [13], l'eau est partiellement retenue dans l'organisme pour contribuer au maintien de l'homéostasie, tandis que le CO₂ est rejeté dans l'atmosphère par les poumons. La source glycolytique fournit, en oxydant complètement une molécule de glucose, environ 30 ATP.
- **La glycolyse anaérobie** : les réactions de la glycolyse anaérobie, identique à celle de la glycolyse aérobie produisant du pyruvate, mais, celui-ci est aussitôt réduit en lactate dans le cytosol. La production d'ATP est faible mais rapide, immédiatement disponible : 2 ATP par molécule de glucose, elle représente environ 10% de l'ATP total synthétisé par l'organisme. Le lactate n'est pas utilisé in situ. Il quitte la cellule qui l'a produit et diffuse dans le sang, il est capté ensuite par les tissus, il peut être transformé en glucose dans le foie ; c'est la néoglucogenèse lactique qui ferme le cycle de Cori. En situation de jeûne, la néoglucogenèse lactique fournit du glucose aux tissus glucodépendants comme le cerveau [14].

- **La néoglucogenèse :**

Le terme désigne la voie de synthèse du glucose à partir de composés : lactate, acides aminés et glycérol. C'est une voie caractéristique du foie. Il s'agit d'une biosynthèse fondamentale, qui, assure seule le maintien de la glycémie quand le jeûne dépasse quelques heures. La quantité de glucose produite peut dépasser 200g/jour.

Au repos et à distance des repas, la néoglucogenèse fournit 25% du glucose consommé. Pendant l'exercice physique, l'augmentation des taux circulants de glucagon et des catécholamines provoque une stimulation de la néoglucogenèse hépatique. Le lactate et l'alanine jouent un rôle prépondérant, le lactate pour les efforts à intensité entre 75 et 100% de la VO₂, l'alanine lors des efforts soutenus pendant plusieurs heures. La néoglucogenèse s'intensifie d'autant plus que l'exercice est intense et prolongé [13].

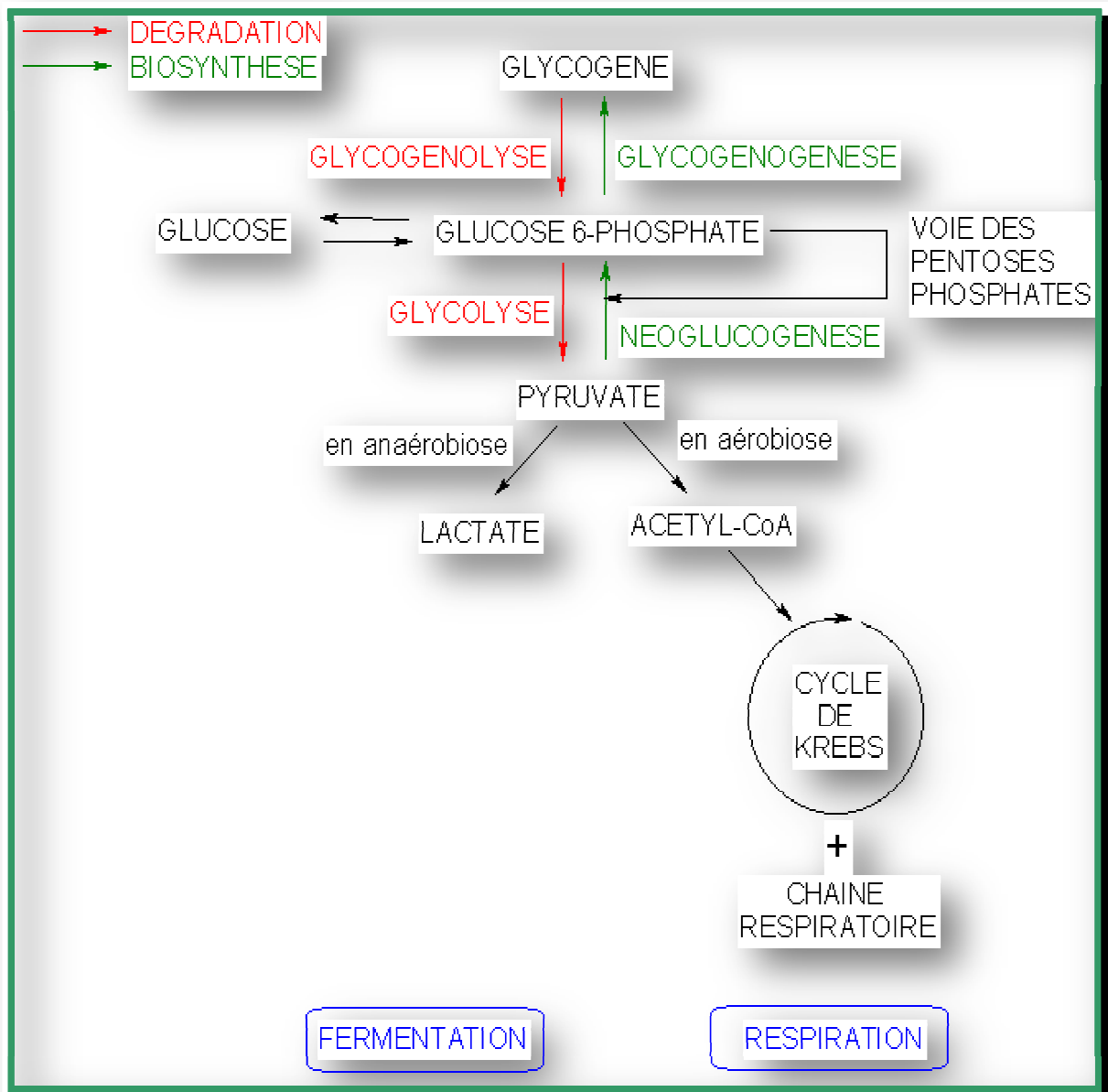


Figure 3 : Métabolisme des glucides. [15]

2.1.3. Régulation du métabolisme glucidique :

La régulation du métabolisme énergétique est assurée par une variable hormonale essentielle : le rapport insuline/glucagon. Schématiquement, l'insuline est l'hormone de la période alimentaire et de l'anabolisme, alors que le glucagon est l'hormone du jeûne et du catabolisme. Ces hormones peptidiques exercent leurs actions régulatrices à différents niveaux [6]. La combinaison des effets de l'insuline et du glucagon explique le passage de l'état d'alimentation à l'état de jeûne [16].

2.2.Métabolisme lipidique

Les lipides constituent la partie grasse des aliments, dont le point commun est l'insolubilité dans l'eau [11]. Ils sont transportés dans le sang sous forme de lipoprotéines, l'acide gras (AG) est l'élément structural des lipides. Les substrats lipidiques se résument en :

- **Les lipoprotéines** : ils sont les formes circulantes des lipides sanguins. Selon leur densité, on distingue : les VLDL (*Very Low Density Lipoproteins*) : ils transportent surtout les triglycérides, les LDL (*Low Density Lipoproteins*) : ils transportent le cholestérol et les phospholipides et les HDL (*Hight Density Lipoproteins*) : ils contiennent le plus de protéines [17].
- **Les triglycérides** : c'est la forme de mise en réserve des graisses, le muscle en activité utilise surtout les triglycérides pour contribuer à l'apport énergétique. Lors de la digestion, les lipides, entièrement décomposés en glycérols et acides gras, sont immédiatement resynthétisés en triglycérides, c'est donc sous cette forme que les lipides arrivent au foie. La première étape du catabolisme d'une molécule de triglycéride est la séparation de la molécule de glycérol et des 3 molécules d'acides gras. Une fois séparées, ces molécules passent dans le sang, leurs destinées vont être différentes : en majorité, les molécules de glycérol sont captées par le foie pour y jouer le rôle de précurseur de la néoglucogenèse, en revanche, les 3 acides gras pénètrent dans les fibres musculaires, pour être utilisés à des fins énergétiques [13].

- **Les acides gras** : Ils assurent la synthèse des triglycérides lors de l'estérification des acides gras et du glycérol en triglycérides (stockage) et lors de l'hydrolyse des triglycérides (lipolyse). Ils sont libérés dans le sang, transportés vers les tissus ou ils sont oxydés à des fins énergétiques à l'exception des cellules glucodépendantes et du cerveau. Le foie, seul, convertit le flux important des acides gras en corps cétoniques via l'acétylcoA.
- **Les corps cétoniques** : on regroupe sous le nom de « corps cétoniques » des petites molécules très diffusibles dans le sang et les tissus périphériques. La synthèse des corps cétoniques est très active en situation de jeûne lorsque les acétyl-coA sont produits en abondance, surtout par l'oxydation des acides gras issus de la lipolyse adipocytaire. L'utilisation des corps cétoniques a lieu dans les mitochondries des tissus périphériques qui les utilisent comme carburant de relais de glucose [6].

Situation alimentaire normale :

Le métabolisme des lipides alimentaires débute par leur digestion et leur absorption intestinale. Les nutriments lipidiques obtenus sont sous forme de lipoprotéines solubles : les chylomicrons, ceux-ci parvenus dans le sang, sont hydrolysés par une enzyme vasculaire, ils libèrent des acides gras. Dans leur la majorité, les acides gras circulants d'origine exogène et endogène sont captés par le tissu adipeux et stockés sous forme de triglycérides.

2.2.1. Voies du métabolisme lipidique :

Plusieurs voies métaboliques interviennent pour, soit la resynthèse des acides gras, soit, la dégradation des triglycérides. Ces voies se résument en :

- **La lipogenèse** : C'est la synthèse d'acides gras à partir de l'acétyl-coA, elle a lieu dans le foie, elle augmente lorsque l'apport énergétique dépasse les besoins, conduisant à stocker les surplus nutritionnels sous forme de triglycérides. Elle est stimulée par une alimentation riche en acides gras et en glucides, parallèlement, l'insuline inhibe leurs dégradations. Les cellules adipeuses contiennent la plus importante réserve énergétique. Cette réserve est constituée de triglycérides.

- **La lipolyse** : C'est la dégradation des triglycérides en acides gras. Elle a lieu lorsque les taux des acides gras circulants diminuent principalement en période de jeûne, lors de l'exercice physique prolongé ou pour la défense contre le froid.

Les acides gras libérés passent dans le sang où ils sont transportés vers les tissus où ils sont oxydés pour des fins énergétiques; ils entrent dans le cycle de Krebs par l'intermédiaire de l'acétyl-coA et sont catabolisés en CO₂ et H₂O fournissant de l'énergie.

Le glycérol libéré, non utilisable in situ par l'absence de glycérol-kinase, est capté par le foie qui le transforme en glucose via la néoglucogenèse.

L'oxydation des acides gras est très active en période de jeûne lorsque la lipolyse du tissu adipeux est intense et libère de grandes quantités d'acides gras dans le sang. Le cycle se répète plusieurs fois décrivant une hélice (hélice de Lynen) libérant à chaque fois, un acétyl-coA et un acétyl-coA réduit de 2C. Chaque cycle d'oxydation libère une grande quantité d'énergie. Les acétyl-coA sont oxydés par le cycle de Krebs et les coenzymes réduits par la chaîne respiratoire. [18]

2.2.2. Régulation du métabolisme lipidique :

La libération des acides gras par le tissu adipeux est contrôlée :

- Par la vitesse de l'hydrolyse des triacylglycérol et celle de leur utilisation par les tissus périphériques ;
- et par celle de l'estérification du glycérol 3-èpar les acyl-CoA.

2.2.2.1. Régulation allostérique :

Dans le foie la b-oxydation et la réestérification des acyl-CoA sont possibles. La vitesse de l'oxydation des acides gras est déterminée par la vitesse de transport du radical acyle à travers la membrane mitochondriale interne.

Elle peut être modulée par le taux de malonyl-CoA cytosolique. Le malonyl-CoA, lorsqu'il s'accumule dans le cytosol, devient un effecteur négatif de *l'acyl-carnitine transférase 1 (ACT1)*.

Ce faisant, il inhibe l'approvisionnement de la voie de β -oxydation en acyl-CoA et stimule la biosynthèse des acides gras. Nous assistons ici encore à une régulation coordonnée allostérique de la lipolyse et de la lipogenèse.

2.2.2.2. Régulation hormonal :

La vitesse de l'hydrolyse des triglycérides est accélérée par des hormones (adrénaline, noradrénaline, glucagon, cortisol etc.) qui activent la triglycéride lipase par phosphorylation catalysée par la **protéine kinase A**. La libération des acides gras dans le sang, transportés par l'albumine, constitue un signal pour leur utilisation par les tissus périphériques tels que le cœur, le muscle squelettique et le foie. En même temps la protéine kinase A phosphoryle et inactive l'acétyl-CoA carboxylase.

L'insuline, par l'intermédiaire de l'activation d'une protéine phosphatase, a des effets antagonistes par rapport aux hormones précédemment citées. L'enzyme, en retirant les groupements phosphates, inhibe la triglycéride lipase (effet antilipolytique) alors qu'elle restitue à l'acétyl-CoA carboxylase son activité (stimulation de la lipogenèse).

On constate que, par l'intermédiaire de la protéine kinase A et de la protéine phosphatase, les deux groupes d'hormones assurent une régulation coordonnée de la lipolyse et de la lipogenèse.

L'insuline favorise aussi l'entrée du glucose dans le tissu adipeux, active la glycolyse qui fournit le pyruvate qui sera converti en acétyl-CoA pour la synthèse des acides gras et le glycérol nécessaire à la formation des triglycérides. En cas d'excès de glucides, l'hormone stimule, à la fois, le pyruvate déshydrogénase et l'acétyl-CoA carboxylase.

En cas de jeûne, la libération des acides gras par le tissu adipeux s'accroît et la cétonogénèse s'accélère. Après un jeûne de 3 semaines, le taux sanguin en corps cétoniques est de 8 mmol.l⁻¹. Le cerveau s'adapte à l'utilisation des corps cétoniques et 70 % de ses besoins énergétiques sont couverts par les corps cétoniques [19].

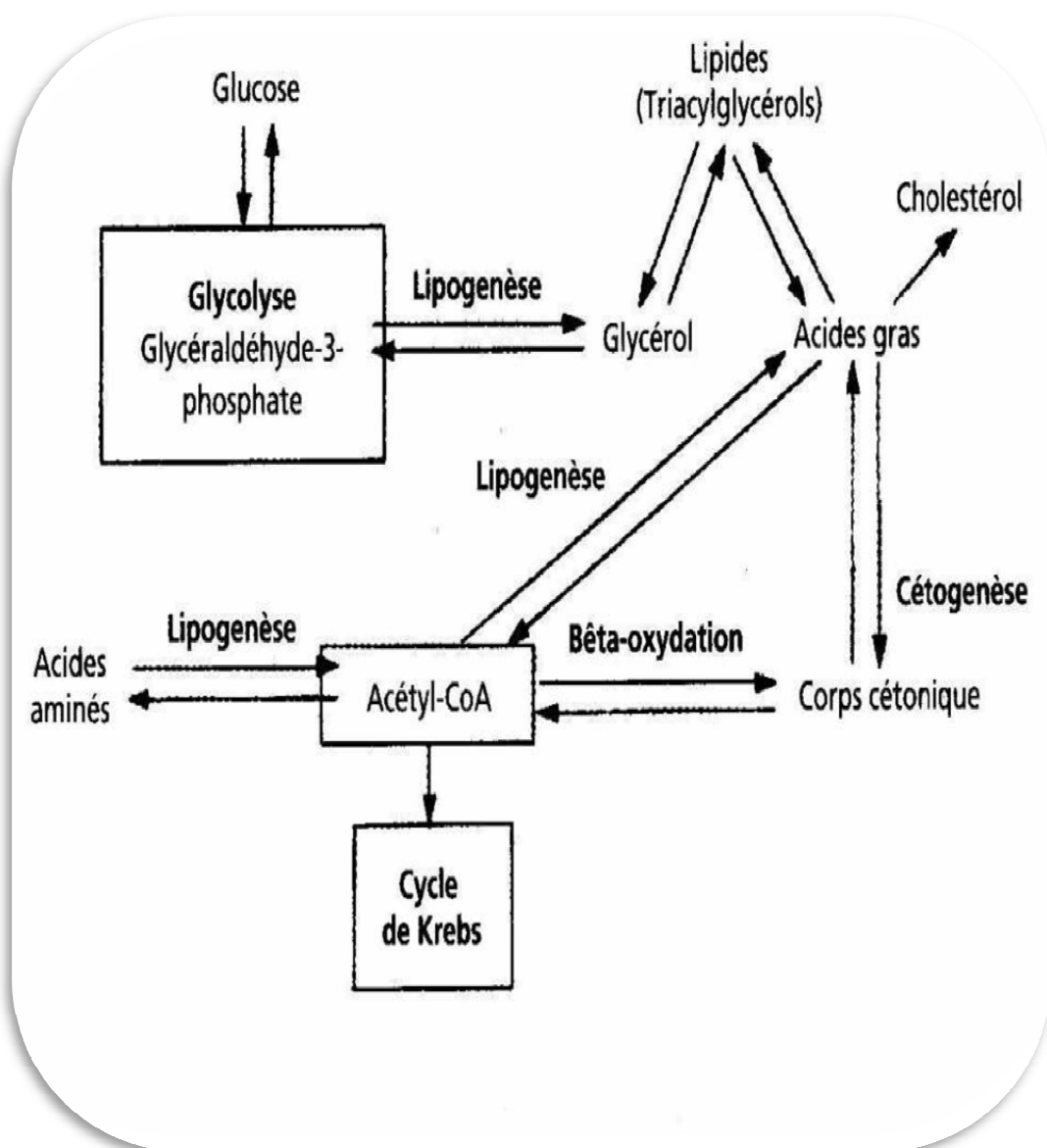


Figure 4 : métabolisme des lipides. [20]

2.3. Métabolisme protidique

Les protéines comprennent les protéines et leurs produits de dégradation : les acides aminés. Elles remplissent dans la cellule des fonctions extrêmement variables.

Certaines protéines ont un rôle structurel, d'autres permettent de véhiculer diverses molécules soit dans le sang, soit au travers des membranes cellulaires ; d'autres exercent un effet spécifique comme les catalyseurs chimiques (enzymes) ; accessoirement, elles peuvent donner de l'énergie banale et fournir du glucose aux organes glucodépendants. L'apport alimentaire représente 10 à 15% de la ration calorique [7-21].

2.3.1. Voies métaboliques des protides

Les protéines de l'organisme ne peuvent pas être stockées. Elles sont simultanément synthétisées et détruites réalisant un renouvellement protéique permanent appelé « turn-over protéique » d'environ 200 à 300 g/jour par le biais de deux voies métaboliques :

- **La protéosynthèse** : elle implique la présence des 20 acides aminés protéinogènes qui proviennent des protéines alimentaires ou de la protéolyse intracellulaire. C'est la voie métabolique la plus complexe et la plus coûteuse en énergie malgré cela, les protéines sont fabriquées à des vitesses élevées et le processus se déroule en de nombreuses étapes dans les ribosomes du réticulum endoplasmique.
- **La protéolyse** : les acides aminés libérés représentent des substrats oxydables par les mitochondries pour la production d'énergie :
 - **Formation des corps cétoniques** : 6 acides aminés conduisent à la formation des corps cétoniques, ils sont appelés acides aminés cétoxydables,
 - **Formation du glucose à partir des acides aminés** : 18 acides aminés sont impliqués dans la production du glucose via le pyruvate ; ce sont les acides aminés glucoformateurs, ils produisent du glucose principalement en situation de jeûne lorsque la protéolyse est active.

- **Production d'acides gras à partir des acides aminés** : tous les acides aminés peuvent conduire à la production d'acides gras, cette production survient à partir des acides aminés lors d'apports protéiques importants.

2.3.2. Régulation du métabolisme protidique :

Cette régulation est d'une part hormonale, d'autre part nutritionnelle (c'est-à-dire par les substrats eux-mêmes). Cette distinction est artificielle puisque dans la majorité des circonstances physiologiques, ces deux modes de régulation sont simultanés et agissent en synergie lors de la prise alimentaire.

2.3.2.1. Régulation hormonal :

Les hormones peuvent être **anabolisantes** (favorisant le gain protéique) ou **catabolisantes** (favorisant la perte protéique).

L'insuline :

Il s'agit d'une hormone anabolisante indispensable au gain protéique et à la croissance. Son mécanisme d'action en terme de synthèse et de protéolyse continue cependant à faire l'objet d'une vive controverse. Un gain protéique peut en effet être obtenu par augmentation de la synthèse protéique, par réduction de la protéolyse ou par les deux phénomènes combinés.

L'hormone de croissance :

Elle est anabolisante essentiellement par un effet stimulant de la synthèse protéique agissant directement et par l'intermédiaire des facteurs de croissance (IGF1)

Les catécholamines :

Elles réduisent la protéolyse ou augmentent la synthèse protéique,

Les glucocorticoïdes :

Ils sont catabolisants par l'augmentation de la protéolyse musculaire et par l'inhibition de la traduction des protéines.

Les hormones thyroïdiens et le glucagon :

Ils ont des effets plus complexes :

- en ce qui concerne les hormones thyroïdiennes, l'hyperthyroïdie induit une fonte musculaire suggérant une augmentation de la protéolyse et également une réduction des synthèses protéiques dans différents tissus. Cependant, ces phénomènes et en particulier la réduction de synthèse protéique sont retrouvés également dans les situations d'hypothyroïdie et l'on sait également que les hormones thyroïdiennes sont indispensables à la croissance. Il est donc difficile de classer les hormones thyroïdiennes comme anabolisantes ou catabolisantes et l'on peut dire qu'un niveau optimal moyen d'hormone thyroïdienne est nécessaire à un bon équilibre entre synthèse et dégradation.
- en ce qui concerne le glucagon, son importance réelle dans la régulation du métabolisme protéique est contestée et semble se situer surtout au niveau du métabolisme splanchnique des acides aminés. Malgré des données contradictoires, un effet catabolisant semble prédominant.

Cytokines (interleukines, TNF) :

Elles sont catabolisantes au niveau du muscle. Leurs effets varient selon les cytokines et les tissus. Les cytokines comme TNF agissent en synergie avec le cortisol et la combinaison de leurs effets provoque une protéolyse rapide et massive à l'origine d'une fonte protéique musculaire.

2.3.2.2.Régulation nutritionnelle :

- a) **les acides aminés** : que ce soit in vitro ou in vivo, les acides aminés stimulent globalement la synthèse protéique. Cet effet est particulièrement net pour les acides aminés branchés, cette spécificité ne s'étant toutefois pas traduite par une efficacité particulière des solutés enrichis en acides aminés branchés en raison d'une possible compétition entre les acides aminés.

b) les autres substrats énergétiques : de façon générale, un apport énergétique suffisant est indispensable au maintien d'un bilan azoté neutre ou positif. La source des apports énergétiques n'est pas indifférente et classiquement, les glucides auraient un effet d'épargne azotée supérieur à celui des lipides au moins dans des circonstances d'apport énergétique limité. Cette notion est très discutée voire erronée pour certains et de toute façon, n'est plus vraie lorsque les apports énergétiques sont excédentaires.

Cette liaison entre apports énergétiques et métabolisme protéique relève de plusieurs mécanismes complémentaires :

- le renouvellement protéique (synthèse mais aussi protéolyse) est, comme vu plus haut, un consommateur d'énergie important. Une limitation de l'apport énergétique se traduira donc par son ralentissement.
- les acides aminés et le glucose sont en compétition au niveau de l'oxydation mitochondriale par un mécanisme similaire à celui du cycle de Randle entre glucose et lipides. Un déficit d'apports en ces substrats énergétiques se traduira donc par une oxydation plus importante des acides aminés qui ne seront plus disponibles pour la synthèse protéique.
- certains substrats (acides gras à chaîne moyenne par exemple) peuvent avoir un effet spécifique d'activation des enzymes de dégradation des acides aminés.
- les substrats énergétiques agissent enfin par l'intermédiaire des hormones et en particulier, par l'insuline (glucose → insuline → réduction de la protéolyse) [22].

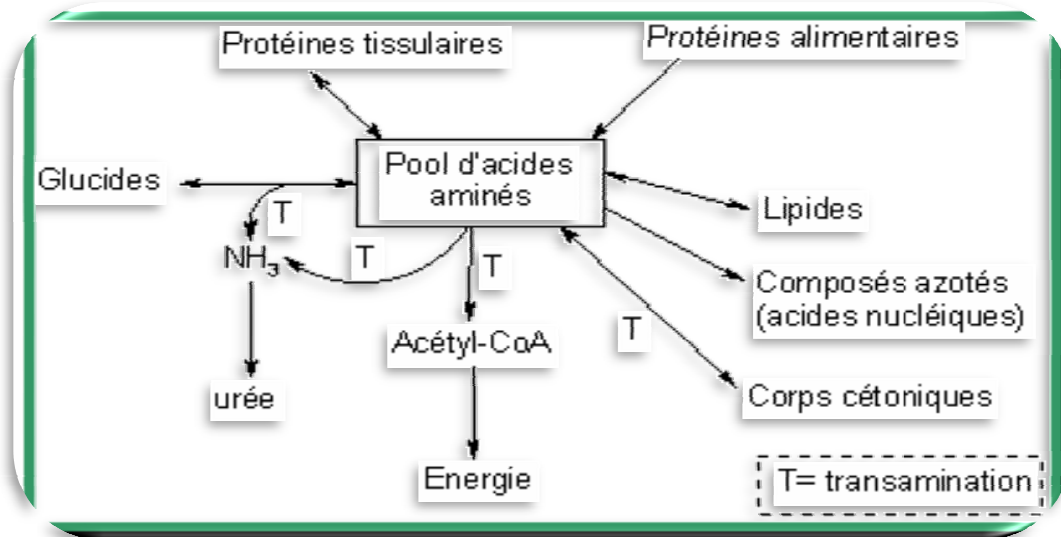


Figure 5 : Métabolisme des acides aminés. [23]

II. Les compléments alimentaires :

3.1.Définition :

Le concept de compléments alimentaires est relativement récent. Il a été défini par la directive 2002 /46/CE du Parlement européen, transposé par le décret 20 mars 2006 : « on entend par complément alimentaire les denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments et des ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seul ou combiné...»

La législation précise également qu'ils sont « commercialisés sous forme de doses à savoir les formes de présentation telles que les gélules, les pastilles ; les comprimés, les pilules ou autres formes similaires, ainsi les sachets de poudre, les ampoules de liquide et les autres formes analogues de préparation liquide ou en poudre destinés à être prise en unités mesurées de faible quantité.»

Il existe des compléments alimentaires à base de plantes, de vitamine ou de minéraux, ou d'autres substances utilisées dans des secteurs très divers tels que : nutrition, minceur, comme tonique, digestion, beauté, cardiovasculaire, ménopause, ect.

3.2.Réglementation des compléments alimentaires au Maroc :

La circulaire conjointe du ministre de la santé et du ministre chargé de l'agriculture de 1997 relative aux denrées alimentaires et boissons destinées exclusivement à une alimentation particulière.

Ces produits sont appelés communément « **compléments alimentaires** ».

Particularités :

- Ces produits n'ont pas d'indications thérapeutiques ;
- Ils ne doivent contenir aucune allégation à la notion de maladie ;
- Ils apportent un apport nutritionnel journalier.

Mise sur le marché : obtention préalable d'un certificat 'enregistrement sur la base d'une évaluation du' :

- Dossier administratif ;
- Dossier technique ;

Et après avis de la commission consultative d'enregistrement

- L'étiquetage doit comporter la mention « ceci n'est pas un médicament » : ne pas induire en erreur les malades.

Ces produits sont commercialisés dans le secteur pharmaceutique :

- Produits enregistrés par certains laboratoires pharmaceutiques ;
- Produits distribués par les grossistes répartiteurs ;
- Produits dispensé par les pharmaciens d'officine
- Produits prescrits par des médecins
- Ces produits ne doivent pas comporter la mention « PPM » leur prix est libre [24].

3.3.Classification :

Les compléments alimentaires peuvent être classés dans les catégories suivantes :

- Catégorie I : les vitamines (vitamine : A, B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12, C, D, E, K)
- Catégorie II : les sels minéraux (calcium, magnésium, cuivre, iode, zinc, manganèse, sodium, potassium, sélénium, chrome, molybdène, fluorure, chlorure, phosphore)
- Catégorie III : les acides gras (acide linoléique, acide α -linoléique, γ -linoléique, acide Arachidonique)
- Catégorie IV : les acides aminés (Alanine Arginine, Asparagine ; Aspartate, Cystéine, Glutamate, Glutamine, Glycine, Histidine, Isoleucine, Leucine, Lysine, Méthionine,

Phénylalanine, Proline, Pyrrolysine, Sélénocystéine, Sérine, Thréonine, Tryptophane, Tyrosine, Valine.....)

- Catégorie V : les pro-biotique et pré-biotique
- Catégorie VI : plantes et préparation des plantes (Sont exclues, les plantes ayant des propriétés pharmacologiques et destinées à un usage exclusivement thérapeutique).
- Catégorie VII : autres (Substances vitaminiques et minérales pouvant être utilisées pour la fabrication de compléments alimentaires) [25].

3.4.Composition qualitative et quantitative :

3.4.1. Composition qualitative :

13 vitamines peuvent être utilisées pour la fabrication des compléments alimentaires :

- Vitamine A
- Vitamine D
- Vitamine E
- Vitamine K
- Vitamine B1 (thiamine)
- Vitamine B2 (riboflavine)
- Vitamine B3 (niacine)
- Vitamine B5 (acide panthothénique)
- Vitamine B6 (pyridoxine)
- Vitamine B8 (biotine)
- Vitamine B9 (folates)
- Vitamine B12 (cobalamine)
- Vitamine C (acide ascorbique)

15 minéraux peuvent être utilisés pour la fabrication des compléments alimentaires en Europe :

- Calcium
- Magnésium

- Fer
- Cuivre
- Iode
- Zinc
- Manganèse
- Sodium
- Potassium
- Sélénium
- Chrome
- Molybdène
- Fluorure
- Chlorure
- Phosphore.

3.4.2. Composition quantitative :

Les doses journalières maximales sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : doses journalier maximales des vitamines et minéraux. [26]

Vitamines	doses journalier maximales
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1 (thiamine)	4.2 mg
Vitamine B2 (riboflavine)	4.8 mg
Vitamine B3 (niacine ou PP)	8 mg
Vitamine B5 (acide pantothénique)	18mg
Vitamine B6 (pyridoxine)	2 mg
Vitamine B8 (biotine)	450 µg
Vitamine B 9 (acide folique)	200 µg
Vitamine B12 (cobalamine)	3 µg

Vitamine C	180 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	30 µg
Vitamine K	25 mg
Minéraux	Doses journalier maximale
Calcium	800 mg
Phosphore	450 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg
Cuivre	2 mg
Sélénium	50 µ
Chrome	25 µg
Manganèse	3.5 mg
Potassium	80 mg
Fluor	0 Mg

3.5.Indications :

- Assurer le maintien de la masse maigre, prévenir la sarcopénie (maladie liée au vieillissement et qui se caractérise par une diminution de la masse musculaire) et la fragilité,
- En cas d'apports insuffisants et sujets à risque de malnutrition,
- En cas de malnutrition,
- Chez la femme enceinte,
- Chez les personnes âgées,
- Indication spécifiques :
 - Fractures du col,
 - Maladie d'Alzheimer, et apparentés
 - Escarres (est la destruction locale plus ou moins importante d'un tissu due à une diminution de l'irrigation sanguine suite à un processus d'ischémie.)
 - Episodes aigus,
 - Insuffisance cardiaque congestive [27].

3.6.Besoins nutritionnels :

Les besoins nutritionnels correspondent à la quantité de nutriments nécessaires pour assurer l'entretien, le fonctionnement métabolique et physiologique d'un individu en bonne santé. C'est la quantité de nutriments réellement absorbée qui est prise en compte, c'est-à-dire après absorption intestinale, permettant la constitution et le maintien des réserves.

Les besoins nutritionnels moyens sont donc définis selon le sexe, l'âge et une éventuelle situation physiologique particulière (comme la grossesse), par une approche expérimentale, l'absorption des nutriments variant d'un individu à l'autre.

3.7. Apports nutritionnels conseillés (ANC) :

Les Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) correspondent aux normes définissant les besoins nutritionnels nécessaires à apporter pour 97,5% de la population.

Ils se situent 30% au dessus du besoin nutritionnel moyen afin de prendre en compte la variabilité interindividuelle.

Les ANC sont donc à un niveau plus élevé que les besoins individuels de la majorité des individus, ils servent de repères.

Ainsi, une personne dont les apports sont supérieurs aux ANC couvre forcément ses besoins alors qu'une personne dont les apports sont inférieurs aux ANC pourra les couvrir ou non.

Plus la dose ingérée par une personne s'éloigne des ANC et plus la probabilité que celle-ci ne couvre pas ses besoins est élevée.

En revanche, des limites de sécurité existent pour un certain nombre de minéraux et de vitamines.

3.8. Apports journaliers recommandés (AJR) :

Les Apports Journaliers Recommandés (AJR) correspondent aux valeurs européennes utilisées notamment pour l'étiquetage des produits alimentaires. Ils sont proches des ANC. Les valeurs des AJR leur sont souvent légèrement inférieures.

3.9. Prise des compléments alimentaires chez un individu sain :

Selon l'Agence Nationale de sécurité, de l'alimentation et de l'environnement ANSES, « les déficits et les carences en nutriments sont très rares en population générale et concernent majoritairement des groupes particuliers de population (femmes enceintes, personnes âgées en institution, populations en situation de grande précarité...) ». De plus, « dans ces groupes de populations spécifiques, des apports supplémentaires en vitamines, minéraux et autres nutriments par les compléments alimentaires ou l'alimentation enrichie peuvent présenter un intérêt, mais leur indication dans ces situations relève plus du conseil médical que d'une démarche alimentaire individuelle non éclairée » [28].

Ainsi, pour la population générale, il n'y a pas de bénéfice démontré à consommer des compléments alimentaires de manière régulière, une alimentation équilibrée étant suffisante

pour apporter tous les nutriments nécessaires. De plus, le manque d'étude concernant les prises régulières et prolongées de compléments alimentaires et leur innocuité incite à la prudence.

3.10. Prise des compliments alimentaires chez un sportif :

a) généralités :

La nutrition du sportif est reconnue comme un élément essentiel de sa réussite sportive. S'il existe selon les sports des besoins spécifiques démontrés scientifiquement et nécessitant alors des apports spécifiques, la nutrition du sportif doit tout d'abord être équilibrée et variée, comme pour le reste de la population.

b) Cas du sportif de haut niveau :

Le centre national de la médecine du sport (CNMS) précise les conditions du bilan alimentaire et du conseil nutritionnel dans l'examen médical pour les sportifs de haut niveau inscrits sur la liste du Ministère de la Jeunesse et des Sports [29].

Ainsi, selon la loi 30 09 de l'éducation physique et des sports, le contenu des examens permettant la surveillance médicale des sportifs visés aux articles 60-61 et 61 du décret pris pour l'application de la loi 30 09 comprend deux fois par an un examen médical réalisé par un médecin diplômé en médecine du sport comprenant :

- Un entretien,
- Un examen physique,
- Des mesures anthropométriques,
- Un bilan diététique, des conseils nutritionnels, aidés si besoin par des avis spécialisés coordonnés par le médecin selon les règles de la profession,
- Une recherche par bandelette urinaire de protéinurie, glycosurie, hématurie, nitrites.

C'est uniquement en se basant sur les résultats de ces examens qu'une supplémentation pourra être envisagée.

La consommation de compléments alimentaires ne doit être motivée que par la nécessité de compléter des apports nutritionnels insuffisants que le médecin ou le diététicien est en mesure d'évaluer. Dans le cas contraire, elle peut risquer de positiver un contrôle antidopage [30].

3.11. Risque de dopage suite à la prise des compléments alimentaires :

En Europe, la législation n'impose pas aux fabricants de compléments alimentaires une notification sur l'étiquette ou sur la notice concernant la présence d'une substance interdite par la réglementation antidopage, ce qui favorise le risque de dopage « par inadvertance » du sportif.

Mais d'autres facteurs interviennent également :

- Aux Etats-Unis, les hormones comme la déhydroépiandrostérone (DHEA) ou l'hormone de croissance (GH), peuvent entrer dans la composition des compléments alimentaires, alors qu'elles sont interdites par la réglementation anti dopage.
- Certains fabricants introduisent volontairement des substances interdites dans leur complément alimentaire, sans les notifier dans la composition sur l'étiquette, afin d'accroître leur « efficacité » ergogénique.
- Certains fabricants utilisent des stéroïdes anabolisants non identifiés par la liste des substances interdites dans leurs compléments alimentaires, et souvent dénommés sur l'étiquette par des termes fantaisistes. En tant que substances apparentées, elles occasionnent néanmoins un contrôle positif, une fois identifiées grâce aux matériels sophistiqués employés par les laboratoires antidopage [31].

Au Maroc le marché des compléments alimentaires connaît un grand succès, la vente est libre et les prix ne sont pas réglementés, ce qui explique la grande consommation de ces produits même par les sportifs ce qui peut engendrer un dopage chez eux [32].

Partie 2 :
« Physiologie de l'exercice musculaire »

I. Bioénergétique :

1.1. Sources énergétiques

La contraction de la fibre musculaire est liée à la décomposition d'ATP. Les réserves musculaires d'ATP sont très faibles et ne permettraient pas à elles seules une activité de plus de quelques secondes à plein régime, mais une fourniture d'ATP suffisante se trouve assurée grâce à des processus anaérobie et aérobie.

Source anaérobie alactique :

La quantité d'ATP présente dans le muscle est faible, environ 5 mmol / Kg de muscle. Elle varie peu lors de l'exercice, même quand celui-ci est intense. Elle ne s'abaisse, en effet, que de 20%. Elle peut, cependant, diminuer de façon plus sensible lors d'exercices maximaux et brefs. La réserve, réellement disponible, ne dépasse pas 1 à 1,5 mmol/Kg. L'ATP peut se reformer à partir de la phosphocréatine (phosphagène) et de l'ADP.

Il existe également une réserve de phosphocréatine (CP) qui s'élève à 20 mmol/Kg. Lors de l'exercice, cette réserve diminue très rapidement puis se stabilise à un niveau qui est d'autant plus bas que l'intensité d'exercice est élevée.

C'est le premier mécanisme immédiatement disponible, qui consiste en la dégradation de la phosphocréatine qui se trouve en réserve dans le muscle libérant ainsi de l'énergie selon le schéma suivant :

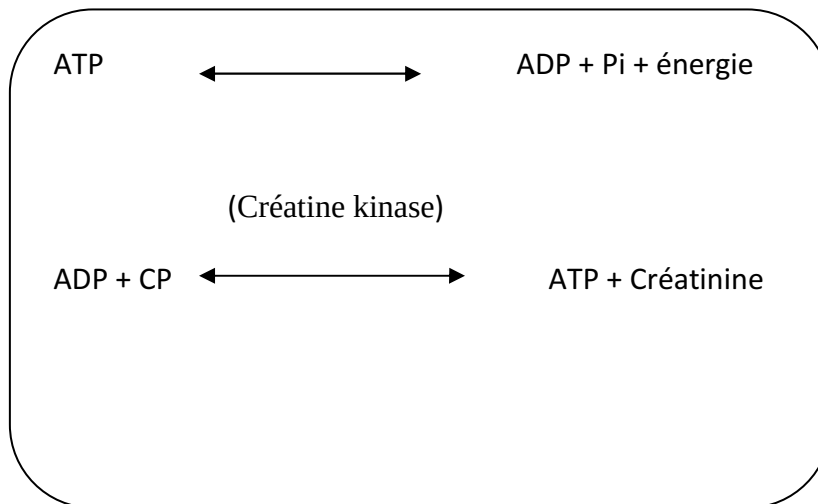


Figure 6 : Production de l'énergie à partir de la phosphocréatine. [33]

Source anaérobie lactique :

La glycolyse anaérobie met en jeu la dégradation du glycogène en acide lactique.

La dégradation du glycogène jusqu'à l'acide pyruvique s'accompagne de la synthèse de 02 molécules d'ATP et de 02 molécules de lactates. [34]



En définitive, 180g de glycogène aboutissent à la formation de 03 molécules d'ATP et la dégradation de 126 KJ mais au prix d'une production de 180g de lactate. La capacité anaérobie est proportionnelle à la concentration maximale de lactates tolérée par l'organisme [35].

Et la source aérobie.

1.2. Métabolisme aérobie

Il est constitué par l'oxydation dans le cycle de Krebs de l'acide pyruvique produit par la dégradation du glycogène ou acides gras libres. Le système aérobie comprend successivement :

- La glycolyse aérobie qui se déroule sans accumulation de l'acide lactique;
- Le cycle de Krebs dans lequel les produits du métabolisme de l'acide pyruvique sont oxydés;
- Le système de transport des électrons ou chaîne respiratoire, qui produit l'énergie nécessaire à la synthèse de 3 moles d'ATP.

C'est au cours de la dernière étape qu'est produite la majeure partie de l'ATP.

Pour que le métabolisme aérobie contribue efficacement, l'oxygène doit être fourni aux mitochondries des cellules musculaires en quantités suffisantes. Les glucides, les lipides et secondairement les protides sont des substrats dont le catabolisme permet, en présence d'oxygène, de libérer l'énergie nécessaire à la synthèse de l'ATP ; on y trouve la glycolyse aérobie dont les différentes dégradations donnent le H₂O et le CO₂, la lipolyse qui représente le catabolisme des acides gras provenant des triglycérides et dont les différentes dégradations

donnent aussi le H_2O et le CO_2 [10]. Les sous produits du métabolisme aérobie sont donc l'eau et le dioxyde de carbone. L'eau est partiellement retenue dans l'organisme pour contribuer au maintien de l'homéostasie, tandis que le CO_2 est rejeté dans l'atmosphère. La source glycolytique fournit, en oxydant complètement une molécule de glucose, environ 38 ATP, tandis que la source lipidique en fournit environ 130. L'apport énergétique total (A.E.T) devra apporter 12 à 17% de protides, 25 à 30% de lipides et 50 à 60% de glucides [21]. S'il y a une augmentation de la dépense énergétique ou si l'intensité du travail dépasse 60% de la puissance maximale aérobie (PMA), la glycolyse anaérobie s'installe progressivement ; l'acide pyruvique se transforme progressivement en acide lactique [34].

1.2.1. Cycle de Krebs :

Dans les cellules aérobies, le cycle de Krebs est une plate forme commune au catabolisme des substrats énergétiques. C'est un ensemble coordonné de 8 réactions qui permet d'extraire l'énergie de l'acétyl-coA. Le cycle de Krebs est une plate forme métabolique dont certains de ses métabolites sont les précurseurs de diverses molécules telles que le glucose et les acides aminés.

Le contrôle le plus important de l'activité du cycle de Krebs est sous la dépendance du besoin énergétique en ATP. La vitesse du cycle de Krebs est tributaire des disponibilités en substrats en particulier l'acétyl-coA. Le cycle de Krebs ne fonctionne que si la chaîne respiratoire dispose d'un apport suffisant en oxygène [6].

1.2.2. Chaîne respiratoire :

C'est un ensemble physique et fonctionnel localisé dans la membrane interne des mitochondries. La chaîne respiratoire produit de l'ATP et de l'eau à partir des hydrogènes des molécules énergétiques et de l'oxygène de l'air :

- Les hydrogènes sont apportés par les coenzymes NAD, H^+ et $FADH_2$, substrats de la chaîne respiratoire;
- L'oxygène est apporté aux tissus par la respiration, la circulation sanguine et la diffusion cellulaire;
- L'eau est produite au terme d'une chaîne de réactions d'oxydoréduction;

La chaîne respiratoire comporte donc la chaîne d'oxydoréduction et la chaîne de phosphorylation [6].

1.2.3. Bilan énergétique :

- L'oxydation aérobie d'une molécule de glucose produit :
- 2 ATP à partir des substrats riches en énergie et 6 ATP résultant de l'oxydation de 2 NADH, H⁺
- L'oxydation de 2 pyruvates en 2 acétyl-coA donne 6 ATP résultant de 2

NADH, H⁺;

- L'oxydation de 2 acétyl-coA par le cycle de Krebs donne 24 ATP ; ainsi grâce à la phosphorylation oxydative, une cellule aérobie produit 38 ATP, soit 19 fois plus d'ATP par molécule de glucose qu'une cellule anaérobie;
- L'oxydation d'une molécule de palmitate produit 131 ATP.
- L'oxydation des corps cétoniques produit 51 ATP.
- L'oxydation d'une molécule de glutamine produit 24 ATP.
- L'oxydation d'une molécule d'éthanol produit 18 ATP.

1.2.4. Consommation d'oxygène et exercice physique :

La consommation d'oxygène comprend les réactions biochimiques, qui au sein des mitochondries, auront pour résultat final de produire de l'énergie avec formation de l'eau et du CO₂. Pour que ce mécanisme contribue efficacement à la production d'énergie, l'oxygène doit être fourni aux mitochondries des fibres musculaires en quantités suffisantes.

Au repos, l'organisme consomme globalement 250 ml d'O₂ par minute et la consommation musculaire est de 20 à 25% ; Lors d'une épreuve musculaire à charge progressive, le VO₂ croît d'une manière linéaire avec la charge de travail et il peut atteindre des valeurs 100 fois supérieures à celles du repos [34].

1.2.5. Consommation maximale d'oxygène (VO₂ max) :

C'est le plus haut volume d'oxygène qu'un individu peut consommer pendant un exercice, il limite la performance et représente l'index le plus utilisé de la forme physique [36].

Un important VO₂max témoigne d'un cœur en bonne santé, c'est un indicateur des limites des systèmes cardio-vasculaire et respiratoire et un déterminant de la capacité de la performance aérobie.

L'évaluation accorde une grande importance à la consommation de la capacité aérobie, parce qu'elle est le reflet de la consommation cellulaire de l'oxygène.

Elle donne de bonnes indications sur l'état fonctionnel des éléments de la chaîne qui assure son transport depuis l'environnement à la cellule : système ventilatoire et surtout cardio-vasculaire, considérés à juste titre comme les facteurs fondamentaux de ce qu'il est de coutume d'appeler capacité physique [37].

Des investigations ont trouvé un haut degré de corrélation ($r = 0,7$ à $0,8$) entre la VO₂max, le poids des enfants et des adolescents. C'est pour cela qu'elle est souvent rapportée au poids du corps. Une grande valeur du VO₂max est habituellement considérée comme un pré requis indispensable pour la réussite des performances dans les courses de longues durées [38-39].

Dans la plupart des recherches portant sur les effets physiologiques de l'exercice ou de l'entraînement, la consommation d'oxygène constitue une référence très souvent utilisée pour en exprimer l'intensité énergétique. Sa valeur maximale (VO₂max) constitue un excellent critère d'appréciation de l'aptitude physique. De plus, la relation existant entre la performance de longue durée et l'importance du VO₂max peut être déterminante dans le choix d'une pratique sportive précise. Enfin, un VO₂max élevé, en permettant des entraînements plus intensifs et une meilleure récupération, peut aussi intervenir indirectement dans la qualité des performances de courtes durées [37].

La $VO_2\text{max}$ correspond à la mesure du prélèvement maximal d'oxygène. Elle est exprimée en litre par minute ou rapporté au poids corporel en ml/Kg/min. Le mode d'expression « ml/Kg/min » pourrait être responsable des différences de $VO_2\text{max}$ soit directe au laboratoire, soit indirecte par l'intermédiaire de tests de terrain sub-maximaux : [Åstrand et Rayming 1954, maximaux contenus : Cooper 1968 ou progressifs : Leger et Boucher 1980 et Brue et al 1988.] [40].

Au cours d'un exercice d'intensité croissante sur ergocycle, la consommation d'oxygène augmente linéairement avec la puissance développée jusqu'à une valeur limite qui reste constante, même si la puissance est accrue : cette valeur représente la $VO_2\text{max}$.

Elle s'élève à environ 3 l/min. La $VO_2\text{max}$ s'élève à environ 10 fois le métabolisme de repos. Les valeurs extrêmes se situent entre 20 et 95 ml/Kg/min, soit, 1,5 à 6,5 l/min.

Un sportif très entraîné en endurance est capable de maintenir sa $VO_2\text{max}$ à 100% durant 10 minutes. Murase et al, dans leur étude, rapportent la moyenne de 65 ml/Kg/min de la $VO_2\text{max}$ dans un groupe de juniors (14,7 ans) [40], alors que chez l'homme normal de 20 à 30 ans, la $VO_2\text{max}$ atteint 50 ml/Kg/min selon Åstrand et al 1956 et Flandrois et al 1982 [38].

Cette extrême variabilité interindividuelle est liée, tout d'abord, à un facteur génétique, il représente 30% de la variabilité. Elle dépend aussi de l'entraînement ou elle représente 10 à 50%. La pratique régulière d'une activité à l'école, ou mieux, la pratique d'un sport, permet un meilleur développement du $VO_2\text{max}$ chez l'enfant et l'adolescent [41].

Les méthodes d'évaluation de la consommation maximale d'oxygène sont :

- **méthode directe** : elle est réalisée au laboratoire. Elle nécessite la présence de médecins et d'un appareillage de réanimation. Elle exige l'existence d'un analyseur de gaz.

La consommation de VO_2 ainsi que beaucoup d'autres paramètres sont instantanément et momentanément enregistrés et affichés à l'écran de l'ordinateur.



Figure 7 : Méthode directe pour la mesure de $\dot{V}O_2$ max. [42]

• **Méthode indirecte** : elle est réalisée au laboratoire en l'absence de l'analyseur de gaz ou au terrain par le biais de tests continus ou progressifs. La valeur de la VO_2 max est déduite indirectement des tableaux ou des abaques.

Les mesures directes donnent les résultats les plus exacts à condition de bien étalonner les appareils de mesure, de se conformer à un protocole rigoureux et de vérifier les critères physiologiques qui permettent de juger si le sujet a véritablement atteint sa $\text{VO}_{2\text{max}}$.

1.2.5.1. Protocoles de mesures :

Selon les objectifs envisagés, le niveau et le type de la pratique sportive et du matériel disponible, les techniques utilisées pour la mesure du $\text{VO}_{2\text{max}}$ varient, aussi bien par leur forme, leur intensité, que pour la durée. Leurs avantages et inconvénients sont présentés afin de fournir les éléments de choix permettant de sélectionner, parmi les épreuves proposées celle qui répond le mieux aux objectifs tracés, aux populations concernées et au matériel disponible.

Le protocole doit être spécifique afin de mettre en jeu les masses musculaires sollicitées préférentiellement par la spécialité [34]. Plusieurs profils d'épreuves d'effort peuvent conduire à la mesure du $\text{VO}_{2\text{max}}$. Ils appartiennent généralement à l'une des 3 catégories suivantes :

- Charge progressivement croissante discontinue, c'est à dire, avec des périodes de récupération intermédiaire.
- Charge progressivement croissante continue avec des paliers d'une durée de une à trois minutes sans interruption entre les paliers.
- Charge constante ; une seule puissance imposée du début à la fin du test.

En général, l'épreuve consiste à amener le sujet à l'état le plus élevé de sa consommation d'oxygène. La durée nécessaire dépend du protocole choisi. L'évaluation peut utiliser une épreuve dite rectangulaire (charge constante), soit une épreuve dite triangulaire. La puissance du travail est augmentée progressivement par paliers jusqu'au moment où le sujet s'arrête parce qu'il ne peut pas aller au-delà.

1.2.5.2. Paramètres physiologiques de maximalité de l'épreuve d'effort :

Les paramètres physiologiques qui nous informent si le VO_2 max a été atteint sont :

a) Paramètres de l'effort maximal :

➤ *Ventilation maximale et VO_2max :*

Il n'est pas rare d'observer des valeurs très élevées de volume expiré maximal, de l'ordre de 200 litres/minute, ce qui n'est pas préjudiciable. La valeur de ce débit n'est pas un facteur de performance. Plus intéressant est l'évolution de la consommation d'oxygène qui augmente avec l'intensité de l'effort, pour finir par se stabiliser « en plateau » à partir d'une certaine intensité. Ce plateau témoigne du plafonnement des possibilités d'adaptation du sportif à l'effort demandé. La VO_2max est alors atteinte. La consommation maximale d'oxygène et la fréquence cardiaque évoluent linéairement avec l'augmentation de la charge de travail. Ceci est un facteur de bonne adaptation physiologique à l'exercice.

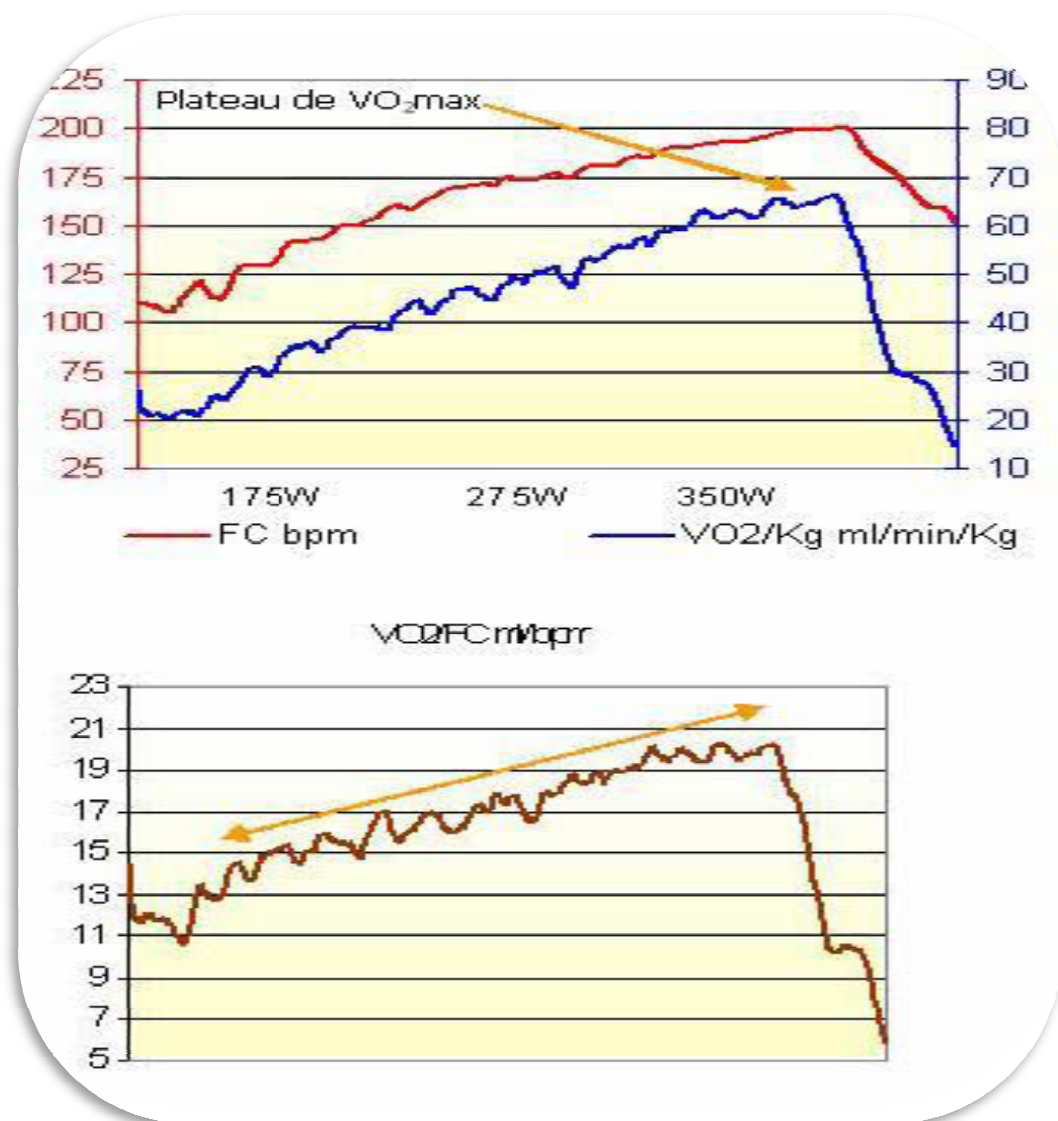


Figure 8 : VO_2max et le plateau de VO_2 . [43]

➤ **Fréquence cardiaque :**

La FC max obtenue lors d'un test est en général supérieur à la valeur théorique de $(220 - \text{âge})$. N'oublions pas que c'est une condition pour atteindre la VO_2max , à savoir que le test doit être maximal jusqu'à l'épuisement. La FC max mesurée est parfois inférieure à celle observée en compétition, car d'autres facteurs viennent la surestimer (sprint final, stress de la compétition...). Cette valeur de FC max servira de référence pour établir secondairement les applications à l'entraînement.

➤ **La Puissance maximale aérobie (PMA) :**

La PMA se définit comme étant la puissance maximale développée, correspondant à la consommation maximale d'oxygène. La PMA n'est donc pas forcément (même rarement) la puissance maximale atteinte. La confusion entre puissance maximale atteinte et PMA est fréquente. Ces deux paramètres de puissances seront interprétés conjointement pour établir les puissances de travail à l'entraînement.

➤ **La Vitesse maximale aérobie (VMA) :**

Utilisée pour les tests sur tapis, la VMA correspond à la vitesse développée lorsque VO_2max est atteinte. Cette VMA n'exclut pas la possibilité pour le sportif de courir plus vite, en général de 1 à 2km/h.

➤ **Lactate sanguin** supérieur ou égal à 9 mmol/l chez l'adulte et 8 mmol/l chez l'enfant :
acidose métabolique

➤ **Epuisement musculaire** : rythme de pédalage non respecté.

b) Paramètres respiratoires : les Seuils Ventilatoires (également appelé seuil d'inadaptation ventilatoire)

➤ **VE/VO_2 :**

Le rapport de la Ventilation / Volume d' O_2 apporte la même interprétation : pour une puissance donnée, la consommation d' O_2 va commencer à se limiter, à

s'infléchir, alors que le sportif continuera de s'essouffler de plus en plus, d'où un rapport qui augmente.

Un paramètre se révèle d'une importance particulière :

- **QR** : Le Quotient Respiratoire : correspond au rapport Volume de CO₂ expiré / Volume d'O₂ consommé (V_{CO_2}/V_{O_2} , $QR = V_{CO_2}/V_{O_2}$ supérieure ou égal à 1).

Plus l'effort augmente en intensité, plus ces deux volumes augmentent également. Ceci jusqu'à une certaine puissance d'exercice, à partir de laquelle le rejet de CO₂ s'élève plus fortement que la consommation d'O₂ (modification des capacités aérobies du sportif). Le rapport va donc augmenter, ce qui se traduit par une cassure de courbe. Cette cassure correspond au 2^{em} seuil ventilatoire SV2 (également appelé seuil d'inadaptation ventilatoire).

De la même manière, la mise en jeu de la glycolyse aérobie à partir d'une puissance donnée va identifier le 1^{er} seuil SV1, à partir duquel, on peut considérer que le sportif commence à travailler son endurance.

La zone de puissance située entre ces deux seuils, correspond à une zone de stabilité en ce qui concerne l'adaptation à l'effort, que ce soit l'adaptation cardiorespiratoire ou énergétique. C'est ce que l'on peut appeler le plateau d'endurance [44].

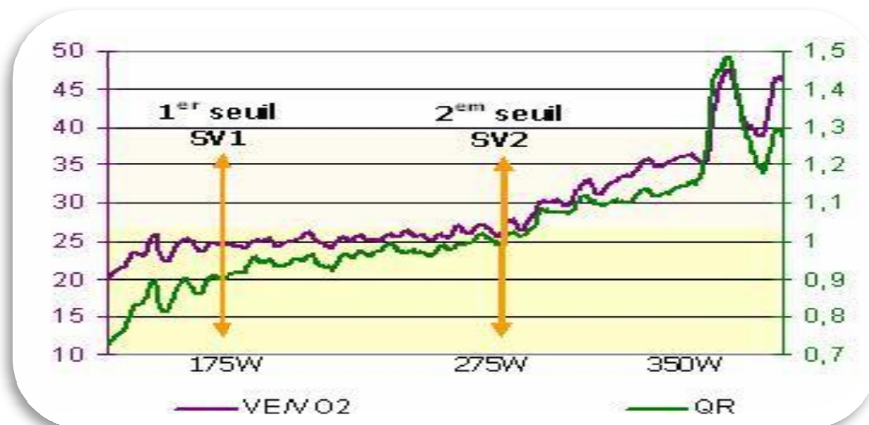


Figure 9 : Les seuils SV1 et SV2. [45]

1.2.5.3. Appareils de mesure :

Les appareils de recueil et de mesure des gaz dépendent de la technique choisie :

- **Technique en circuit fermé** : le sujet évalué respire dans un spirographe. Les gaz expirés lui sont ensuite restitués. A chaque mouvement respiratoire, correspond un spirogramme qui traduit l'O₂ consommé par le sujet. L'alignement de tous les cycles respiratoires est matérialisé par une droite dont la pente fournit le VO₂, cette technique présente des inconvénients qui lui font préférer les techniques en circuit ouvert.
- **Technique en circuit ouvert** : elles sont de 2 ordres :
 - **Technique par recueil dans des sacs de Douglas** : les gaz expirés sont recueillis dans des sacs imperméables de contenance de 100l, les fractions d'O₂ et de CO₂ expiré sont déterminées par des analyseurs appropriés. Le volume des sacs est mesuré par un spiromètre étalonné (Tissot par exemple). On peut calculer le VO₂ à partir des fractions d'O₂, de CO₂ et de VE et les pressions des lieux.
 - **Technique par mesure automatique** : afin d'éviter toutes les étapes précédentes (recueil des gaz dans des sacs, mesure du volume, analyse des fractions de O₂ et de CO₂, calcul de VE et du VO₂, une chaîne d'appareils électroniques placés en série, permet actuellement d'accéder au VO₂ grâce aux calculs intégrant toutes les données requises (VE, fractions de O₂ de CO₂, T°, pressions). Cette technique nécessite, cependant, un contrôle régulier de chacun des appareils car, une seule imprécision peut être à l'origine de résultats finaux aberrants. Cette mesure fait donc appel à un appareillage coûteux et sophistiqué exigeant d'être manipulé par un personnel hautement qualifié [37].

1.3. Le métabolisme anaérobie

La production d'ATP par le processus anaérobie est étroitement liée à la production de lactate et à la dégradation de la créatine phosphate (CP).

Les processus anaérobies sont sollicités de façon fréquente dans diverses activités physiques. Pour évaluer la puissance et la capacité anaérobies en laboratoire et sur le terrain, plusieurs approches ont été proposées, parmi lesquelles on peut citer :

- **La méthode directe** : les ponctions de biopsies musculaires effectuées chez les athlètes,
- **La méthode indirecte** (Dette et déficit d'oxygène) : théorie issue des travaux de Hill et al [46] puis développée par Margaria et al [47].

1.3.1. Les lactates sanguins (acide lactique) :

Plus l'intensité de l'épreuve est importante plus les lactates s'accumulent et plus le délai de son élimination est lent. Le maximum de lactates est observé entre la 4ème et la 10ème minute qui suivent l'épreuve d'effort puis disparaissent ensuite progressivement. La vitesse d'élimination de l'acide lactique est plus rapide lorsque la récupération est active. Hermansen et al [48] estiment qu'il existe une intensité optimale de récupération active estimée à 50-65% du $VO_2\text{max}$.

La concentration des lactates permet d'estimer la contribution de la glycolyse anaérobie dans la réalisation d'un exercice physique. Deux techniques principales permettent le dosage de la lactatémie : la technique de **Boehringer** et la technique de **mesure automatique** [49].

1.3.2. La lactatémie :

Paramètre très variable dont le facteur principal est la puissance dépensée. Plusieurs études ont tracé des courbes de la lactatémie par litre de sang en fonction de la puissance de l'effort. L'entraînement provoque deux conséquences :

- il abaisse la concentration de l'acide lactique pour une puissance donnée
- il permet d'atteindre des concentrations pouvant atteindre 20 mmol/l.

La baisse de la lactatémie chez un sujet entraîné peut être expliquée par l'efficacité du transport de l'oxygène au début de l'exercice. Lors de l'exercice maximal, le sujet entraîné atteint une lactatémie plus élevée et un pH plus bas : S'agit-il d'une meilleure tolérance à l'acide lactique ou à une grande aptitude à supporter l'effort intense? [50].

1.3.3. Pouvoir tampon :

L'organisme produit en permanence des acides (lactique, sulfurique, phosphorique) avec une forte augmentation pendant l'exercice musculaire. Ces acides libèrent des ions H^+ qui abaissent l'acidité réelle donc le pH. Comme les cellules ne peuvent vivre que dans un étroit créneau de pH, l'organisme limite les variations d'acidité par plusieurs mécanismes :

- les poumons pour l'élimination du CO_2 .
- les reins pour l'élimination d'une manière préférentielle des ions acides ou basiques.
- le système tampon du sang.

1.3.4. Seuil anaérobie :

L'apparition des techniques de mesure rapides et fiables des lactates sanguins a fait du seuil anaérobie un élément important dans le contrôle de l'entraînement, le diagnostic de la performance et pour apprécier les potentialités anaérobies de l'athlète et pour situer la zone de transition métabolique entre les systèmes énergétiques aérobie et anaérobies.

Ces différentes méthodes d'identification du seuil anaérobie font appel à différentes techniques ; les deux premières nécessitent des prélèvements sanguins, la 3ème non invasive, nécessite l'analyse instantanée du quotient d'échanges gazeux, la 4ème est basée sur le suivi de l'évolution du débit ventilatoire en fonction de la charge [34].

Le seuil anaérobie constitue un facteur déterminant de la capacité d'un athlète à soutenir un exercice physique prolongé à un haut pourcentage de la PMA. Il peut être augmenté par l'entraînement [51]. Les meilleurs coureurs de longues distances ont un seuil anaérobie significativement plus élevé que les coureurs de niveau inférieur [52-53].

Le concept du seuil anaérobie est probablement imputable à Margaria et al [47] ; qui n'a observé aucune augmentation significative de l'acide lactique dans le sang jusqu'à environ 60% de la $VO_2\text{max}$. Hollman définit ce point comme « le point d'efficacité ventilatoire optimale ». A partir de ses travaux, l'utilisation des paramètres ventilatoire est de plus en plus répandue.

Wasserman et Mc Ilroy ont introduit la notion du « seuil anaérobie ». Ils définissent le seuil anaérobie comme étant la charge maximale pouvant être maintenue par un sujet par la seule utilisation de l'énergie aérobie.

Le terme « anaérobie » est lié à la carence relative en oxygène au niveau musculaire et « seuil » à la charge au niveau de laquelle ce phénomène est observé.

Certains auteurs n'admettent pas le terme « anaérobie » du fait qu'il soit démontré que le muscle produit de l'acide lactique même en « aérobie ». De la même façon, le terme « seuil » est contesté, parce que, selon certains auteurs et lors d'une épreuve progressive, un point identifiable n'existe pas de façon certaine [54].

1.3.5. Seuil anaérobie et performance sportive :

Le seuil anaérobie reflète la capacité d'un sujet à soutenir un exercice physique.

A $VO_2\text{max}$ égaux, les meilleurs coureurs sont ceux qui disposent d'un seuil anaérobie élevé.

Le seuil anaérobie est donc un facteur prédictif de la performance sportive. Nous pouvons l'améliorer par le biais de l'entraînement physique.

Le seuil anaérobie est déterminé lors d'une épreuve à charge progressive de plusieurs façons par:

- L'augmentation de la concentration sanguine d'acide lactique
- L'augmentation de la concentration d'ions H^+ correspondant à une diminution du pH sanguin et de la concentration du bicarbonate
- Par une augmentation du quotient respiratoire (QR) due à la libération d'un excès de CO_2
- La déviation de la linéarité de la relation $(VE-VO_2)$ causée par l'important stimulus ventilatoire que constitue cet excès de CO_2 . C'est à ce niveau que l'acide lactique s'accumule et que les variations de la concentration de bicarbonate, de pH et du quotient respiratoire provoquent l'hyperventilation surtout pour éliminer le CO_2 en excès.

Il existe souvent une concomitance entre seuil ventilatoire 1 (SV1) et seuil lactique1 (SL1) d'une part et SV2 et SL2 d'autre part mais ils restent indépendants l'un de l'autre. (voir figure 9).

II. Besoins et équilibre hydrominéraux

2.1. Rôle et besoin en eau :

La quantité de l'eau dans l'organisme est en moyenne de 60%. Elle est le principal constituant des organismes vivants. Les besoins en eau sont de l'ordre de 1,5 à 2,5 l/j chez le sujet sédentaire vivant en climat tempéré. Ils sont estimés à 1ml d'eau par calorie dépensée [55]. Ils augmentent considérablement dans les épreuves de longue durée. Le ravitaillement de l'organisme en eau se fait par:

- Les boissons: 1 à 1,5 l/j en moyenne
- Les aliments: 1,3 l/j
- L'eau endogène qui provient de la combustion métabolique des différents nutriments :
 - ❖ Les aliments (eau métabolique) environ 350 ml/j.
 - ❖ 100g de glucides fournissent 60g d'eau
 - ❖ 100g de lipides fournissent 107g d'eau
 - ❖ 100g de protides fournissent 41g et celle de 100g d'alcool 117g.

On appelle besoin d'eau, le besoin total moins l'eau endogène fournie par le métabolisme. Le sportif doit boire avant d'avoir soif pour les besoins de l'activité physique [50].

2.2. Déshydratation et performance :

Au total chez un individu peu actif, les pertes hydriques journalières atteignent environ 2,5litres. Chez un sportif, elles peuvent doubler, voire tripler dans des situations exceptionnelles. L'écart de poids entre le début et la fin de la séance renseigne précisément le sportif sur son déficit hydrique.

Toute déshydratation peut influencer de façon négative le déroulement de processus physiologiques [56].

En effet, il existe une homéostasie hydrique au repos qui fait que les apports compensent les pertes. A l'effort, cette homéostasie est imparfaite et nécessitera une compensation

immédiate. Ainsi, la diminution du volume plasmatique qui accompagne la déshydratation peut fortement altérer les capacités physiques du sportif [10].

Harmansen et Costill ont montré l'influence de cette perte d'eau sur la performance. Ainsi, une déshydratation de 1% du poids corporel (environ 1 heure sans boire) va générer une perte de la capacité de travail de l'ordre de 10% par rapport à l'état initial. Une perte non compensée de 3,5l d'eau (5% du Pc) entraîne une chute de la puissance de travail de 35% pour une température de 18°C et supérieur à 50% pour une température de 41°C [41].

Il est probable que l'effet de la déshydratation diffère d'une activité à une autre. Le mode d'installation de la déshydratation, les conditions climatiques ambiantes au cours de la réalisation de l'exercice et le type d'exercice sont des facteurs également importants. De manière générale, la réduction de la performance est proportionnelle au niveau de la déshydratation exprimé en % de la masse corporelle [57].

Mesure de la déshydratation :

La mesure la plus simple est celle de la double pesée. Cette mesure doit être réalisée avec un sujet légèrement nu et sec. Le sujet est pesé avant et après l'exercice physique dans les mêmes conditions.

Le débit sudoral correspond à la différence $P_{ap} - P_{av}$ diminuée du poids d'urine recueilli après l'exercice.

La déshydratation peut être estimée par le calcul de la différence du volume plasmatique entre le repos et à la fin d'un effort musculaire [57].

Déshydratation et thermorégulation :

Lors d'un exercice musculaire, l'organisme produit une plus grande quantité d'énergie dont 75 à 80% servent à fournir de la chaleur. La production de 50 calories provoque une élévation thermique corporelle de 1°C [58].

La régulation thermique fait appel à 4 mécanismes : la conduction, la radiation, la convection et l'évaporation. Toute variation de la température est détectée par le cerveau qui va alors mettre une série de réponses destinées à préserver la température centrale du corps par :

- Le déclenchement de la sudation;
- Un accroissement du débit sanguin qui permet de dissiper la chaleur de l'organisme.

La déshydratation favorise la survenue de tendinites, conduit à l'hyperthermie et affecte les performances [56].

De nombreux travaux s'accordent à noter une diminution très rapide de la force musculaire et de l'endurance. Les résultats sont plus partagés en ce qui concerne le $VO_2\text{max}$ [58].

Une déshydratation minime entraîne une forte diminution du rendement musculaire et une détérioration des performances alors qu'une déshydratation importante peut entraîner des accidents aigus tels que la lithiase urinaire ou des accidents suraigus tels que le coup de chaleur ou des répercussions complexes [50]. Un joueur de football peut perdre 1 litre par heure à 18°C alors que sa déperdition hydrique peut dépasser 3 litres à 28°C.

2.3. Sodium (Na^+) :

C'est un cation monovalent de masse atomique 23, on le retrouve surtout sous forme de chlorure de sodium (NaCl). C'est l'ion le plus important du monde vivant. Les pompes à sodium conditionnent l'entrée et la sortie de certains nutriments [50]. La production d'un litre de sueur peut entraîner une sortie de NaCl de l'ordre de 1 à 3,5g jusqu'à 9g [59].

Pour l'homme adulte sédentaire, le besoin quotidien est probablement inférieur à 3g, ce besoin est toujours couvert par l'alimentation habituelle.

L'exercice physique modifie les concentrations du sodium salivaire, sudoral, plasmatique et urinaire. Dans le plasma et lors des exercices brefs et intenses, l'augmentation du volume plasmatique peut être à l'origine d'une hypo natrémie.

Inversement, les exercices prolongés sont toujours responsables d'une hyper natrémie.

1 heure d'exercice pratiqué entre 60 et 80% du $VO_2\text{max}$ est responsable d'une augmentation moyenne de 3 meq/l. Alors qu'après un marathon, le sodium plasmatique croît à 143 meq/l pour une valeur initiale de 140. Cette augmentation est un reflet de la déshydratation [50].

2.4. Potassium (K^+) :

C'est un cation monovalent de masse atomique 39, le potassium total est d'environ 160 g. Les besoins journaliers sont compris entre 2,5 et 25 mmol selon les périodes de la vie. Ces besoins sont extrêmement faibles par rapport à l'apport alimentaire.

Le catabolisme glucidique et protidique entraîne la sortie cellulaire du K^+ avec élévation du potassium plasmatique ; ce qui se rencontre durant l'exercice musculaire, le jeûne et les destructions cellulaires.

Les signes d'une hypokaliémie sont de 3 ordres :

- Neuro-musculaire: asthénie, faiblesse musculaire, crampes, signes digestifs ;
- Cardio-vasculaire : hypotension, tachycardie, troubles du rythme... ;
- Rénal. [50]

Dans le plasma, la kaliémie augmente significativement lors des exercices de longue durée et de forte intensité. Elle peut atteindre 1 à 1,5 meq/l. Cependant, pour un exercice d'une heure à 60 à 80% de la VO_{2max} , la kaliémie reste stable [58].

2.5. Magnésium :

Le magnésium est un minéral qui participe au bon fonctionnement du système neuromusculaire. Il intervient dans la transmission des stimulations neuromusculaires et dans l'équilibre osmotique. Il se trouve dans de nombreuses enzymes. Il est nécessaire que les sportifs puissent couvrir leurs besoins en magnésium. Le besoin en magnésium pour les sportifs est de 500 à 700 mg par jour. Une quantité excessive de magnésium est néfaste car il entraîne une dépression du système nerveux central ainsi qu'une affectation dans la transmission nerveuse périphérique essentiellement auriculaire (cœur) [60].

Tableau 2 : Exemple d'aliments riches en magnésium. [60]

Nutriments riches en magnésium	En mg par 100 g
CACAO	400
AMANDES	255
SOJA	240
CACAHUÈTES	170
FÈVES	160
HARICOTS	150
NOISETTES	150
FARINE DE BLÉ	140
FARINE D'AVOINE	130
FARINE DE SEIGLE	130
NOIX	130
POIS SECS	130
CHOCOLAT	110
PAIN COMPLET	90

2.6. Hématocrite :

C'est la concentration des globules rouges (nombre des globules rouges par unité de volume sanguin). L'hématocrite $Ht = Vg / Vg + Vp$ (avec Vg : volume globulaire et

Vp : volume plasmatique)

L'hématocrite du sang circulant peut être mesuré par centrifugation d'un échantillon sanguin. L'hématocrite sert à mesurer l'hémoconcentration du plasma ; la diminution du volume plasmatique qui accompagne la déshydratation peut fortement altérer les capacités physiques et peut affecter le bon déroulement des processus de refroidissement (thermorégulation) d'où la détérioration des performances [17].

2.7. Compensation physiologique :

Le phénomène naturel qu'induit toute perte hydrique aboutissant à une déshydratation est la soif ; il ne faudra donc jamais se contenter de boire à sa soif, mais boire avant d'avoir soif ; ceci s'avère essentiel lors d'exercices physiques dès que ceux-ci dépassent environ 30 minutes quelques soient les conditions climatiques.

Au-delà de 2 litres de perte hydrique, l'introduction du sel sera obligatoire pour compenser les pertes et surtout éviter une intoxication à l'eau qui peut survenir lors des réhydratations de l'eau pure dépassant 3 à 4 litres. Les besoins en sucre sont aussi un élément diététique.

III. Adaptations cardio-respiratoires à l'exercice physique

Afin de répondre aux besoins accrus de l'exercice musculaire, une grande quantité de « sang régénéré » est nécessaire pour alimenter la cellule en oxygène et en substances nutritives et pour débarrasser rapidement les déchets relatifs à son fonctionnement. Ce sont les systèmes respiratoires et cardio-circulatoires qui assurent ces fonctions. Une cohésion parfaite existe entre les ajustements respiratoires et cardio-circulatoires et les besoins des territoires en activité tels que les muscles.

3.1. Adaptation ventilatoire à l'exercice:

La respiration ou échanges de l'oxygène (O_2) et du gaz carbonique (CO_2) entre les cellules et le milieu extérieur est assuré par l'enchaînement de deux étapes :

- la ventilation qui mobilise les volumes gazeux
- la diffusion qui est la propriété qu'ont les gaz O_2 et CO_2 de traverser les membranes des poumons, des vaisseaux sanguins et des cellules.

Au cours d'un exercice à charge progressive croissante, le débit ventilatoire (Q_v) croît d'une manière exponentielle en fonction de la charge et en fonction de la consommation d'oxygène pour des charges modérées. La ventilation augmente d'une manière linéaire en fonction de VO_2 et VCO_2 . Pour ces charges, la ventilation augmente principalement par augmentation du volume courant qui peut atteindre 6 fois sa valeur de repos. A charge plus importante, la

fréquence respiratoire joue un rôle plus important et peut atteindre 3 à 4 fois sa valeur de repos.

Le débit observé à l'état stable augmente linéairement avec le VO_2 jusqu'à une intensité d'exercice variant selon les athlètes (de 60 à 90% du $\text{VO}_{2\text{max}}$). La puissance, ou changement de pente de la ventilation, correspond au seuil ventilatoire lequel est généralement contemporain du seuil anaérobie [41].

3.1.1. Equivalent respiratoire :

Lors d'un exercice sous-maximal, le débit ventilatoire augmente de façon linéaire avec la consommation d'oxygène jusqu'à une intensité d'exercice variant de 55 à 70% selon Willmore et Costill [61], le rapport VE / VO_2 est appelé équivalent respiratoire et varie entre 23 et 28 l d'air par litre d'oxygène consommé. Cette valeur change peu lors d'exercices sous-maximaux ce qui indique que le système de contrôle de la ventilation est adapté aux besoins énergétiques de l'organisme. En revanche, lorsque l'intensité de travail se rapproche des valeurs maximales, VE / VO_2 devient supérieur à 30 l par litre d' O_2 consommé. Cette évolution brutale montre que la VE augmente de façon disproportionnée par rapport à la consommation d'oxygène. La puissance développée correspondant au changement de pente de VE est appelée seuil ventilatoire qui apparaît souvent en même temps que le seuil d'augmentation de l'acide lactique dans le sang (ou seuil anaérobie ou seuil lactique). Ce seuil ventilatoire est utilisé comme indice d'aptitude à l'exercice prolongé ; car il permet d'estimer la puissance du métabolisme aérobie. En effet, si l'augmentation de la concentration de lactate sanguin est contemporaine du seuil ventilatoire, cela signifie que l' O_2 apporté aux muscles ne répond plus aux besoins du métabolisme oxydatif afin de former les ATP nécessaires à la dépense. Dès lors, le métabolisme anaérobie est mis en jeu.

3.1.2. Relation entre VO_2 consommé et lactates produits :

L'exercice musculaire est la seule condition dans laquelle, physiologiquement et de manière non pathologique, le pH sanguin puisse atteindre les valeurs les plus basses et peut descendre en dessous de 7. De toutes les données, on peut déduire l'intérêt de prévoir le début du métabolisme anaérobie lactique avec compensation partielle de la baisse du pH sanguin correspondant à la mise en œuvre du « pouvoir tampon » normal du sang et du métabolisme anaérobie lactique avec non compensation de la baisse du pH sanguin et accumulation progressive des lactates. Certains auteurs et notamment Keul Kinderman [62], ont postulé que la première phase correspond au seuil de 2 mmol et la seconde à 4 mmol et décrit « la zone de transition » aérobie anaérobie. Les différents spécialistes s'accordent pour définir le seuil anaérobie comme étant l'intensité du travail (%PMA) qui induit dans le sang des lactates à un taux de 4mmol/l (Kinderman 1979, Skinner et Mc Lellan 1980) [34].

3.1.3. Le seuil ventilatoire (SV)

VE augmente proportionnellement à la charge. Elle augmente d'une manière plus importante qu'en début de l'épreuve, ce point d'accroissement non linéaire de VE, correspond au seuil ventilatoire. Caiozzo et al trouvent que ce seuil ventilatoire déterminé à partir de VE/VO_2 ne diffère pas du seuil anaérobie déterminé à partir des lactates sanguins. Au contraire, une bonne corrélation les rassemble. L'équivalent respiratoire d'oxygène est en revanche l'indice le plus fiable des indices ventilatoire. D'autres auteurs recommandent l'utilisation du VE/VO_2 pour une estimation précise du seuil ventilatoire. A travers la revue de la littérature, il semble que tous les auteurs s'accordent à reconnaître que les paramètres respiratoires permettent d'apprécier convenablement le seuil anaérobie [34].

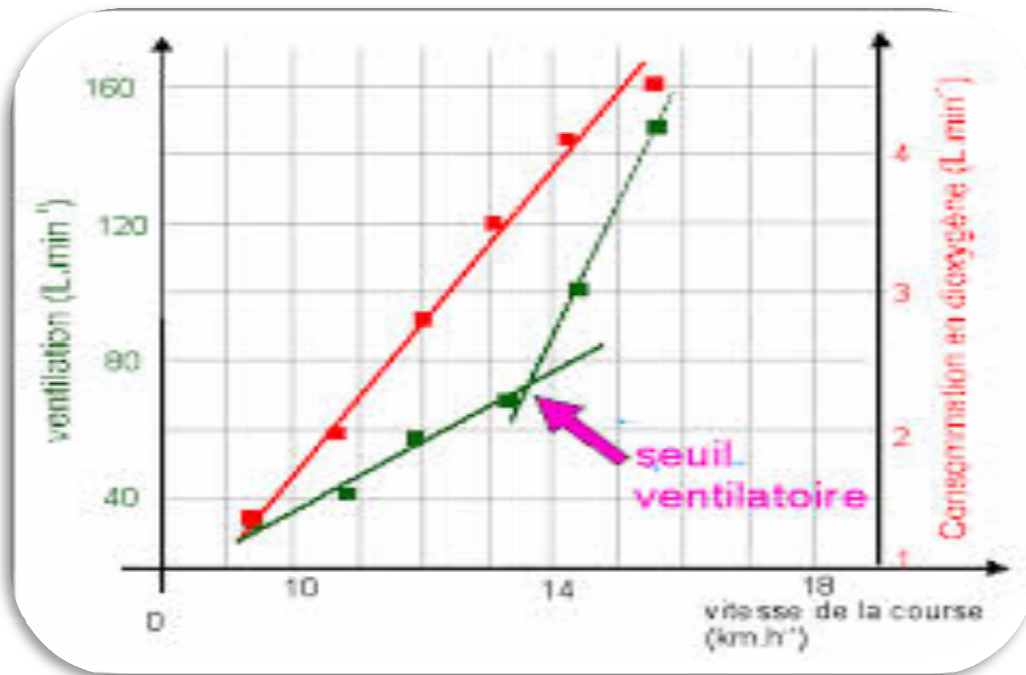


Figure 10 : Modification de la ventilation globale en fonction de la consommation de l'O₂. [63]

3.1.4. Détermination du seuil ventilatoire (SV) :

Le SV est déterminé dans plusieurs protocoles. Lors d'une épreuve d'effort, sont recueillis, en continu sous forme graphique, la consommation de (VO₂), le rejet de CO₂ (VCO₂), le débit ventilatoire (VE) et la fréquence respiratoire.

A partir de ces variables, différents indices sont calculés parmi lesquels :

- l'équivalent respiratoire d'O₂, correspondant au nombre de litres d'air ventilés pour consommer un litre d'O₂ (VE/VO₂) ce rapport caractérise l'efficacité des échanges ventilatoires pour l'O₂,
- l'équivalent respiratoire de CO₂, correspondant au nombre de litres d'air ventilés pour évacuer dans l'air ambiant un litre de CO₂ (VE/VCO₂),

- le quotient respiratoire QR, correspondant au rapport VCO_2/VO_2 ,
- le volume courant V_t .

Le seuil ventilatoire est déterminé à partir de la courbe du débit ventilatoire exprimé en fonction de la charge. Il représente la charge correspondant au point de rupture de la linéarité de VE, peuvent être également recherchés les points d'inflexion des courbes de VCO_2 , FR, QR et des rapports VE/VO_2 et VE/VCO_2 exprimés en fonction de la charge.

Il reflète également l'augmentation de la production de CO_2 libérée par les tampons d'acide lactique.

Ce phénomène a été appelé seuil anaérobie par Wasserman et Mc Ilroy 1964 [34].

Actuellement, il est possible à l'aide de nouvelles techniques moins invasives d'estimer la position de ce seuil en croisant l'évolution des rapports VE/VO_2 avec le rapport VE/VCO_2 . Le seuil est situé lors d'un exercice à intensité progressive, lorsque le rapport VE/VO_2 augmente brutalement alors que VE/VCO_2 reste constant.

Deux méthodes sont classiquement employées pour calculer le seuil ventilatoire :

- **la méthode de « Beaver » :**

Consiste à tracer les droites de courbe sur le graphe VCO_2/VO_2 . Cette dernière est généralement utilisée pour déterminer SV1. En effet, avec cette méthode, le calcul de SV2 est souvent très difficile.

Une fois SV1 est déterminé, on peut l'exprimer en VO_2 , % de la VO_{2max} , en puissance ou vitesse.

Toutefois, l'équivalent du SV1 en fréquence cardiaque est la traduction la plus pratique pour le sportif et son entraîneur. [64]

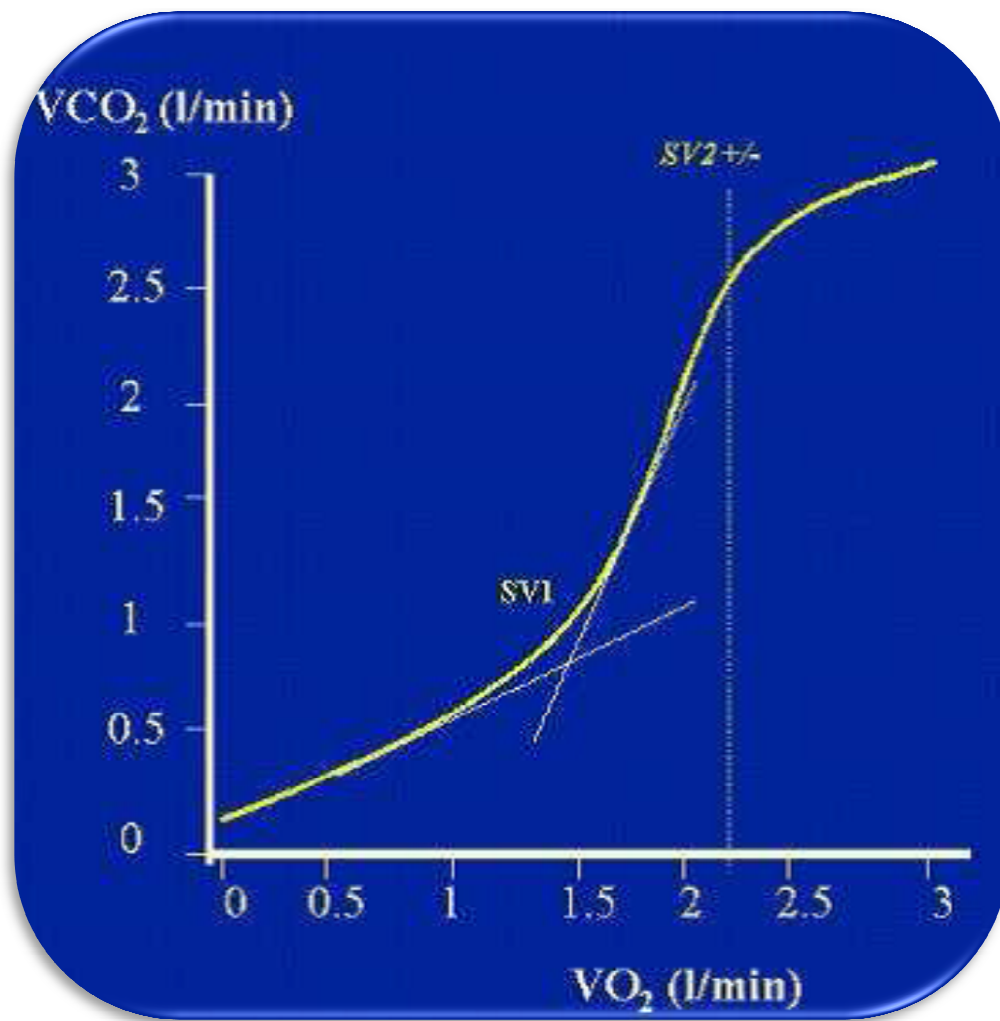


Figure 11: Méthode de beaver. [65]

- **la méthode de Wassermann :**

Est basée sur les équivalents respiratoires en oxygène (VE/VO_2) et en dioxyde de carbone (VE/VCO_2). Ces derniers sont le rapport de la ventilation (l/min) sur la quantité d'O₂ ou de CO₂ échangée (l/min).

Pour déterminer SV1, on note l'élévation du rapport VE/VO_2 sans augmentation concomitante du rapport VE/VCO_2 . Dans ces conditions, l'augmentation de VE/VO_2 , indique que l'élévation de la ventilation (VE) pour éliminer le CO₂ est disproportionnée par rapport aux besoins de l'organisme en O₂.

Pour déterminer SV2, on note l'élévation du rapport VE/VCO_2 . On préférera utiliser cette méthode à celle de Beaver, pour déterminer SV2. [64]

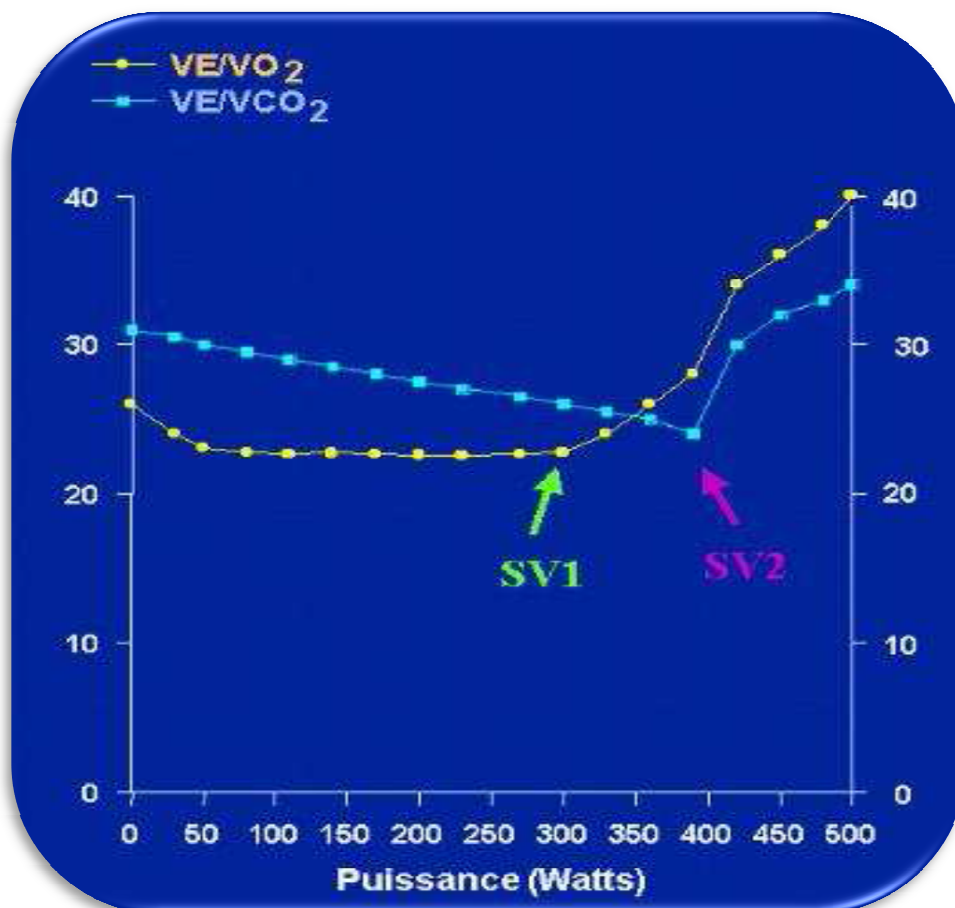


Figure 12 : Méthode de wassermann. [66]

Ces valeurs sont toutefois modifiées en fonction de la discipline pratiquée et de l'intensité de l'effort.

En effet, l'entraînement va permettre de déplacer ces seuils vers la droite, c'est à dire, permettre à l'organisme de mieux tolérer les exercices longs et/ou intenses [35].

3.2. Adaptation cardio-vasculaire à l'effort :

Le transport d'O₂ vers les muscles actifs en fonction des besoins dépend des possibilités d'adaptation du débit cardiaque et de la différence de concentration en O₂ et CO₂ entre le sang artériel et le sang veineux mêlé. Il dépend également des mécanismes vasculaires périphériques comportant une redistribution du débit sanguin entre les territoires actifs et inactifs avec un abaissement des résistances vasculaires.

Dès le début de l'exercice, pour répondre aux besoins nouveaux de l'organisme, apparaissent des modifications circulatoires :

- Au niveau local : une vasodilatation des artérioles et un relâchement des sphincters pré capillaires qui entraîne l'ouverture des capillaires qui étaient collabés au repos.
- Au niveau cardiaque : élévation du débit par augmentation de la Fc et du VES.
- Au niveau général : une redistribution compensatrice de la masse sanguine avec nouvelle répartition des débits de l'organisme en faveur de la zone en activité (muscles) et augmentation de la vitesse du retour veineux du sang vers le cœur.
- Au niveau pulmonaire : l'élévation parallèle du débit cardiaque et du débit sanguin pulmonaire, permet une augmentation des échanges gazeux.

3.2.1. Débit cardiaque (Qc):

Il augmente dès le début de l'exercice pour se stabiliser rapidement à un niveau qui est fonction de la puissance imposée. A la fin de l'exercice, le débit diminue puis revient progressivement à sa valeur initiale. Il existe une relation étroite entre le débit cardiaque et le $VO_2\text{max}$. Le débit cardiaque augmente avec la consommation d' O_2 .

Dans les conditions de repos, les valeurs de QC sont de 5 à 7 l/min, il augmente pendant l'effort par :

- L'augmentation de la Fc;
- L'augmentation du VES.

3.2.2. Fréquence cardiaque (FC) :

Chez le sportif, elle augmente brusquement dès le début de l'exercice puis plus lentement jusqu'à une valeur d'équilibre. A l'arrêt de l'exercice, une diminution survient brutalement suivie d'une évolution plus lente et progressive vers la Fc de repos. Si l'intensité d'exercice dépasse la PMA, la Fc atteint rapidement sa valeur maximale et s'y maintient jusqu'à la fin de l'épreuve.

La Fc exprime assez bien l'adaptation du débit cardiaque et des échanges gazeux.

Elle est également facile à contrôler et permet de suivre très bien le niveau d'intensité d'une activité physique [67]. Pour la Fc, le rythme autonome sinusal est sous la dépendance des deux systèmes nerveux antagonistes. Le système nerveux parasympathique exerce une action inhibitrice et le système nerveux sympathique une action accélératrice, il semble que c'est à environ 50% du $VO_2\text{max}$ que se situe l'équilibre entre les deux influences.

Partie 3 :

« La balance d'utilisation énergétique »

Apports énergétiques :

Les exigences du sport moderne ont obligé les sportifs à soigner, voire, à quantifier leurs habitudes alimentaires pour atteindre la performance. Selon l'activité pratiquée, la période d'entraînement et le niveau des athlètes, les diététiciens n'ont pas cessé d'exceller dans le domaine des régimes alimentaires mis en place.

Les enquêtes alimentaires constituent un moyen unique pour connaître les habitudes alimentaires du sportif et à déterminer la nature, la fréquence et la quantité des aliments consommés ainsi que leur mode de préparation et de consommation.

La méthode du semainier représente l'avantage de calculer la valeur moyenne des apports alimentaires pendant 7 jours consécutifs, période considérée comme suffisante pour s'affranchir de l'instabilité transitoire de la balance énergétique.

Les enquêtes alimentaires bien conduites, sur la base de questionnaires éprouvés, permettent d'appréhender les apports sous l'angle quantitatif (apport énergétique) et sous l'angle qualitatif (composition de l'apport énergétique). En se référant à l'ensemble des études réalisées à ce jour, on peut estimer les apports énergétiques des sportifs d'endurance entre 45-85 Kcal/Kg/j, soit 3100 à 6100 Kcal/j pour un sujet de 70Kg.

Pour les disciplines à tendance anaérobie, les apports énergétiques sont plus faibles. L'étape d'entraînement influence aussi les apports énergétiques [68].

I. Dépenses énergétiques :

L'exercice et quelques soient ses caractéristiques d'endurance ou de force se traduit bien par une augmentation de la dépense énergétique totale quotidienne. Cette dépense est augmentée par la pratique de l'exercice lui-même, mais aussi par les effets induits, à moyen terme, sur les dépenses métaboliques de repos et particulièrement à la suite d'exercices musculaires [69].

1.1. Différentes dépenses énergétiques journalières:

➤ Le métabolisme de base :

La dépense énergétique totale du métabolisme de base est égale à la production de chaleur car les dépenses liées au travail musculaire, au stockage des nutriments et à la thermorégulation sont réduites au minimum. Cette dépense est minimale entre 3 et 5h du matin. Le métabolisme de base est grossièrement de $45 \text{ kJ/m}^2/\text{h}$ chez un adulte.

➤ La dépense énergétique de repos :

Elle correspond à la dépense énergétique de base à laquelle on ajoute l'énergie liée au réveil et à l'effet thermique des aliments. Elle est supérieure de 10% à celle du métabolisme de base.

➤ La dépense énergétique à l'effort musculaire :

La quantité d'énergie produite au repos et surtout durant l'exercice musculaire peut être évaluée par la méthode dite « calorimétrie indirecte », l'oxydation des substrats énergétiques a été calculée à partir de la mesure des échanges respiratoires en gaz expirés. L'utilisation du quotient respiratoire « QR » est la méthode la plus simple et la plus largement répandue pour la détermination et l'utilisation de carburants.

Notons que le MET (équivalent métabolique) correspond à une dépense énergétique de 3,5 ml d'O₂ par Kg. Au repos et à l'exercice, il est possible d'exprimer la dépense énergétique en METs [70].

1.2. Calorimétrie indirecte

Le renouvellement de l'énergie dans les fibres musculaires ne peut être mesuré directement. Il existe, par contre, de nombreuses méthodes de mesure indirecte pour calculer la quantité d'énergie dépensée par l'organisme au repos ou à l'exercice.

Certaines de ces méthodes datent des années 1900, d'autres sont plus récentes.

Les métabolismes du glucose ou des graisses consomment de l'O₂ et produisent du CO₂ et de l'eau. Or les échanges gazeux pulmonaires en O₂ et CO₂ sont essentiellement fonction de leur utilisation ou libération par les tissus. Il est alors possible d'évaluer la

dépense calorique par des mesures respiratoires. Cette méthode d'évaluation de la dépense énergétique est appelée « calorimétrie indirecte » parce que la chaleur produite n'est pas mesurée directement, elle est en fait calculée à partir des mesures de l'O₂ et du CO₂. Cela en se basant sur le principe de thermodynamique suivant :

« La quantité d'énergie libérée par le catabolisme des aliments à l'intérieur de l'organisme est la même que celle qui serait libérée par le catabolisme à l'extérieur de l'organisme ».

Il a été reconnu que toutes les réactions produisant de l'énergie dépendent, enfin de compte, de l'approvisionnement en O₂. En fait, c'est par la mesure de la consommation d'O₂ qu'on est arrivé à évaluer la dépense énergétique, donc le métabolisme énergétique.

La spirométrie en circuit fermé et en circuit ouvert sont deux applications de la calorimétrie indirecte. La spirométrie en circuit ouvert est la plus utilisée pour l'évaluation de la consommation d'O₂ pendant l'exercice. C'est une méthode relativement simple, le sujet inspire, contrairement à la méthode fermée, de l'air ambiant dont la composition est constante, l'analyse de la composition gazeuse de l'air ambiant inspiré fournit des indications sur la production de l'énergie par l'organisme.

L'activité musculaire s'accompagne d'un accroissement de la dépense énergétique qui peut s'apprécier à l'aide d'un dispositif de mesure du VO₂ sur ergomètre ou sur tapis roulant.

Anciennement, on utilisait des sacs (sacs de Douglas) pour recueillir les volumes gazeux, un spiromètre de Tissot pour la mesure des volumes gazeux et des analyseurs de gaz pour déterminer le teneur en O₂ et en CO₂ de l'air expiré. Actuellement, la mesure des échanges gazeux est déterminée grâce à des dispositifs intégrant ces 3 fonctions. La méthode est informatisée (CPX, Medisoft, Cosmed, ZAN...). Grâce à des analyseurs compactés, transportables, le VO₂ peut être déterminé sur le terrain.

A partir des signaux électroniques captés par les appareils, l'ordinateur effectue tous les calculs métaboliques. Les données apparaissent à l'écran ou bien sont imprimées durant toute la période de mesure. Un tapis roulant, un ergocycle, un marcheur, un rameur, un sac de nage ou d'autres appareils permettent l'exécution de l'épreuve [71].

1.3.Quotient respiratoire (QR) :

On appelle quotient respiratoire le rapport entre la quantité de gaz carbonique produit par l'oxydation totale d'un substrat ($V\text{CO}_2$) sur la quantité d'oxygène nécessaire à cette oxydation complète (VO_2). Le quotient respiratoire varie en fonction du substrat considéré.

Il constitue un outil pratique pour évaluer approximativement le catabolisme énergétique d'un mélange métabolique au repos ou à l'exercice musculaire.

$$\text{QR} = V\text{CO}_2 / \text{VO}_2 \text{ [72].}$$

Les taux d'oxydation des lipides et des glucides sont calculés à partir des mesures des échanges gazeux selon la technique du quotient respiratoire non protéique. Nous employons fréquemment le QR pour estimer l'oxydation de ces substrats. Le QR permet d'identifier les proportions respectives des hydrates de carbone et des graisses qui sont utilisées. Il est employé pour évaluer le métabolisme des substrats aussi bien au repos que durant un exercice physique. Les valeurs du QR s'étendent entre 0,77 après une nuit de jeûne (lorsque la graisse constitue la principale source oxydative) et 1 après un repas riche en glucides (lorsque le glucose devient le substrat oxydatif majoritaire).

Chez l'homme, le calcul du quotient respiratoire à partir de la mesure de la $V\text{CO}_2$ et de la VO_2 informe sur la nature des substrats oxydés. Plus le quotient respiratoire mesuré se rapproche de l'unité, plus l'organisme utilise les glucides pour assurer son besoin d'ATP. Lorsque le quotient respiratoire se rapproche de 0,7, les lipides sont alors un substrat privilégié pour la fourniture d'ATP.

La valeur du QR varie proportionnellement en fonction de l'intensité d'une activité physique, il varie aussi suivant le type de substrat utilisé pour produire de l'énergie. Les AGL contiennent beaucoup plus de carbone et d'hydrogène mais moins d' O_2 que le glucose. Pour les glucides $\text{QR} = 1$.



$$\text{QR} = V\text{CO}_2 / \text{VO}_2 = 6\text{CO}_2 / 6\text{O}_2 = 1$$

Pour les lipides le $\text{QR} = 0,7$.

Exemple l'acide palmitique: C₁₆H₃₂O₂



$$\text{QR} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2 = 16 \text{CO}_2 / 23 \text{O}_2 = 0.7$$

Quand **QR=1** les glucides fournissent 100% de l'énergie, alors que si **QR = 0,7**, les lipides représentent la majeure source d'énergie.

Un QR qui se rapproche de 1 indique une utilisation majoritaire des glucides, un QR qui tend vers 0,7 indique une utilisation accrue des lipides. Au repos, on obtient un QR de 0,85 en moyenne indiquant un QR mixte.

Une fois le QR calculé à partir des échanges gazeux, la valeur obtenue peut être comparée à d'autres grâce à une table qui permet de déterminer la nature des substrats oxydés.

Si le QR est de 1, les cellules ont utilisé seulement le glucose et le glycogène et chaque litre d'O₂ libérera 5,05 Kcal. L'oxydation des graisses seules libère 4,69 Kcal / l d'O₂ et l'oxydation des protéines 4,46 Kcal / l d'O₂ [73].

Tableau 3: Equivalence calorique du QR et % Kcal issu des sucres et des graisses. [73]

QR	Energie (Kcal/ l d'O ₂)	Glucides (% Kcal)	Lipides (% Kcal)
0.7	4.69	0	100
0.75	4.74	15.6	84.4
0.8	4.8	33.4	66.6
0.85	4.86	50.7	49.3
0.9	4.92	67.5	32.5
0.95	4.92	84	16
1	5.05	100	0

Théoriquement, on considère l'utilisation des protéines à l'effort négligeable, ainsi, le QR est appelé alors QR non protéique ou QR lipido-glucidique.

Les différents calculs nous donnent que l'oxydation de 1g de glucose consomme 0,746l d'O₂ et produit 0,746l de CO₂ et 1g de lipides consomme 2,03l d'O₂ et produit 1,43l de CO₂ [44].

Ces données permettent de formuler les équations qui mesurent les relations existant entre les valeurs de VO₂ et celles du VCO₂ mesurées et l'utilisation des différents types de substrats énergétiques (les protéines étant négligeables) :

$$\text{VO}_2 \text{ (l.m-1)} = 0,746 \text{ glucides} + 2,03 \text{ lipides}$$

$$\text{VCO}_2 \text{ (l.m-1)} = 0,746 \text{ glucides} + 1,43 \text{ lipides}$$

$$\text{Glucides (g.min-1)} = 4,55 \text{ VCO}_2 \text{ (l.m-1)} - 3,21 \text{ VO}_2 \text{ (l.m-1)}$$

$$\text{Lipides (g.min-1)} = 1,67 \text{ VO}_2 \text{ (l.m-1)} - 1,67 \text{ VCO}_2 \text{ (l.m-1)}$$

La proportion des glucides et des lipides dans la fourniture d'énergie est déterminée par les équations suivantes :

$$\% \text{ lipides (L)} + \% \text{ glucides (G)} = 100\% \text{ soit } L + G = 1$$

Cette équation peut être réduite par l'utilisation du QRL-G :

$$\% \text{ QRL} + \% \text{ QRG} = 100\% = 1 = \text{QRL-G}$$

Sachant que QRG = 1 et QRL = 0,7, il est possible d'écrire :

$$\text{QRL-G} = 1G + 0,7L$$

$$\text{De là } G = \text{QRL-G} - 0,7L \text{ et } L = (1 - \text{QRL-G}) / 0,3$$

$$\text{Et donc } \text{Lipides (\%)} = [(1 - \text{QR}) / 0,3] \times 100$$

$$\text{Glucides (\%)} = 100 - \%L \text{ ou } 100 - [(1 - \text{QR}) / 0,3] \times 100 \text{ [70].}$$

1.4.Critiques de l'utilisation de la calorimétrie indirecte :

La calorimétrie indirecte est loin d'être parfaite. Les calculs effectués à partir des échanges gazeux supposent que le contenu de l'organisme en O_2 reste constant et que les échanges gazeux de CO_2 sont proportionnels à sa libération par les cellules. Le sang artériel est toujours totalement saturé en O_2 (98%) même lors d'un effort intense. Il a été affirmé que le volume d' O_2 renouvelé par l'air respiré, est proportionnel à sa consommation. Le rejet de CO_2 est moins constant. Le contenu en CO_2 est plus important et peut être modifié simplement par une hyperventilation ou par la réalisation d'un exercice intense. Dans ces conditions, la quantité de CO_2 rejetée par les poumons peut ne pas présenter précisément son niveau de production par les tissus. L'utilisation de cette méthode pour déterminer la nature des substrats utilisés n'est donc fiable qu'au repos ou lors d'un exercice en régime stable (steady state), c'est la raison pour laquelle les calculs se font aux dernières minutes de chaque palier lors des épreuves d'effort utilisant des protocoles précis.

L'utilisation du QR peut aussi s'avérer inexacte ; Rappelons que les protéines ne sont pas totalement oxydées par l'organisme parce que l'azote n'est pas oxydable. Il est donc impossible à partir du QR de connaître la contribution des protéines à la fourniture énergétique. C'est pourquoi le QR est parfois appelé QR non protéique.

Si l'utilisation du QR peut se justifier lors d'exercices de durée limitée dans lesquels les protéines contribuent peu à la fourniture d'énergie, il n'en est plus de même si l'exercice dure plusieurs heures car les protéines peuvent alors apporter plus de 10% de l'énergie totale dépensée. En dépit de ces insuffisances, la calorimétrie indirecte est susceptible de nous fournir une bonne approximation de la dépense énergétique au repos et à l'exercice sous maximal.

II. Balance d'utilisation gluco-lipidique :

L'utilisation des acides gras et des sucres représentent 2 voies métaboliques intimement liées entre elles (glycolyse et oxydation).

Ainsi, l'utilisation majoritaire d'un de ces 2 substrats devrait influencer l'utilisation de l'autre. On parle d'interaction entre substrats dans l'apport total d'énergie [74].

La balance gluco-lipidique dépend essentiellement de l'intensité de l'exercice pratiqué, du statut nutritionnel et du niveau d'entraînement.

Pendant un exercice, la part des lipides dans les substrats utilisés par le muscle est d'autant plus élevée que l'exercice est moins intense et poursuivi plus longtemps. Ainsi, les lipides fournissent 50% de l'énergie jusqu'à 50% de la $VO_2\text{max}$ [75].

Au-delà, pour des exercices intenses, leur utilisation diminue jusqu'à devenir nulle à 90% de la $VO_2\text{max}$.

Pendant le repos et durant les exercices à intensité modérée, les lipides sont prédominants comme source énergétique. Plus l'intensité de l'exercice augmente plus la balance change et les sucres deviennent prédominants [76].

Au cours de l'exercice musculaire, les concentrations des catécholamines augmentent avec l'intensité de l'exercice alors que celles de l'insuline diminuent, ce qui favorise la libération d'acides gras comme substrat énergétique des intensités d'exercice de 25% à 65% du $VO_2\text{max}$; l'augmentation régulière d'adrénaline avec l'intensité pourrait être responsable de l'augmentation de la lipolyse [68].

Cependant, pour des exercices plus intenses, cette relation n'est pas retrouvée, on peut supposer que lors d'efforts intenses, d'autres facteurs comme la production d'acide lactique et/ou de corps cétoniques viennent limiter l'action lipolytique des catécholamines [77].

Comparativement avec des sujets non sportifs et pour une même intensité d'exercice, les sujets entraînés en endurance ont une oxydation lipidique plus élevée [78-79]. L'augmentation de l'oxydation des graisses est associée en partie à l'augmentation du niveau des acides gras libres sanguins résultant de la réduction de l'insuline et de l'élévation du glucagon et des catécholamines [80].

Enfin, un autre point qui influence la balance d'utilisation gluco-lipidique est la diète : beaucoup d'études ont montré que prendre une diète riche en lipides pendant de longues

périodes favorise l'augmentation de la contribution de l'oxydation des lipides pour une même intensité de l'exercice. Par exemple, Janson et Kaijser [81] ; ont trouvé que pendant l'effort, pédaler à 65% du VO_2max donne un QR de 0,92 chez les sujets à régime riche en glucides et un QR de 0,81 pour les mêmes sujets ayant pris un régime riche en lipides pendant 7 jours. Un QR de 0,81 indique que les glucides participent avec un taux de 34% dans la fourniture d'énergie.

Un autre fait marquant dans l'étude de Helge et al [82], pour une longue période du régime riche en lipides, environ 49 jours, ils ont trouvé que seulement 38% de l'énergie totale provient des glucides avec un QR de 0,82 malgré une intensité d'exercice plus élevée de 70% du VO_2max , ce qui montre l'influence de la longueur de la durée du régime lipidique sur la balance d'utilisation gluco-lipidique.

De même, Helge et al [83], ont trouvé dans leur étude que pendant l'exercice, le QR est significativement plus bas chez les sujets qui ont consommé une diète riche en lipides ($0,86 \pm 0,01$) relativement aux sujets au régime glucidique ($\text{QR}=0,93\pm0,02$). Ils ont démontré que les VLDL-TG et les AGL contribuent significativement à la fourniture d'énergie pendant le régime riche en lipides. Ils ont conclu que le régime lipidique diminue la dépendance au glycogène.

Les mêmes constatations ont été observées par l'étude de Achten et al [84], qui ont rapporté une augmentation de l'oxydation des lipides et une baisse de la glycogénolyse musculaire chez 07 coureurs qui s'entraînent quotidiennement et qui consomment une alimentation contenant 45% de glucides, 15% de protéines et 40% de graisse.

Pour leur part, Smith et al [85], ont effectué une étude randomisée chez 6 hommes en bonne santé avec 2 types de régimes : le premier est composé de lipides 37% de protides 14% et de glucides 49%, destiné à 4 sujets. Le deuxième est composé de 50% de lipides, 14% de protides et 36%, de glucides destiné à 2 sujets. La dépense totale d'énergie est maintenue à 1,4 fois la dépense de repos.

Les auteurs ont trouvé que le quotient respiratoire QR de 24 heures a diminué plus rapidement et d'une plus grande ampleur à l'effort. Ils ont observé une baisse très variable du QR à l'augmentation de l'effort selon les individus. Ils ont conclu que l'activité physique augmente l'oxydation des lipides pour le régime riche en graisses.

III. Concept du point de croisement métabolique (crossover) :

La théorie du « crossover », développée par Brooks et Mercier 1994 [86], représente une intégration des effets combinés de l'entraînement et de l'intensité de l'exercice sur la balance d'utilisation des substrats énergétiques (glucides et lipides) au cours de l'effort musculaire.

Ce concept est basé sur la notion que l'entraînement physique développe les adaptations cellulaires et hormonales qui facilitent l'oxydation lipidique et réduisant l'activité du système sympathique. Tandis que l'intensité de l'exercice augmente l'utilisation des glucides en stimulant l'activité sympathique.

La balance d'utilisation des substrats énergétiques dépend à tout moment de l'interaction des effets de l'entraînement et de l'intensité de l'exercice.

Le concept du « crossover » pendant l'exercice est le facteur le plus important pour déterminer la balance d'utilisation des substrats énergétiques pendant l'exercice [87-88].

Le crossover représente l'intensité de l'exercice où la quantité d'énergie provenant des glucides devient supérieure à celle fournie par les lipides. Ce point est représenté comme étant une quantité d'énergie de 30% de lipides et 70% de glucides.

On peut expliquer ces chiffres par les équivalents caloriques du glucose et des lipides, qui apportent respectivement 4 Kcal et 9 Kcal par gr de substrat. Ainsi, ces molécules procurent un potentiel énergétique total d'environ 13 Kcal. En divisant l'équivalent calorique du glucose et des lipides par cette énergie potentielle, nous obtenons un pourcentage d'utilisation glucidique de 70% et un pourcentage d'utilisation lipidique de 30%.

L'entraînement va déplacer ce point vers des valeurs de puissances plus importantes [89].

Autrement dit, après entraînement d'un individu, il sera moins dépendant des glucides tout en utilisant plus de lipides. Ainsi, il économisera son glycogène et augmentera son potentiel d'endurance [90].

Ce concept, qui reste toutefois théorique, permet de concilier les divergences sur l'interprétation de la balance d'utilisation des substrats énergétiques retrouvée dans la littérature générale. Ce point devient un point de référence dans l'évaluation des effets des variations physiologiques, des états métaboliques et des adaptations comme la diète et l'exercice physique sur la nature du substrat énergétique utilisé pendant l'effort musculaire [91].

La nature du régime pris (glucidique ou lipidique) peut influencer la position du point du crossover pour une même intensité de l'exercice [80].

L'utilisation maximale des lipides « Lipoxmax » est le point où l'augmentation de l'oxydation des lipides induite par l'augmentation de la charge de travail touche son maximum [92]. C'est un point très important lors d'établissement des programmes d'entraînement visant à diminuer le poids corporel, notamment dans la prise en charge des sujets obèses [89-93].

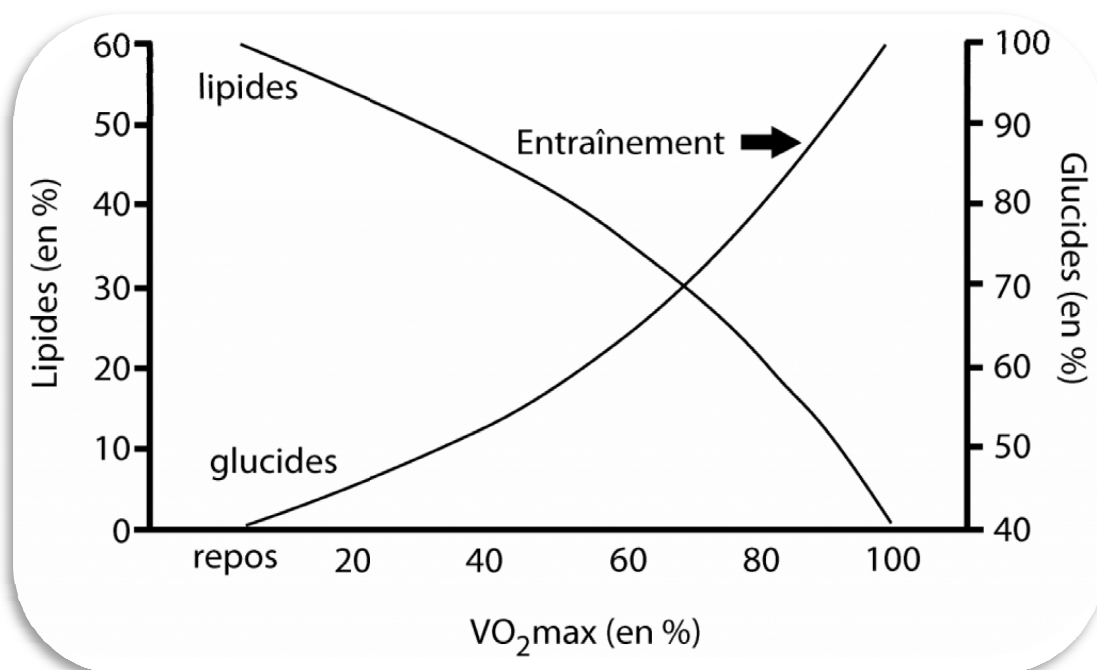


Figure 13 : Point de croisement métabolique 'crossover'. [94]

Partie 4 :

**« Effets et méthodologie de
l'entraînement »**

I. Effets physiologiques de l'entraînement

Les effets de l'entraînement peuvent se regrouper en trois catégories :

- Ceux qui se manifestent au niveau des tissus en y causant des modifications de nature métabolique,
- Ceux qui se manifestent au niveau des systèmes et qui modifient les systèmes cardio-vasculaires et respiratoires,
- Les autres effets, qui incluent la modification de la masse corporelle, du cholestérol des triglycérides sanguins, de la pression artérielle et des mécanismes de thermorégulation.

Les effets de l'entraînement dépendent du type de programme utilisé : aérobie ou anaérobie.

1.1. Modifications du métabolisme aérobie :

L'entraînement aérobie : les glucides et les lipides sont utilisés avec l'oxygène [95]. De leur combustion naît du dioxyde de carbone ainsi que de l'eau. L'entraînement augmente le contenu en myoglobine du muscle et augmente la capacité du muscle à dégrader le glycogène.

La conséquence de ce changement est une augmentation de la puissance aérobie (VO₂max).

Deux adaptations contribuent à améliorer la capacité des cellules musculaires à oxyder le glycogène après entraînement :

- Augmentation du nombre et de la taille des mitochondries du muscle
- Augmentation de l'activité ou de la concentration des enzymes impliquées dans le cycle de Krebs et dans le système de transport d'électrons.

Chez l'homme, les mitochondries sont d'environ 14 à 40% plus grandes chez les athlètes que chez les sujets sédentaires [96].

L'entraînement fait augmenter aussi l'oxydation des lipides. Cette augmentation du catabolisme des lipides représente un avantage pour améliorer la performance.

En effet, pour une charge sous maximale, la personne entraînée oxyde plus de lipides et moins de glucides qu'une personne sédentaire [97]. Cette modification du métabolisme des lipides après l'entraînement aérobie tient à trois facteurs :

- Une augmentation des réserves intramusculaires des triglycérides
- Une plus grande libération des AGL par le tissu adipeux
- Une augmentation de l'activité des enzymes responsables du transport et de la dégradation des acides gras.

1.2. Modifications du métabolisme anaérobie :

L'entraînement anaérobie (lactique) : dans le cas de production d'énergie sans apport d'oxygène, les glucides sont utilisés et métabolisés ensuite en acide lactique.

Les modifications du métabolisme anaérobie se traduisent par une amélioration du système des phosphagènes (ATP-CP) et de la glycolyse anaérobie.

La capacité du système ATP-PC est améliorée par deux principaux changements biochimiques : l'augmentation des réserves d'ATP et de CP et l'augmentation des activités des enzymes clés du système ATP-PC. La dégradation de l'ATP est contrôlée par une enzyme appelée ATPase, alors que sa resynthèse est contrôlée par la myokinase et la créatine kinase (CPK) [98].

De son côté, la glycolyse anaérobie est considérablement modifiée par l'entraînement. D'après une étude, l'activité de la CPK qui joue un rôle important dans la glycolyse a doublé. Selon une autre étude, elle a augmenté de 83%.

On rapporte aussi l'augmentation d'autres enzymes glycolytiques. Une autre preuve que la capacité anaérobie augmente après l'entraînement et qu'il s'accumule beaucoup plus d'acide lactique dans le sang après un exercice maximal [99-100].

1.3. Changements cardio-respiratoires :

Le système de transport de l'oxygène met en jeu des facteurs vasculaires, respiratoires et tissulaires qui se combinent pour réaliser un objectif commun : transport de l'oxygène aux muscles actifs [1].

Au repos : En résumé, voici les principales modifications associées à l'entraînement observées au repos :

- Diminution de la Fc;
- Augmentation du tonus parasympathique;
- Diminution du tonus sympathique;
- Augmentation du VES;
- Augmentation du volume sanguin et de l'hémoglobine;
- Augmentation de l'hypertrophie des muscles squelettiques et de la densité des capillaires.

A l'exercice sous maximal : Ces changements peuvent être résumés en :

- Diminution de l'utilisation du glycogène musculaire;
- Augmentation de l'oxydation des acides gras;
- Diminution de la production d'acide lactique;
- Augmentation du nombre et de la taille des mitochondries;
- Augmentation du VES;
- Diminution de la Fc;
- Diminution de l'activité sympathique;
- Augmentation de l'extraction de l'oxygène par le muscle **[101]**.

Au cours d'un exercice maximal : Ces changements se résument en :

- Augmentation de l'extraction de l'oxygène par le muscle;
- Augmentation de la production d'acide lactique;
- Augmentation du VES;
- Pas de changement ou légère diminution de la FC;
- Diminution de l'activité sympathique;

1.4. Modification de la masse corporelle :

- Diminution de la quantité de graisse
- Aucun changement ou une légère augmentation de la masse maigre
- Légère diminution de la masse totale

Les modifications de la composition du corps et la perte de poids dépendent de l'équilibre entre la quantité de calories consommées et la quantité de calories dépensées.

II. Principes de l'entraînement sportif

De nombreux facteurs d'ordre biologique, pédagogique et psychologique agissent sur le processus d'entraînement ; la connaissance de ces facteurs est nécessaire pour une programmation efficace de l'entraînement. Ces facteurs déterminants de la performance sont indissociables et contribuent en complémentarité à améliorer la performance [40].

L'élévation constante du niveau de performance a entraîné des méthodes d'entraînement fondées sur des principes permettant à l'athlète de gérer et de développer au mieux ses potentialités et à l'entraîneur de maîtriser sa programmation de l'entraînement [34].

Les différents auteurs d'ouvrages sur l'entraînement sportif présentent les principes fondamentaux dans une structure et un ordre différent, les spécialistes n'ont pas encore réussi à établir une théorie unique. L'ensemble des principes fondamentaux, dont le nombre varie parfois sensiblement d'un auteur à l'autre, peut se diviser selon Weineck (pris comme exemple) en 4 principaux groupes :

2.1.Principes relatifs à la charge d'entraînement : connus chez les auteurs sous le nom de principe de charge ou encore principes de l'entraînement :

➤ Efficacité du stimulus de la charge d'entraînement:

Ce principe implique que la charge d'entraînement doit dépasser un seuil déterminé pour permettre l'obtention d'une amélioration de la capacité de la performance.

Ce seuil dépend du niveau de l'athlète.

Il est connu chez d'autres auteurs comme « principe de surcharge ».

➤ **Charge d'entraînement personnalisée:**

Ce principe prescrit l'emploi de stimuli d'entraînement qui correspond au seuil de résistance physique et psychique, au degré de tolérance et aux besoins du sportif considéré individuellement.

Un régime d'entraînement imposé à un collectif peut ne pas s'accompagner des mêmes bénéfices pour tous.

➤ **Charge d'entraînement progressive :**

Ce principe repose sur l'interaction entre la charge de travail, l'adaptation de l'organisme et l'amélioration de la performance. Il veut que les exigences concernant la condition physique, les coordinations motrices, la technique, la tactique, les capacités individuelles et la volonté soient augmentées régulièrement.

➤ **Succession judicieuse des charges d'entraînement :**

Ce principe vise à répartir les exercices selon leurs exigences physiques et psychiques

➤ **Augmentation de charge variable :**

Ce principe doit surtout être utilisé lorsque l'augmentation continue de la charge ne permet plus d'obtenir d'amélioration de la performance.

A partir d'un certain niveau, l'augmentation de la charge variable est l'une des conditions indispensables de l'amélioration de la performance [40].

➤ **Rapport optimal entre charge et récupération :**

La charge et la récupération sont indissociables dans le processus d'obtention d'une amélioration de la capacité de performance. Charge et récupération doivent donc être programmées comme une unité sur une longue durée.

2.2.Principes du cycle d'entraînement

- **Charge d'entraînement continue :**

Une charge d'entraînement continue produit une amélioration continue de la capacité de performance jusqu'à la limite individuelle maximale déterminée génétiquement.

- **Périodicité de la charge d'entraînement :**

La charge d'entraînement ne peut se maintenir à la limite supérieure tout le long de l'année, il faut donc procéder périodiquement à des alternances entre charge et récupération, ce qui permet d'atteindre au bon moment la forme optimale, sans pour autant négliger le principe de continuité de la charge, c'est la raison même de la programmation de l'entraînement.

- **Périodicité de la récupération :**

L'une des méthodes employées par de nombreux athlètes de haut niveau pour surmonter la phase de stagnation consiste à faire intervenir une plus longue période de récupération, en interrompant les compétitions pendant 6 à 12 mois.

2.3.Principes de la spécialisation

- **Adaptation à l'âge :**

Le principe de l'adaptation de l'entraînement à l'âge implique l'exploitation « des phases sensibles » surtout dans les disciplines à caractère technique, demandant de fortes capacités de coordination.

- **Adaptation à l'objectif sportif spécifique :**

Grosser et al parlent aussi de la primauté de la coordination spécifique et de la spécificité de l'entraînement sportif. Cela signifie que chaque discipline a un profil caractéristique de coordination et d'exigence conditionnelle.

L'entraînement doit être spécifique et sélectif [44].

2.4.Principes de proportionnalité

- **Rapport optimal entre formation générale et formation spécifique :**

Les parts de la formation générale et de la formation spécifique varient en fonction du niveau d'entraînement. L'interaction entre généralité et spécificité est un processus dynamique qui ne peut se ramener statiquement à un rapport de pourcentage.

- **Rapport optimal entre les constituants de la performance au cours de leur évolution :**

Grosser et al 1986 parlent de principe d'interaction régulatrice. Ce principe implique l'entraînement interdépendant de la condition physique, de la technique et de la tactique et de beaucoup d'autres facteurs. Il s'agit d'éviter la prédominance disproportionnée d'un facteur sur un autre [40].

III. Programmation et organisation de l'entraînement

Pour qu'un entraînement soit efficace, il faut non seulement en prévoir la forme, mais aussi la programmation à long terme, la structuration et l'évaluation de l'entraînement. Programmer permet, une fois les objectifs ordonnés, hiérarchisés, à l'éducateur d'établir le programme d'entraînement. L'entraîneur organisera alors son plan d'action autour d'un certain nombre de périodes de travail, échelonnées dans le temps, appelées « cycles » et se déployant du plan pluriannuel à l'exercice [102].

Selon Starischka 1988 [103], la programmation de l'entraînement est un processus prévisionnel systématique fondé sur l'expérience de la pratique et les connaissances des sciences sportives, de structuration d'un entraînement (à long terme) en fonction d'un objectif et du niveau individuel de performance déjà acquis.

La principale caractéristique de la programmation est la périodicité de l'entraînement. L'objectif de la programmation est de réaliser une sommation positive des effets de l'entraînement pour permettre le développement des potentialités individuelles et collectives et surtout d'arriver au jour de la compétition dans la meilleure forme possible.

3.1. Différents types de programmes :

Programme pluriannuel :

C'est un programme à long terme, il comporte différentes étapes : entraînement de base, entraînement de formation et entraînement de haut niveau.

Programme annuel :

Il structure l'entraînement durant année, il contient :

- Différents objectifs de l'équipe
- La programmation des charges de l'entraînement
- Le diagnostic prévisionnel de la performance
- Le programme des compétitions, y compris les matchs tests
- Le programme d'évaluation.

La planification annuelle est la base de toute programmation d'entraînement, c'est le premier travail de l'entraîneur à la veille d'une nouvelle saison sportive. Elle varie d'un pays à un autre essentiellement en fonction du calendrier des compétitions ou encore pour des raisons climatiques, des considérations des pratiques régulières et même économiques. Elle diffère selon qu'elle concerne la préparation des joueurs de haut niveau ou celle des jeunes en formation, bien qu'elle s'appuie sur les mêmes principes méthodologiques [104].

3.2. Organisation des microcycles : planification :

Planifier consiste, à partir d'une évaluation diagnostique à analyser, à concevoir, à définir et à structurer un projet, à le formaliser, à l'orienter selon des finalités, des buts, des objectifs, approche déclinée à travers une méthodologie. Programmer et planifier sont deux démarches complémentaires qui se succèdent dans le temps tout en se référant l'une à l'autre constamment [102].

Le microcycle est une des unités les plus importantes de tout système d'entraînement. Chaque microcycle doit exercer une influence particulière sur l'organisme. Il est important d'en élaborer le contenu de façon à résoudre une ou plusieurs tâches incluses dans la préparation du sportif. L'agencement des microcycles doit demeurer relativement stable durant plusieurs

semaines. Le fondement du microcycle est l'alternance harmonieuse des effets de la fatigue et de la récupération.

Pour élaborer correctement un microcycle, il faut à la fois connaître les réactions individuelles du sportif et la cinétique particulière du processus de récupération **[105]**.

Le rapport optimal entre les efforts et le repos joue un rôle capital dans la planification de l'entraînement. L'alternance des efforts et de la récupération peut provoquer, au sein d'un microcycle, 3 principaux types de réaction :

- Peu ou pas d'effet;
- Amélioration optimale de l'état de forme;
- Surentraînement.

Partie 5 :

« Nutrition du sportif »

I. Introduction :

Chaque activité sportive nécessite un environnement favorable à la réalisation d'une bonne performance. Ainsi, il faut intégrer la préparation mentale, tactique, technique et la préparation physique générale et spécifique (quantitative ou qualitative).

Globalement, il est nécessaire pour maintenir un bon état de « Préparation » et pour faciliter les phases de récupération entre les séances de conditionnement musculaire et physiologique, d'adopter une diététique appropriée. En effet, la nutrition permet de potentialiser les capacités d'adaptation de l'organisme à l'effort et d'arriver dans les meilleures conditions le jour J (le jour de la compétition).

L'alimentation est orientée sur un équilibre alimentaire de base, avec un enrichissement en glucides complexes, acides gras oméga 3, protéines de bonne qualité et nutriments à haute valeur anti-oxydant (riches en vitamine E).

Pour cela, le corps doit recevoir en quantité suffisante :

- **Des protéines** (qui font la structure du muscle), d'origine autant de la mer que de la terre afin de permettre les reconstructions tissulaires lors des phases de récupération, propices à « l'anabolisme musculaire ».
- **Des glucides complexes** (qui servent de carburant pour l'effort), de bonne qualité micro-nutritionnelle avec des céréales complètes, des produits céréaliers complet ou semi-complets sous divers formes (pain, riz, pâtes,...) pour optimiser le support énergétique.
- **Des lipides** (qui servent de carburant pour les efforts longs et qui sont source de certaines vitamines que l'on ne trouve pas ailleurs),
- **Des fruits frais et des légumes frais** qui apportent un complément d'antioxydants (vitamine C, polyphénols comme des flavonoides et tanins, anthocyanes, acides phénoliques, bêta-carotène...).

Pour le sportifs, les conséquences d'une mauvaise alimentation sont multiples : manque d'énergie et d'endurance, mauvaise récupération, étourdissements, risque accru de blessures,

manque de coordination, fonte musculaire, anémie, vieillissement précoce, etc. On peut profiter davantage de ses loisirs et prévenir ces problèmes en adaptant son alimentation à ses besoins en énergie. La grande dépense énergétique associée à des activités exigeantes demande de bien équilibrer l'apport en glucides, en protéines et en lipides.

Dans ce travail, on va décrire la nutrition des différents sports, les exigences demandées pour le bon fonctionnement de l'organisme du sportif.

II. Différents types de sport :

2.1. Football

2.1.1. Présentation :



Figure 14 : football. [106]

Le football est un sport collectif opposant deux équipes de onze joueurs dans un stade dont la durée officielle d'un match est 2 fois 45 min.

L'objectif de chaque équipe est de mettre un ballon sphérique dans le but adverse, sans utiliser les bras, et de le faire plus souvent que l'autre équipe.

C'est un sport qui varie selon les différents efforts demandés et qui associe des qualités aérobiques (demande d'oxygène pour réaliser l'effort) et anaérobiques (efforts sans consommation d'oxygène).

Le football présente une demande physiologique hybride, c'est-à-dire associant une demande de type sprint et une demande de type course à vitesse modérée.

La plus grande partie du temps, le football demande de petites courses qui sont suivies de périodes de récupération. Il s'agit d'activités du type anaérobie. Les sprints courts et les sauts, en particulier sur corner, coup franc ou dégagement du gardien, font appel à des qualités de vitesse et de force verticale.

Ce sont des efforts réalisés en anaérobiose alactique, c'est-à-dire sans besoin d'oxygène ni production d'acide lactique.

12 % de l'activité déployée dans un match de football est de nature anaérobie à haute intensité.

Mais le football demande aussi des accélérations et des courses plus longues qui font appel à des efforts réalisés en anaérobiose et production d'acide lactique.

88 % de l'activité déployée dans un match de football est de nature aérobie, c'est-à-dire utilisant l'oxygène, ce sont des efforts explosifs et répétés.

Le football est un sport très technique qui demande des qualités de coordination importantes. C'est aussi un sport d'équipe qui permet de développer des qualités humaines importantes : sens de l'équipe, du sacrifice, de la responsabilité [107].

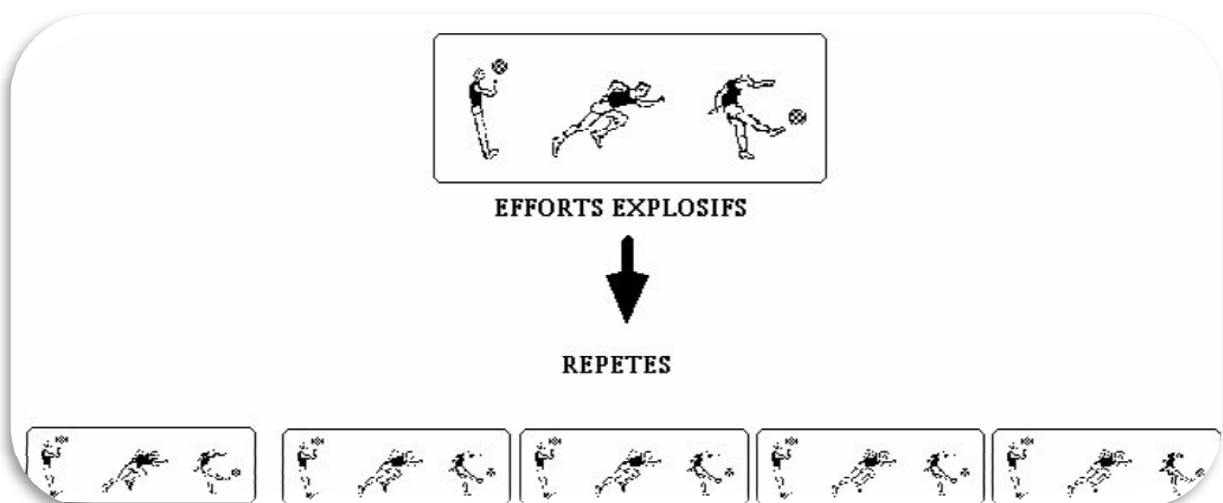


Figure 15 : Différents efforts en football. [107]

En football les muscles des membres inférieurs et le système cardio respiratoire sont les plus sollicités :

Le système cardiovasculaire :

Le cœur est sollicité lors des efforts aérobies, c'est-à-dire ceux qui nécessitent un apport d'oxygène dans les muscles. Le fait que le footballeur bénéficie de temps de récupération (quand il n'a pas la balle) permet au cœur d'être moins sollicité que dans d'autres sports.

Il en résulte une consommation maximale d'oxygène (VO_2 max) moins importante dans le football de haut niveau que par exemple dans le ski de fond, le jogging ou le cyclisme.

Les muscles inférieurs : L'activité musculaire du footballeur est intense, pendant un match, celui-ci parcourt en moyenne 11 kms dont 1 environ en course très intense. Mais sauter, accélérer, attaquer, défendre, se retourner, se relever, demande toujours un effort supplémentaire.

Muscles plus sollicités :

- Les muscles de la cuisse et en particulier le muscle quadriceps, les droits antérieurs et le psoas iliaque impliqués dans la frappe de la balle ;
- Les muscles adducteurs sollicités dans la plupart des gestes : frappe de la balle, dribbles et/ou crochets, passe du ballon de l'intérieur du pied, course avec le ballon ;
- Les muscles péroniers qui participent à la stabilisation du corps ;
- Les muscles ischio jambiers, triceps et jumeaux qui stabilisent le genou, articulation très exposée au football ;
- Les muscles du cou dont le rôle est essentiel à la fois pour réussir la tête et pour se prémunir des risques que sa pratique répétée fait courir au footballeur ;
- Les muscles abdominaux qui participent aussi au geste, en particulier lors de la préparation de la frappe qui nécessite un mouvement de rotation du tronc impliquant le muscle grand oblique **[108]**.

L'âge moyen d'un joueur professionnel est de 20 ans, ses caractéristiques physiques et techniques évoluent selon son poste ; pour un défenseur c'est entre 26 et 32 ans, pareil pour les goals, les attaquants plutôt 24-28, mais cela diffère d'un joueur à l'autre.

Le football est un sport à prédominance masculin, dont 97% représentés par les hommes alors que seulement 3 % représentés par les femmes [109].

2.1.2. Nutrition :

a) Principe général :

Pendant un match de football, les muscles seront mobilisés sur une longue période et parfois de façon très intensive, suivant le poste occupé. L'énergie sera principalement fabriquée en présence d'oxygène pendant les phases de faible intensité. Par contre, quand l'action sera plus intense, la filière anaérobie (sans oxygène) sera aussi fortement sollicitée : c'est principalement cette filière qui engendre la production d'acide lactique et l'acidification du sang. D'où la sensation « *d'être dans le rouge* » et d'avoir les muscles durs... [110].

Pour cela l'organisme du joueur de foot doit disposer de glucides (sucres) rapidement utilisables pour pouvoir fabriquer de l'énergie. Ceux-ci proviennent de l'alimentation consommée pendant l'activité sportive mais aussi des réserves de glycogène dans le foie et les muscles.

Les réserves de glycogène seront la principale source de glucides utilisée par les muscles pour fabriquer l'énergie.

En effet, un entraînement régulier mais aussi une alimentation riche en glucides lents (pâtes, riz, semoule etc...) les 3 jours (au moins la veille) avant la compétition permet d'avoir un stock de glycogène adéquat. Dans le cas contraire, une baisse de performance se fera vite sentir en seconde mi-temps. Ou alors, il faudra assurer un apport régulier de glucides pendant le match [111].

Ration type :

Le petit déjeuner

Le petit déjeuner est important, sans pour autant être le plus important pour un footballeur professionnel, puisque les autres le sont tout autant. Le joueur est à jeun depuis la veille donc il faut renouveler ses stocks en énergie, c'est primordial. Si le joueur s'entraîne vers 10 heures, il faudrait idéalement prendre son petit déjeuner au moins deux heures auparavant, le but est d'avoir l'énergie disponible au bon moment et de ne plus être en pleine digestion. Pour ce repas, il faut un apport de sucres complexes, via du pain ou des céréales par exemple, pour l'énergie sur du long terme. Le joueur a également besoin de sucres rapides, en consommant du miel ou de la confiture, de protéines par un laitage ou du jambon blanc, des œufs et de vitamines par l'apport de fruits ou de jus de fruits pressés. En cas de footing très matinal, ce qui arrive régulièrement en période de préparation, il ne faut pas y aller à jeun non plus. Une barre de céréales, une banane, une compote ou une boisson d'efforts peuvent faire l'affaire avant d'aller courir, et le petit déjeuner pourra être pris par la suite, le tout dans un but d'avoir de l'énergie immédiatement disponible puisque ces produits sont composés de sucres qui s'assimilent rapidement. Il ne faut pas oublier que les muscles fonctionnent au glucose... Et la performance n'en s'aura que meilleure.

Le déjeuner :

Ce qui est important, ce sont les féculents et pour une raison toute simple. Le glycogène est stocké dans le foie, mais aussi dans les muscles, d'autant plus chez un sportif de haut niveau. Lorsque l'on s'entraîne, on épuise son stock de glycogène et les féculents permettent de reconstituer ce stock. En parallèle, il faut également prendre une source de protéines, que ce soit de la viande ou du poisson car il y a une dégradation des fibres musculaires, ce qui peut entraîner une blessure ou une mauvaise récupération par manque d'apport.

On n'oublie pas non plus les légumes en accompagnement, soit 1/3 de l'assiette et 2/3 de féculents. Pour le dessert, un laitage, un fruit ou une compote seront les bienvenus. Il faut éviter de se gaver de tartes ou de crèmes dessert.

La collation :

Il est important de toujours prévoir une collation *post-training* ou un "goûter" afin de favoriser sa bonne récupération, un laitage, des sucres complexes et un fruit ou fruits secs seront adaptés.

Par exemple: un fromage blanc, des céréales et une banane. Les fruits secs et la banane sont une bonne source de potassium intéressante après l'effort.

Le diner :

Pour le repas du soir, il faut également une source de protéines, comme le midi, mais en revanche, il faut moins de féculents. Là, 2/3 de légumes et 1/3 de féculents seraient plus appropriés car le joueur n'a pas besoin d'énergies supplémentaires avant la nuit.

L'hydratation :

La fin de journée arrivant, il faut être certain d'avoir consommé suffisamment d'eau. En moyenne, le footballeur de haut niveau devrait consommer 4 litres d'eau par jour, mais cela varie aussi en fonction du nombre d'heures passées à l'entraînement et de la chaleur qui règne. En effet, les pertes sudorales seront de 2 à 3 litres par match à rajouter aux besoins basiques d'1,5 litre d'eau par jour. Il est nécessaire de s'hydrater tout au long de la journée, pendant l'entraînement par de petites gorgées et d'assurer une bonne réhydratation après.

1% de perte de poids en eau = baisse de 10% des capacités physiques [111].

b) Menus en compétition :**La veille du match de foot :**

Il faut augmenter le stock de glycogène en mangeant des pâtes, du riz, etc, au repas de la veille au moins (pendant les 3 jours avant est préférable). L'eau étant indispensable pour le stockage du glycogène (le stockage d' 1 g de glycogène nécessite 3 g d'eau), il est indispensable de bien boire. Une légère augmentation du poids du joueur, est donc normale [110].

Avant le match :

Le dernier repas avant match devra être terminé **2 à 3 heures avant le match**, disposition commune à tous les sports de compétition. Ce délai permet de terminer la digestion, et d'éviter d'être gêné par une lourdeur d'estomac, des acidités gastriques ou autres désagréments.

De plus, la digestion représente un effort supplémentaire dont l'organisme se passerait bien en compétition, pour mettre toutes les chances de son côté.

Ce repas devra être léger :

- Il convient d'éviter les aliments difficiles à digérer, principalement les matières grasses, et éventuellement les aliments qui ballonnent (certains légumes riches en fibres, sodas, légumes secs). Un repas trop copieux sera exclu pour les mêmes raisons.
- A l'exception de ces aliments gras, tous les autres sont autorisés lors du repas d'avant match, à condition que l'assiette soit modérée.
- La traditionnelle Pasta Partie n'a ici aucun intérêt et n'influencera pas les performances.
- Lors d'un déplacement à l'extérieur, prévoir la moins mauvaise solution en s'adaptant aux circonstances mais éviter les frites. Il existe toutefois des alternatives dont les glaciers dans le bus ou la voiture avec un repas léger.
- Assurer une bonne hydratation sera une particularité du footballeur, car les règles du jeu ne lui permettent pas de s'hydrater une fois le coup de sifflet donné.

Boisson d'attente avant le match :

Cette boisson d'attente prépare l'organisme à un effort soutenu, en adaptant les apports en eau et en énergie dans les deux heures qui précèdent la compétition. L'objectif est de compenser certaines pertes dues notamment au stress pré compétitif mais également de prévenir les blessures.

En pratique, la boisson d'attente doit être **consommée par petites gorgées successives**, dans l'heure, voire les deux heures qui précèdent l'effort.

Pendant la mi-temps :

Après 45 minutes de jeu, la priorité sera une fois de plus l'hydratation et l'apport énergétique.

- L'apport énergétique par **un glucide rapide** favorisera la récupération de la première mi-temps, et anticipera sur la dépense à venir dans la suite du match. Selon les goûts et habitudes de chacun, il est conseillé soit de prendre une alimentation solide par des barres céréalières, pain d'épice, fruits ou fruits secs, gâteaux secs non gras... , soit liquide, par des boissons énergétiques, jus de fruits dilués...
- Se méfier des boissons énergétiques commercialisées dont la composition en glucide est constamment excédentaire. Leur consommation est souvent non justifiée, même en compétition.

Après le match :

Une collation d'après match est fortement recommandée, composée d'un apport hydrique et sucré.

- La réhydratation devra être de préférence une eau alcaline, riche en bicarbonates et minéraux, de façon à neutraliser certains déchets acides de l'effort, et permettre de compenser les oligoéléments perdus.
- Cette hydratation sera couplée à un apport sucré, tel que des fruits secs, du pain d'épice, des fruits frais, barres céréalières... pour initialiser la restitution des réserves en glycogène.
- Un fruit frais (orange, kiwi) en récupération immédiate apportera de la vitamine C, l'un des anti-oxydants les plus puissants pour favoriser l'élimination des déchets de l'effort.
- Un apport protéiné léger peut se concevoir pour initialiser l'anabolisme musculaire, sous forme d'un yaourt sucré, un verre de lait écrémé sucré. En aucun cas cet apport

protéiné justifie le recours aux compléments alimentaires. Le repas de récupération sera classique, sans particularité par rapport à la discipline.

- Les sucres lents tiennent une part primordiale, pour reconstituer les réserves énergétiques en glycogène (pâtes, riz, pommes de terre...). S'y ajoute une ration protéinée (viande, poisson, œufs, jambon) pour favoriser la régénération et cicatrisation musculaire.
- Les crudités et légumes ne seront pas oubliés, pour leur apport en vitamines et antioxydants, de même pour les laitages [112].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 4 : Besoins en macronutriments chez un footballeur professionnel. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
footballeur Professionnel	55-65%	15-25%	12-15%

Micronutriments

Tableau 2 : Apport journalier en micronutriments chez le footballeur professionnel. [114]

Footballeur professionnel	Apports journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1 (thiamine)	1.4 mg
Vitamine B2 (riboflavine)	1.6 mg
Vitamine B3 (niacine ou PP)	18 mg
Vitamine B5 (acide pantothénique)	6 mg
Vitamine B6 (pyridoxine)	2 mg
Vitamine B8 (biotine)	0.15 mg
Vitamine B 9 (acide folique)	200 µg
Vitamine B12 (cobalamine)	1 µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D3	5 µg
Vitamine E	10 µg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg

2.2. Athlétisme

2.2.1. Présentation :

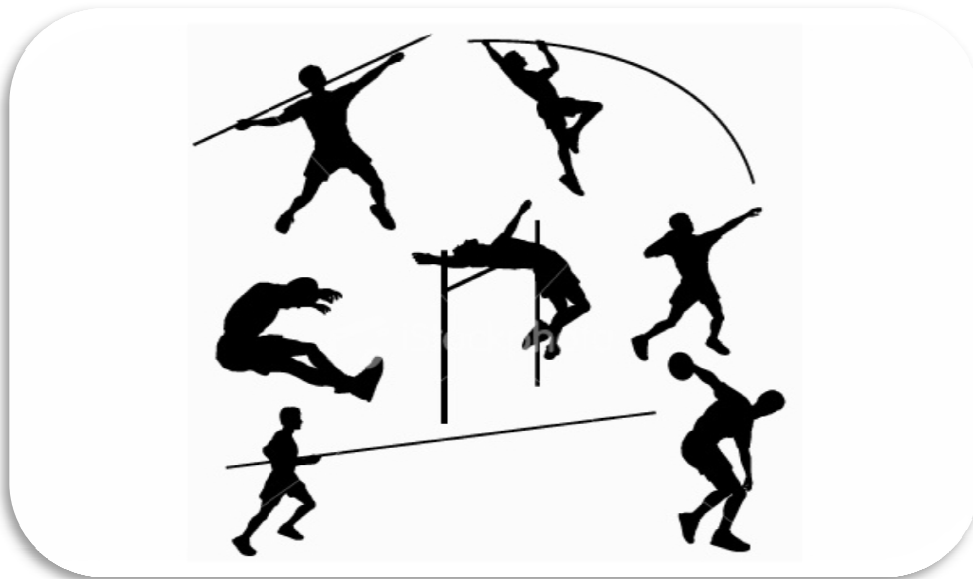


Figure 16 : Athlétisme. [115]

L'athlétisme est un sport individuel qui regroupe plusieurs disciplines à caractère olympique et universel. Courir (ou marcher), sauter ou lancer sont les gestes de bases, de tous les mouvements naturels.

Cette activité sportive se distingue par la simplicité et le peu de moyens nécessaires à sa pratique.

Discipline phare de l'Olympisme depuis 1896, l'athlétisme se pratique en extérieur, en salle ou sur terrain de cross-country. La multitude des différentes disciplines fait de ce sport l'une des activités les plus variées: Courir vite ou longtemps (sprint, demi-fond et fond), sauter loin (longueur et triple saut), sauter haut (hauteur, perche) ou lancer (poids, disque, marteau et javelot).

Dès 7 ans, les enfants peuvent s'initier à l'athlétisme, un athlète professionnel est à partir de 17 ans et qui convient aux personnes de toutes tailles et de tous poids. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants.

C'est un sport qui attire autant d'hommes que de femmes (58% vs 42%) et qui convient aux personnes de toutes morphologies.

L'athlétisme va principalement développer la vitesse et l'endurance et faire travailler abdominaux et dorsaux. Il s'agit d'une bonne façon de se défouler et de perdre du poids.

Les compétitions s'étendent tout au long de l'année et peuvent se pratiquer en équipe ou en individuel et sous différentes formes selon les catégories. Le cross-country et la piste en salle animent la saison hivernale alors que les compétitions en extérieur se déroulent durant la saison estivale et sont composées des compétitions les plus complètes et les plus importantes et de l'année [109].

En athlétisme on rencontre trois types d'efforts :

- Un effort en vitesse : sollicitant prioritairement la filière énergétique **anaérobie alactique** ;
- Un effort en résistance : sollicitant prioritairement la filière énergétique **anaérobie lactique** ;
- Un effort en endurance : sollicitant prioritairement la filière énergétique **aérobie** [116].

Les muscles clés de la performance en athlétisme sont en général :

Les muscles du bassin :

Le psoas iliaque :

C'est un muscle important et particulier par son insertion supérieure au niveau des faces latérales des cinq vertèbres lombaires et son insertion inférieure sur le fémur au niveau de la face postérieure du petit trochanter.

Ses actions principales sont :

- Fléchisseur de la hanche, le plus puissant des muscles,
- Elévateur de la cuisse et participe à sa rotation externe,
- Abduction de la cuisse sur le bassin,
- Il favorise l'aérodynamisme de la foulée lors de la course.

Le quadriceps :

Ce muscle, dit aussi quadriceps crural ou fémoral, est formé de deux muscles latéraux :

- les vastes externes (le plus large, se termine sur le tendon rotulien) et interne (le plus profond, se termine également sur le tendon rotulien),
- un muscle profond, le crural, plaqué contre le fémur et un muscle superficiel et antérieur : le droit antérieur.

Le quadriceps est un puissant extenseur du genou.

Le droit antérieur :

Il est fléchisseur de la hanche et extenseur du genou.

L'action du droit antérieur, qui agit en fin de poussée, tend à faire basculer le bassin vers l'avant. Si le bassin se déplace, les rotations produites au détriment de l'avancée du bassin et les forces ne sont pas transmises au centre de gravité du corps.

Il a un rôle dans la stabilité du bassin, il est indispensable en course grâce aux abdominaux. Il fixe le bassin par une légère rétroversion.

Les extenseurs de la hanche :

Ils sont concentriques car la hanche se tend tout au long de la phase de l'appui pour favoriser l'avancée du bassin.

Les fléchisseurs de la hanche :

Ils sont activés de façon excentrique en fin de poussée et au début de l'envol quand l'ouverture entre les deux cuisses augmentent ; puis ils se raccourcissent afin d'amener le genou libre de l'arrière vers l'avant.

Au cours du cycle arrière de la foulée, l'activité des muscles du genou est faible et l'articulation se fléchit de façon passive. Une légère activité excentrique des extenseurs du genou se produit et permet de contrôler l'élévation arrière du pied quand il se dirige vers la fesse.

La montée du genou libre vers l'avant se fait sans activation majeure des fléchisseurs de la hanche, la seule activité musculaire est l'étirement des extenseurs de la hanche qui sont mis sous tension par la flexion de la hanche et le début d'extension du genou.

Les adducteurs :

Ils participent aux mouvements qui amènent la cuisse en dedans.

Ils sont élévateurs de la cuisse et favorisent également l'aérodynamisme de la foulée.

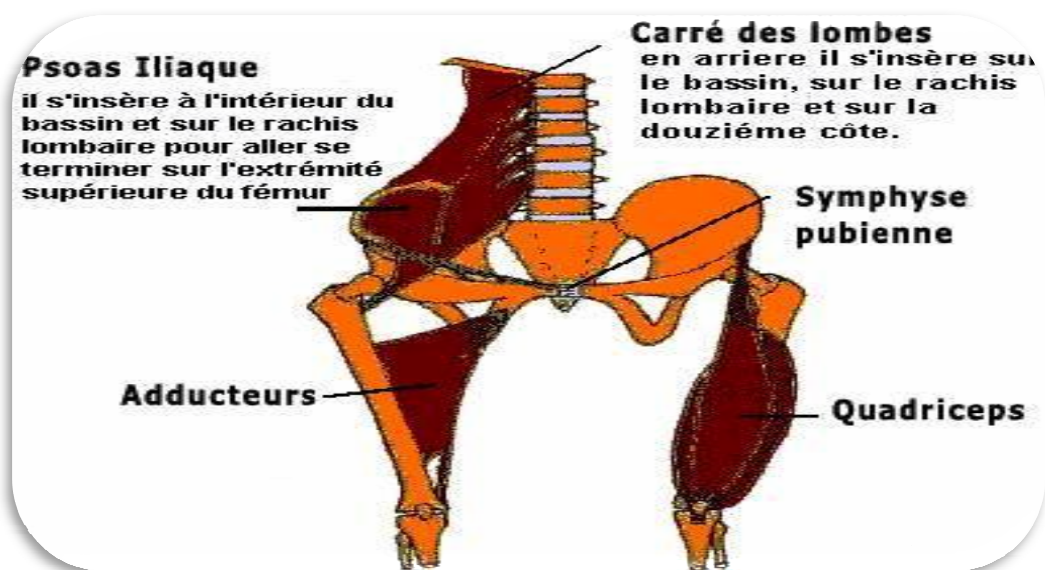


Figure 17 : Muscles du bassin. [117]

Les ischios-jambiers :

Le demi-membraneux :

C'est le troisième muscle du groupe musculaire des ischios jambiers. Il naît sur l'ischion (os du bassin) et se termine sur le plateau tibial (partie supérieure du tibia, os de la jambe).

C'est un muscle fléchisseur de la jambe sur la cuisse. Il permet également la rotation interne de la jambe (mouvement qui amène le pied vers l'intérieur).

Le demi-tendineux :

Il s'attache au niveau de la hanche (sur l'os ischion). Son corps charnu se finit par un tendon qui s'insère sur le tibia (os de la partie interne de la jambe), sur une tubérosité nommée la patte d'oie.

C'est un muscle fléchisseur de la cuisse. Il permet la rotation en dedans de la jambe. Il fait partie du groupe musculaire des ischios jambiers.

Le biceps crural :

Il se trouve sur la partie arrière de la cuisse. C'est un muscle épais qui est composé de deux parties : une partie longue et une partie courte. Le biceps crural fait partie du groupe musculaire des ischios jambiers.

Il prend son origine à l'ischion (os du bassin) et se termine par un tendon commun sur la tête du péroné (os de la partie externe de la jambe). L'action principale du biceps crural est la flexion de la jambe sur la cuisse (mouvement qui consiste à ramener le talon aux fesses). Il permet également la rotation externe de la jambe.

La sangle abdominale :

Est le moyen de contention naturel des viscères de l'abdomen. Ceux-ci sont contenus dans un caisson caractérisé à la fois par son contenant et son contenu.

La paroi antéro-latérale de l'abdomen est constituée de cinq muscles :

- *Les grands droits de l'abdomen* (en avant) sont des muscles fléchisseurs du tronc en avant (mouvement qui permet de plier le buste en direction des genoux),
- *Le pyramidal* qui se trouve en avant,
- *Le petit oblique et le grand oblique* (sur les côtés et de la profondeur à la surface) se contractent ensemble et ont la même fonction que les muscles grands droits de l'abdomen. En se contractant séparément, ils assurent la rotation et l'inclinaison du buste sur le bassin,
- *Le transverse* a une double fonction : rentrer le ventre (il constitue de ce fait la ceinture physiologique de l'abdomen) et expirer (il permet de vider les poumons).

Les muscles abdominaux ont un rôle important dans l'équilibration du bassin et de la colonne vertébrale. De nombreuses mauvaises attitudes peuvent être corrigées par une bonne tonicité de la sangle abdominale **[118]**.

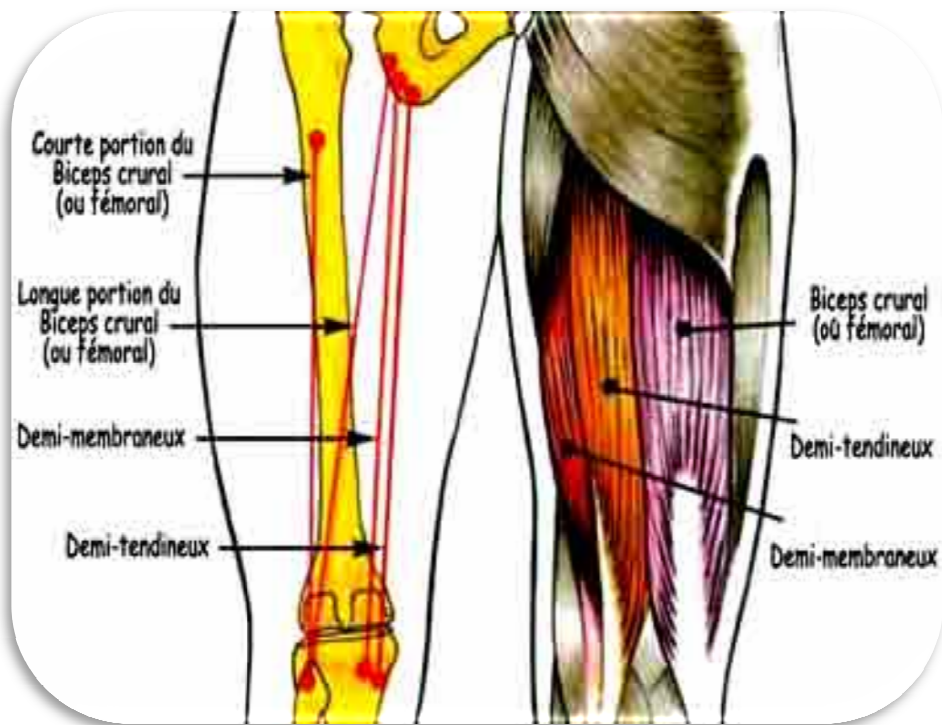


Figure 18 : Ischios jambie. [119]

2.2.2. Nutrition :

a) Principe générale :

L'alimentation de l'athlète ne diffère guère de celle de tous les sports. Elle doit être surtout mieux composée, ingérée au moment adéquat et en plus grande quantité, en veillant à recomposer les pertes en eau et en sels minéraux par la transpiration.

Les glucides sont le carburant de base des muscles et doivent être absorbés en quantité importante (pâtes, pommes de terre), de façon régulière pendant l'entraînement et quelques heures avant les compétitions (trois ou quatre heures avant). Il faut toujours préférer les sucres lents contenus dans les pâtes et féculents aux sucres rapides des pâtisseries et boissons sucrées.

Les protéines sont importantes pour le renouvellement de la croissance musculaire et l'apport de fer, de même que les lipides, qui apportent vitamines et corps gras nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme.

Enfin les fruits et les légumes apportent vitamines et minéraux et par leur apport en eau et favorisent la réhydratation.

Les yaourts et autres produits laitiers, absorbés quotidiennement participent également de l'apport en protéines et en calcium, nécessaire à l'os et à la contraction musculaire [120].

Tableau 6 : Menu type de la journée chez un athlète professionnel. [120]

Petit déjeuner	
Jus d'orange	Légumes et fruits
Crêpes de blé entier	Produits céréaliers
Œufs brouillés	Viandes et substituts
Lait	Lait et substituts
Margarine	Huiles et autres matières grasses
Collation	
Muffin faible en gras	Produits céréaliers
Pomme ou banane	Légumes et fruits
Repas de midi	
Pain pita	Produits céréales
Mayonnaise	Huiles et autres matières grasses
Thon	Viandes et substituts
Légumes crus : carottes, chou-fleur, courgettes...	Légumes et fruits
Lait ou yogourt fouetté aux fruits	Lait substituts, légumes et fruits
Collation	
Pain multigrain aux dattes	Produits céréales
Lait	Lait et substituts
Souper	
Sauté au bœuf et au brocoli	Viande et substituts, légumes et fruits
Riz brun avec champignons et céleri	Produits céréaliers, légumes et fruits
Huiles	Huiles et autres matières grasses
Pêches	Légumes et fruits
Garniture de yogourt	Lait et substituts
Collation	
Biscuits à la farine d'avoine	Produits céréaliers
Chocolat chaude préparé avec du lait	Lait et substituts

b) Menus en compétition :

Avant la compétition :

Il est préférable de manger de trois à quatre heures avant la compétition.

Les matières grasses (lipides) mettant de six à neuf heures à être digérées. Il faut les consommer encore plus longtemps d'avance.

Le fait de consommer des liquides aussi avant l'exercice contribue à prévenir la déshydratation.

Les muscles à l'effort ont principalement besoin de glucides. Pour faire le plein de ces nutriments, on choisira des aliments céréaliers qui en contiennent en grand nombre et qui sont plus facilement absorbés par l'organisme : pâtes, riz, semoule, pain, barres de céréales, etc.

Les protéines mettent plus ou moins quatre heures à être digérés, leur rôle consiste surtout à couper la faim pendant l'effort.

Si on dispose de moins de deux heures, on optera pour des fruits, un mélange de noix et fruits séchés ainsi que les jus de fruits ou de légumes, qui contiennent des glucides plus rapidement assimilables par l'organisme.

Préférer l'eau et limiter la consommation de café, thé et sodas contenant de la caféine. Celle-ci peut avoir un effet déshydratant si on en boit plus de 550 mg par jour, ce qui équivaut à environ 4 tasses de café par jour.

Les besoins individuels diffèrent d'une personne à l'autre et il appartient au sportif de trouver ce qui lui convient le mieux pour optimiser sa performance.

Pendant la compétition :

La consommation de nutriments pendant l'exercice vise à remplacer les pertes de liquides et à fournir suffisamment de glucides pour maintenir le taux de glucose dans le sang. Pendant l'effort, il faut donc préserver l'énergie stockée à l'aide de produit tel que les boissons ou barres de l'effort et adapter sa consommation à la durée de l'effort :

- Activité de moins de 30 min : Il n'est pas nécessaire de boire pendant l'effort
- Activité de 30 à 60 min : il faut boire de 125 à 250 ml de liquide à toutes les 15 à 20 minutes.
- Activité de 60 min, il ne faut pas attendre d'avoir soif pour boire de l'eau
- Activité durant 1h à 3h : il est préférable de choisir une boisson contenant du sucre
- Activité de plus de 3 h : préférez une boisson contenant du sucre et un peu de sel (pour le sodium). À noter que le sodium et le potassium dans la boisson de réhydratation ne sont pas indispensables si l'activité physique dure moins de 3 h à 4 h, à moins que la sudation engendrée par l'activité physique ne soit excessive.

Par temps chaud et humide, il est préférable de commencer à boire dès le début de l'activité, puis de boire ensuite à une fréquence plus élevée, selon les besoins.

L'absorption de liquide permettra à la fois de s'hydrater, de s'approvisionner en sucre et de compenser les pertes en sels minéraux évacués par la sueur. Pour ce faire, on peut faire appel à une eau légèrement sucrée contenant une certaine quantité de sel ou à une boisson sucrée.

Après la compétition :

Après l'exercice, il faut procurer suffisamment d'énergie et de glucides pour restaurer le glycogène musculaire et assurer une récupération rapide des muscles. Si l'exercice a épuisé les réserves de glycogène, un apport en glucides est nécessaire.

En effet, pendant les 30 premières minutes suivant un exercice prolongé, l'organisme cherche à refaire ses réserves le plus vite possible et à se régénérer. L'insuline – une hormone anabolisante faisant entrer le glucose du sang dans les cellules – est alors en « rupture de stock » et ne demande qu'à engranger rapidement glucides et protéines.

Les boissons de récupération sont utiles aux grands sportifs pour refaire les réserves musculaires de glycogène et réparer les tissus.

Un entraînement de longue durée et de haute intensité épuise les réserves de glycogènes. Il importe de les refaire rapidement, dans les 30 minutes après l'arrêt de l'activité. Les muscles auront alors ce qu'il leur faut pour refaire leurs réserves énergétiques. Pour les

gens dont l'exercice physique est modéré, une boisson de récupération n'est pas nécessaire. Elle annulerait la perte de calories occasionnée par l'exercice. Un bon repas complet en temps opportun est mieux indiqué.

Parmi les produits susceptibles de combler les déficits nutritionnels et énergétiques, mentionnons les yaourts aux fruits, les céréales, les bananes, les jus de légumes, les fromages, les barres de céréales et boissons énergétiques.

Pour pallier le déficit en eau et en sels que provoque une activité prolongée, il peut être nécessaire de boire jusqu'à 1,5 litre de liquide pour chaque kilo de poids corporel perdu après l'activité physique.

Une boisson sucrée permettra de combler ces besoins et permettra à l'athlète de refaire ses réserves de glycogène. Les boissons renfermant de la caféine ainsi que les boissons alcoolisées ou gazéifiées sont à éviter. Pour savoir si on a suffisamment bu, on peut se fier à la couleur de son urine : si elle est redevenue claire, l'hydratation est terminée [108].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 7 : Besoin en macronutriments chez l'athlète professionnel. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protéines
Athlète professionnel	-jusqu'à 75% en compétition - 65% post compétition	26 – 36%	14 – 16%

Micronutriments :**Tableau 8 :** Apport journalier recommandé en micronutriments. [114]

Athlète professionnel	Apport journalière recommandé
Vitamine A	2mg
Vitamine B1	2.4 mg
Vitamine B2	2.6 mg
Vitamine B3	16 mg
Vitamine B5	15 mg
Vitamine B6	3 mg
Vitamine B8	150 µg
Vitamine B9	300 µg
Vitamine B12	2.6 mg
Vitamine C	180 mg
Vitamine D3	7.5 µg
Vitamine E	30 mg
Vitamine K1	100 µg
Calcium	200 mg
Magnésium	100 mg
Zinc	8 mg
Fer	12 mg
Cuivre	0.8 mg
Chrome	40 µg
Iode	50 µg
Sélénium	55 µg
Molybdène	50 µg

2.3. Course à pied longue durée :

2.3.1. Présentation :



Figure 19 : course à pied. [121]

Course à pied est un sport qui consiste à courir sur des distances plus ou moins longues. Les compétitions peuvent se pratiquer sur une piste d'athlétisme, sur route ou sur divers terrains naturels.

Son principe est le suivant : Courir sur de longues distances en un minimum de temps.

Dès le plus jeune âge, les enfants peuvent s'initier à la course à pieds. C'est un sport qui attire autant les hommes que les femmes (63% vs. 37%) et qui convient aux personnes de toutes tailles ayant une silhouette fine ou moyenne. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants.

La course à pieds va principalement développer l'endurance et la coordination et faire travailler les épaules et pectoraux [109].

Selon les distances parcourues et la vitesse, le type d'effort fourni est différent, il y a :

- Les courses en aérobie, l'oxygène (par l'ATP) nécessaire aux muscles est fourni majoritairement par la respiration cellulaire (par exemple une course lente sur 10 km).

- Les courses en anaérobie, l'oxygène (par l'ATP) nécessaire aux muscles n'arrive pas en quantité suffisante, la $VO_2\text{max}$ (débit maximum d'oxygène qu'un individu peut inspirer) est donc atteinte. Pour alimenter suffisamment le muscle en énergie, du glycogène (du glucose transformé, stocké dans le foie et les muscles) intervient en plus. Après son utilisation il s'oxyde via de l'acide pyruvique et se transforme en acide lactique, qui produit aussi de l'énergie (partielle) par sa fermentation, mais qui empêche à un moment donné de continuer l'activité anaérobie, le taux de calcium dans les muscles devenant trop élevé. (par exemple une course rapide sur 200 m).

Les athlètes en course à pied évaluent régulièrement leur consommation maximale d'oxygène et leur vitesse maximale aérobie. Il s'agit de l'habileté à transporter l'oxygène des poumons vers les muscles.

On dit souvent que **la course à pied est un sport complet**, mais ce n'est pas tout à fait vrai. En effet, cette discipline sportive ne sollicite quasiment pas le haut du corps. Voyons en détail les muscles qui sont travaillés par le footing, que ce soit en plein air, ou sur un tapis de course :

Les cuisses :

La course va les solliciter dans leur ensemble, c'est-à-dire en travaillant les quadriceps et les ischio-jambiers :

- Les quadriceps sont les muscles situés sur l'avant de la cuisse, ce sont des muscles très massifs. Ce sont eux qui dessinent « le fuselage » des cuisses. Ces muscles permettent de faire une extension de jambes.

- Les ischio-jambiers sont les muscles situés à l'arrière, ce sont les antagonistes des quadriceps, c'est-à-dire qu'ils ont une action opposée à ces derniers. Ils permettent donc de fléchir la jambe.

Lors de la course à pied, ces deux muscles vont être sollicités en alternance.

Les fessiers :

Les fessiers eux aussi vont travailler lorsqu'on veut courir, surtout sur un tapis inclinable. En effet, plus on accentue l'inclinaison du tapis, plus le travail musculaire va se reporter sur les **muscles fessiers**.

Les mollets :

Quant à eux, vont permettre l'extension de la cheville. Ils participent donc à l'impulsion au même titre que les quadriceps. À noter que comme pour les muscles fessiers, si on augmente l'inclinaison du tapis de course, on va augmenter en même temps le travail des mollets. Cela s'explique tout simplement par le fait que si notre banc est incliné, nos mollets seront davantage étirés. Et on sait qu'un muscle travaille d'autant plus qu'il est étiré lors de l'effort.

La ceinture abdominale :

Enfin, la **ceinture abdominale** va elle aussi être sollicitée de manière importante. Quand on parle de ceinture abdominale, on parle des muscles abdominaux (les grands droits et les obliques) et l'ensemble des muscles lombaires.

Cette zone musculaire va être sollicitée pour stabiliser le corps lors de la course car il ne faut pas oublier que la course se fait de manière asymétrique. Il y a donc un important travail de stabilisation dans cette zone, mais aussi de transfert de force entre le haut et le bas du corps [108].

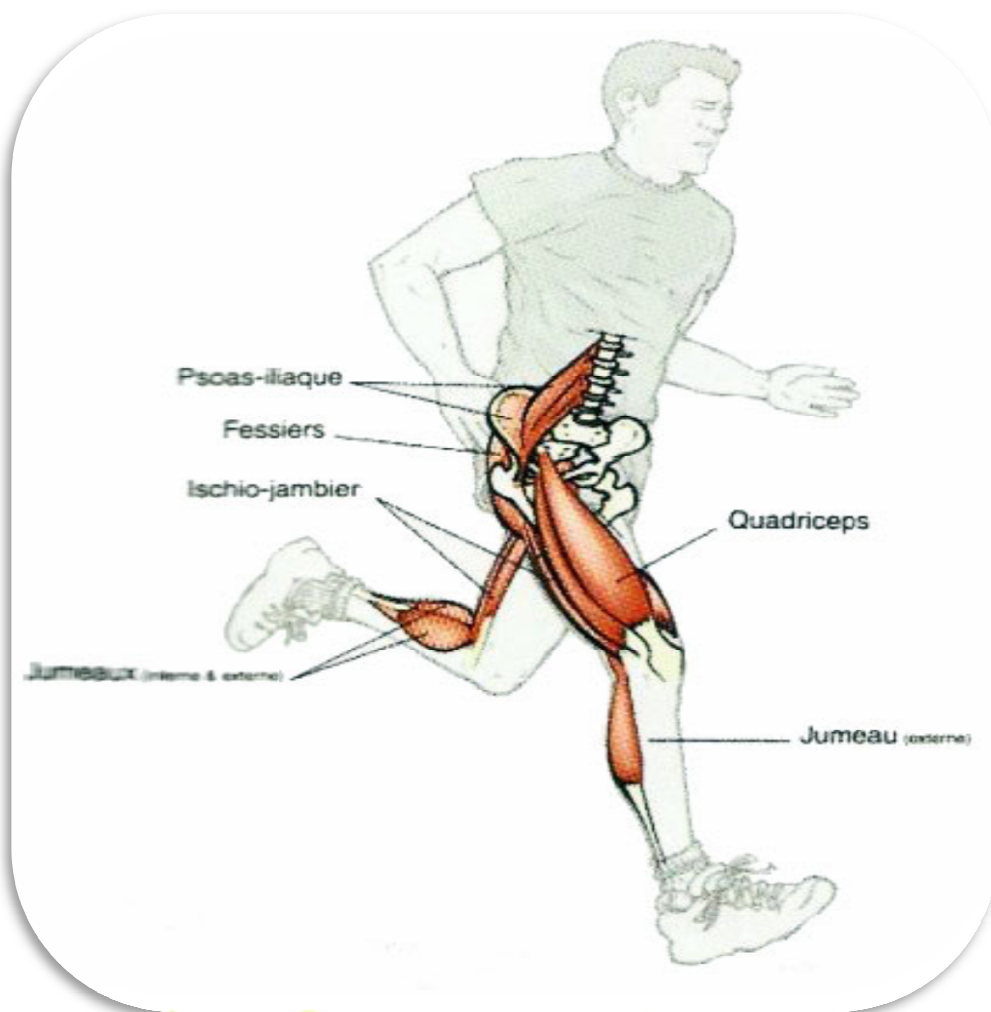


Figure 20 : Les muscles inférieurs. [122]

2.3.2. Nutrition :

a) Principe générale :

Une alimentation équilibrée au quotidien est un plus incontestable pour le coureur à pied.

L'alimentation du coureur à pied diffère peu de celle recommandée pour l'ensemble de la population. Il doit tout simplement manger à sa faim, en variant son alimentation, en se gardant de tout excès et en ignorant les modes alimentaires. Les aliments miracles n'existent pas. L'alimentation du coureur à pied doit répondre avant tout à deux exigences:

- Apporter le carburant nécessaire à l'effort.
- Assurer l'apport des différents nutriments nécessaires à un fonctionnement harmonieux et efficace de l'organisme. (Protéines, lipides, glucides, vitamines, minéraux et oligo-éléments).

L'alimentation doit rester un plaisir. Il faut manger de tout, pourvu que ce soit varié et en quantité raisonnable. En variant les apports alimentaires, l'organisme dispose ainsi de nutriments dans lesquels il peut aller se "servir" selon ses besoins. Cependant la consommation régulière de certains aliments doit être limitée. Pour ce faire les aliments peuvent être classés en différents groupes afin de donner des repères sur leur consommation [123].

Tableau 6 : Menu type de la journée d'un coureur à pied. [123]

Groupes alimentaires	Apports	Fréquences	Commentaires
Fruits et légumes	Fibres vitamines minéraux	Au moins 5 fois par jour	- à chaque repas et en cas de petits creux - cuits ; crus ; naturelles ou préparés - frais, ou en conserve
Pain, céréale, pomme de terre et légume sec	Sucres lents	A chaque repas et selon son appétit	- favoriser les aliments céréaliers et le pain - privilégier la variété (pates, riz,légumes)
Laits et produits laitiers	Calcium et protéines	3 fois par jour	-Privilégier la variété -Privilégier les fromages les plus riches en calcium, les moins gras et les moins salés
Viandes, volailles, produits de la pêche et œufs	Protéines	1 à 2 fois par jour	- En quantité inférieure à celle de l'accompagnement - Viandes; privilégier les espèces et les morceaux les moins gras - Poissons : au moins deux fois par semaine
Boissons	Eau	Eau à volonté	- Au cours et en dehors du repas - Limiter les boissons sucrées (soda, jus de fruits...)

			- Limiter les boissons alcoolisées.
Matières grasses ajoutés	Acides gras et vitamines	Limiter la consommation	- Privilégier les matières grasses végétales (huile d'olive, de colza) - Favoriser la variété - Limiter les graisses d'origine animale (beurre, crème...)
Produits sucrés	Sucres simples	Limiter la consommation	- Attention aux boissons sucrées - Limiter les aliments gras et sucrés à la fois (pâtisseries industrielles, crèmes dessert, chocolat...)
Sel	Sodium	Limiter la consommation	- Préférer le sel iodé - Ne pas resaler avant de goûter - Réduire l'ajout de sel dans les eaux de cuisson - Limiter les aliments salés (certains fromages, produits apéritifs...)

b) Menus en compétition :

Phase 1 : de J-7 à J-5

Cette première phase permet d'épuiser progressivement les réserves en glycogène, tout en maintenant des apports alimentaires suffisants pour conserver un état de santé optimal.

Diminuer votre consommation de glucides d'un tiers par rapport à votre alimentation habituelle. Deux possibilités :

- Réduire la taille de vos portions de féculents (pain, pomme de terre, pâtes, riz, légumineuses, semoule, quinoa, produits sucrés...) d'un tiers à chaque repas et augmenter d'autant votre consommation de légumes et de protéines.
- Ou supprimer totalement les féculents à l'un des repas (déjeuner ou dîner), de préférence le midi. Par exemple :
 - Entrée à base de protéines ou de légumes : crudités, sardines ou maquereaux en boîte, jambon cru, terrine de poisson...
 - Plat associant minimum 150 à 180 g de protéines (poisson, volaille, viande maigre) + légumes à volonté, assaisonnés d'huile « Santé ». L'apport de protéines peut alors être réduit à 100/120 g le soir.
 - Yaourt, fromage frais ou sec, de préférence à base de lait de chèvre ou de brebis.
 - Pas de pain, ni de féculents (pâtes, riz, pomme de terre, légumes secs...) ni de dessert glucidique (pâtisserie, entremets, fruit, compote...).

La collation peut être maintenue, mais limitée à des aliments peu glucidiques : quelques noix, noisettes ou amandes, 1 à 2 biscuits diététiques.

Maintien de la consommation de boisson diététique de l'effort pendant l'entraînement et de la boisson de récupération.

Phase 2 : J-5 à J-4

Cette journée de transition est particulièrement importante. En effet, après une première phase d'épuisement des stocks de glycogène (se terminant idéalement par un entraînement dédié à la VMA et n'excédant pas 60 min) l'organisme est particulièrement enclin à reconstituer ses réserves. Par ailleurs, le respect d'un certain timing vous permet de « surcompenser » votre stock de glycogène, sans pour autant avoir besoin d'augmenter de façon importante vos apports alimentaires en glucides au cours des jours suivants, ce qui risquerait d'accroître vos troubles digestifs et de vous éloigner d'un modèle d'alimentation Santé.

En pratique, consommez régulièrement des glucides de qualité pendant les 4 à 6 h suivant votre dernier entraînement de J-5 :

- 250 ml de boisson de récupération de qualité le plus tôt possible après l'effort et à nouveau avant le coucher. La consommation d'une boisson de récupération de qualité permet d'optimiser la période de la fenêtre métabolique tout en apportant des sels désacidifiant (citrate notamment) afin de tamponner l'excès d'acidité tissulaire produite au cours de la première période.
- « Grignoter » dès la fin de l'effort et jusqu'au coucher 1 à 2 fruits, des fruits secs, oléagineux, un smoothie, des biscuits diététiques... Il ne s'agit bien évidemment pas de se « gaver » de glucides, mais de privilégier un apport régulier d'aliments également riches en micronutriments.

Repas de récupération : la qualité de celui-ci est en effet essentielle. Limiter les apports en protéines animales et privilégier les produits végétaux. Cette proposition de repas de récupération ne tient toutefois pas compte d'une éventuelle sensibilité digestive. En pratique :

- Entrée à base de légumes et/ou de produits céréaliers : crudités, salade composée, potage.
- Assiette associant des légumes, des produits céréaliers (riz, quinoa, millet, pomme de terre, pâtes ou boulgour à base d'épeautre...) et/ou des légumineuses. Pensez également aux préparations à base de soja (steak, tofu, saucisse...) qui représentent une excellente source de protéines végétales pour le dîner ;selon

vosre envie, une source de protéines animales en faible quantité : 1 à 2 œufs (coque, mollet) ou 50 à 80 g de volaille ou poisson maigre.

- Selon votre appétit : 1 à 2 tranches de pain Santé.
- 1 fruit ou 1 compote sans sucre ajouté et/ou 1 produit laitier fermenté (yaourt, fromage blanc, fromage frais), de préférence à base de lait de chèvre ou de brebis ou de soja.
- À partir de cette période et jusqu'au jour J, penser à boire suffisamment et régulièrement au cours de la journée (minimum 2 litres/jour).

Phase 3 : J-4 à J-2

L'objectif est de terminer la mise en réserve d'énergie sous forme de glycogène et d'optimiser le confort digestif en vue de l'épreuve :

À partir de J-2 et jusqu'au jour J, éviter les aliments pouvant être impliqués dans la survenue de vos troubles digestifs, bien que conseillés au quotidien pour leur qualité nutritionnelle. Pour rappel, ce sont les produits céréaliers complets et/ou à base de gluten, graisses cuites, lait animal, légumineuses, épices, légumes à fibres dures ou peu digestes. Pour les plus sensibles, peler et épépiner les fruits et légumes, voire les consommer uniquement cuits : préférer par exemple une compote à une pomme,

Augmenter les apports en féculents d'un tiers à chaque repas, sans excès, tout en maintenant un apport optimal en huile de qualité, protéines, végétaux et micronutriments.

Phase 4 : J-1

Privilégier une alimentation traditionnelle, en veillant simplement à optimiser votre confort digestif et à maintenir une consommation habituelle de glucides : toute portion « pantagruélique » n'est donc pas conseillée.

Exemple de dîner la veille de la compétition :

- Produits céréaliers sans gluten, en quantité habituelle : riz, pomme de terre, quinoa, millet...,
- Légumes conseillés, cuits, en entrée ou en accompagnement du plat principal,
- 80 à 100 g de volaille, viande maigre, poisson, jambon ou 2 œufs coque ou mollet,
- 1 à 2 tranches de pain, de préférence sans gluten pour les plus sensibles au niveau digestif ou 1 à 2 galettes de riz ou crackers de sarrasin,
- Dessert glucidique : gâteau de riz au lait végétal et/ou compote ou fruit cuit ou yaourt (soja, chèvre, brebis).

Le jour de la course :

Le petit déjeuner :

Afin d'optimiser vos performances le jour de l'épreuve, il est important de porter une attention particulière à la qualité de votre alimentation au cours du repas précédant le départ : en effet une nutrition adaptée vous apporte l'énergie nécessaire pour votre effort, optimise votre vigilance et votre confort digestif. Conserver les quantités habituelles : inutile de surcharger le travail digestif et jamais d'innovation le jour J. Il est toutefois important de respecter un délai minimal de 3h entre la fin du dernier repas et le départ, afin de terminer la digestion et ainsi de rendre le volume sanguin disponible pour les muscles. Il existe par ailleurs des aliments diététiques complets prêts à consommer et permettant de réduire le délai séparant le dernier repas du début de l'épreuve à 2h : privilégiez toutefois les aliments sans gluten et sans lait afin d'optimiser le confort digestif.

En pratique :

- aliment diététique complet sans gluten. Pour les personnes préférant consommer un petit déjeuner classique, préférer du pain digeste (pain au levain de campagne par exemple. Eviter les pains complets ou riches en fibres) avec de la confiture, du miel ou un peu de beurre. De même, attention aux fruits secs pour les personnes les plus sensibles au niveau intestinal).

- Une boisson chaude, de préférence du thé ou un café léger et éventuellement un jus de pomme ou de raisin,
- Selon les habitudes alimentaires : un œuf coque ou mollet et/ou une à deux tranches de jambon. Dans ce cas, bien veiller à respecter un délai de 3h minimum avant le départ.

Veiller à bien mâcher les aliments afin de faciliter votre digestion et déclencher la sensation de satiété. Éviter le lait animal : en effet la présence de lactose peut accélérer le transit chez les coureurs les plus sensibles au niveau intestinal.

Entre la fin du dernier repas et le départ (ration d'attente) : boire régulièrement et sans excès environ 500 ml d'eau en prise fractionnée par petites quantités et, 15 min avant le début de l'épreuve, 25 à 30 cl de boisson. Il n'est pas indispensable de manger au cours de cette période, les réserves énergétiques sont en effet déjà réalisées et on risquera d'augmenter l'inconfort digestif.

Pendant la course

L'apport liquide est à privilégier, le confort digestif et l'hydratation représentant des priorités à considérer pour optimiser la qualité de la course. En effet, nombreux sont les coureurs souffrant de troubles digestifs pouvant être à l'origine d'un abandon après des mois de préparation. Toutefois, l'envie de mâcher, notamment des aliments salés, survient très souvent après plusieurs heures de course : il ne s'agit donc pas d'occulter ce besoin, mais davantage de considérer que la majorité de vos apports nutritionnels se réalisera sous forme liquide et que les aliments solides vous permettront de rompre l'écœurement pour le sucré, de vous faire plaisir « psychologiquement » tout en complétant les apports, à la condition que ces aliments soient digestes.

La qualité de la boisson que vous allez consommer est donc essentielle. Voici quelques éléments destinés pour choix de la bonne boisson énergétique :

- Apport en sels minéraux : ils doivent être suffisants pour compenser les pertes minérales à l'origine d'un déséquilibre ionique, lui-même responsable de perturbation des échanges cellulaires. La priorité sera donc le maintien de cet équilibre grâce à une

boisson énergétique apportant du sodium en quantité suffisante (minimum 1 g par litre), du Potassium, du Magnésium, du Zinc, du Cuivre et du Chrome.

- Choix de sels minéraux sous une forme désacidifiant pour lutter contre l'acidité produite au cours de l'effort et pouvant être à l'origine de crampes : citrates, bicarbonates. Éviter les formes « chlorure » en grande quantité.
- Apport de glucides à l'action complémentaire : saccharose, dextrose, fructose (en quantité modérée pour éviter les troubles digestifs, maxi 30g/litre), maltodextrines .
- Apport d'acides aminés branchés, notamment de Leucine, pour protéger les tissus musculaires de la protéolyse et limiter la fatigue centrale (fatigue psychologique indépendante de la fatigue physique survenant au cours des efforts de longue durée et liée à une perturbation des neuromédiateurs, notamment de la Sérotonine), de Glutamine pour contribuer à la protection des systèmes intestinaux et immunitaires perturbés au cours de l'effort.
- Présence de vitamines participant au métabolisme glucidique, notamment de Vitamine B1.

En pratique :

- Boire au minimum 500 ml / heure de boisson de l'effort de qualité, en fractionnant au maximum les prises. Le célèbre cola américain est en théorie déconseillé (acidité, nature des glucides et osmolarité inadaptées), mais force est de constater qu'elle fait partie des habitudes d'un grand nombre de coureurs : à consommer ou non en fonction de votre sensibilité intestinale et dans tous les cas avec parcimonie, avant tout pour le « plaisir ».
- Pour les coureurs réalisant la course en plus de 3h : si besoin, consommer un aliment solide au maximum toutes les 1h30, en veillant à privilégier des aliments digestes et en prenant le temps de bien mastiquer : ½ banane bien mûre, 1 barre énergétique ou 1 biscuit sans gluten, éventuellement quelques biscuits salés pauvres en graisses. Attention toutefois à limiter les quantités et à adapter ces conseils en fonction de votre sensibilité intestinale. La fréquence de consommation d'aliments solides peut en effet varier de façon importante d'un coureur à l'autre : nous le rappelons, la qualité

de la boisson est essentielle dans la mesure où elle constitue la majeure partie de vos apports. Elle détermine en grande partie la réussite de votre gestion alimentaire en permettant de limiter la fréquence de consommation de solides, toutes les 4 à 6h, voire davantage.

- Beaucoup de coureurs rechignent à emporter leur propre boisson avec une ceinture porte-bidon, préférant les gels énergétiques plus pratiques et/ou la consommation de la boisson présente aux ravitaillements : la consommation de gels énergétiques classiques est déconseillée, dont la composition est bien souvent insuffisante pour constituer la majeure partie des apports alimentaires au cours d'une épreuve d'endurance, mais surtout car ils favorisent les risques de troubles gastro- intestinaux, au même titre que les pastilles de sel à base de chlorure de sodium.

La récupération

La course est terminée, la nutrition ne représente alors bien souvent qu'une priorité bien relative. Toutefois, une nutrition adaptée facilite le retour à l'équilibre cellulaire, fortement perturbé par une telle course. La problématique nutritionnelle de la récupération peut se résumer en 3 questions : « quoi apporter ? », « à quelle fréquence ? » et « en quelle quantité ? ». L'objectif est en effet de profiter de la fenêtre métabolique, période de 4 à 6h propice à la restauration des paramètres ponctuellement altérés par l'effort : épuisement des réserves de glycogène, inflammation, altération de l'intégrité du tissu musculaire, acidification tissulaire, production accrue de radicaux libres, intestin fragilisé, déshydratation, pertes minérales...

En pratique :

- En priorité, boire une boisson de récupération de qualité par petites gorgées le plus tôt possible après l'arrivée. Cette boisson de récupération doit vous apporter des minéraux en grande quantité et sous une forme désacidifiant pour faciliter votre réhydratation, lutter contre les crampes, la fatigue musculaire et drainer les acides produits pendant votre effort. Votre boisson de récupération doit également contenir de fortes quantités d'acides aminés fonctionnels (Leucine notamment) : la Leucine en quantité suffisante possède un effet spécifique sur le tissu musculaire permettant

d'améliorer la récupération ou la prise de masse musculaire en cas d'exercice musculaire spécifique.

- Régulièrement, en petites quantités dans l'attente du repas : associer quelques fruits secs (selon tolérance digestive) et oléagineux (noix, noisettes, amandes), 1 banane bien mûre, 1 à 2 biscuits diététiques. L'apport de solides est à adapter en fonction de votre sensibilité digestive après l'effort : si besoin, privilégier uniquement l'apport liquide, mais la consommation régulière de glucides est importante pour favoriser la reconstitution des stocks de glycogène et la pénétration des acides aminés dans les tissus musculaires au cours de cette période « clé ».
- Repas de récupération : privilégier les aliments glucidiques et alcalinisant comme les pommes de terre, les légumes et fruits bien murs, voire pelés et cuits en cas de sensibilité intestinale importante. A l'inverse, éviter la consommation excessive de viande animale à l'origine d'une production accrue de déchets acidifiants. Préférer plutôt les préparations à base d'œufs ou les protéines végétales comme le soja.

Une attention particulière mérite également d'être portée sur la satisfaction des besoins en acides gras essentiels grâce à des huiles de colza ou de noix première pression à froid et des fruits oléagineux (noix, noisettes, amandes) [123].

Tableau 10 : Aliments conseillés et déconseillés 48h avant l'épreuve. [123]

Groupe	Aliments conseillés	Aliments déconseillés
Produits laitiers	Laitages à base de lait végétal (riz, amande, soja, avoine) : lait, yaourt, entremets, gâteau de riz... Yaourts et produits laitiers fermentés à base de lait de chèvre ou de brebis : à éviter le jour de l'épreuve.	Produits laitiers à base de lait de vache : lait, yaourts, entremets, glaces...
Viandes, œuf et poissons	Viandes maigres : veau, morceaux maigres de bœuf (rôti,	Charcuterie, peau des volailles, viandes grasses, dures, fibreuses, en sauce,

	filet mignon, jambon...), poulet, lapin, dinde. Poissons maigres : frais, surgelés, nature, en conserve au naturel. Poissons gras (saumon, maquereau, sardine, hareng, anchois, flétan, thon frais) et fruits de mer : à éviter à partir du dîner de la veille et le jour J. Œufs : poché, coque, mollet. Éviter l'œuf dur au repas d'avant course.	panées, farcies, en conserve, marinées, fumées, séchées, faisandées. Abats (cervelle, langue, foie). Poissons : frits, séchés, panés, en conserve à l'huile, œufs de poisson.
Produits céréaliers et plats composés	Produits céréaliers sans gluten : riz, pomme de terre, quinoa, millet, soja, maïs, patate douce, tapioca, sarrasin et châtaigne. Ces produits céréaliers peuvent être consommés sous toutes leurs formes (céréales complètes, pâtes, farine, entremets, semoule, galettes...). Galettes de riz, Crackers de sarrasin. Produits dérivés du soja : steak, tofu, saucisses si absence de lait de vache.	Tous les produits céréaliers à base de blé, de seigle, d'orge et d'avoine, sous toutes leurs formes : farine, pâtes, semoule, biscuits, pâtisseries, gâteaux apéritifs ou plats industriels réalisés à partir de ces farines (pizza, quiche, friands, produits à base de pâtes feuilletée, brisée...). Gâteaux énergétiques contenant du lait et/ou du gluten. Produits de panification réalisés à base de blé, seigle, orge ou avoine : pain traditionnel, pain de mie, viennoiserie. Produits céréaliers complets ou semi-complets. Légumineuses (lentilles, fèves, haricots secs, pois...) Pommes de terre sautées, rôties, frites, chips. Plats cuisinés : paëlla, couscous, pizza,

		friand, quiche...
Fruits, légumes et oléagineux	Tous les fruits et légumes cuits non spécifiés dans la liste des aliments déconseillés. Noix, noisettes, amandes (entières ou en purée) : à éviter le jour de l'épreuve.	Légumes verts à goût fort, fibreux : concombre, céleri, salsifis, tous les choux (blanc, rouge, vert, brocoli, chou-fleur, romanesco, de Bruxelles), poivrons, salsifis, radis, céleri, fenouil, oseille, navet, oignon, tomates avec peau, vert de poireaux, fonds d'artichauts, artichauts entiers. Fruits fibreux : ananas, raisin, figue, prune, melon, cerise, rhubarbe, kiwi.
Pâtisseries et produits sucrés	Sucre en quantité modérée, sirop d'agave en quantité modérée, miel, confiture, gelée, chocolat noir en quantité modérée (à éviter le jour de l'épreuve), sorbets	Pâtisseries, beignets, viennoiseries, pâte d'amande, pâtes à tartiner, barres chocolatées, crèmes glacées
Matières grasses	Beurre : en quantité modérée et cru. Huile vierge première pression à froid : colza, olive, noix.	Matières grasses cuites, fritures, sauces du commerce, crème fraîche. Margarines à base de matières grasses hydrogénées.
Condiments	Sel, jus de citron, persil, thym, laurier, cerfeuil et tout aromate ou épice non indiqués dans la liste déconseillée	Ail, échalotes, câpres, paprika, piment, poivre, vinaigre, moutarde, sauce soja
Boissons	Eau, thé léger (idéalement vert), infusions	Café, boissons gazeuses, vin, alcool, jus de fruits

c) Besoins en macronutriment et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 11 : Besoins en macronutriments chez un coureur à pied. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Coureur à pied professionnel	60-65%	20-25%	15-20%

Micronutriment :

Tableau 12 : Apport journalière recommandé pour un coureur à pied. [114]

Coureur à pied professionnel	Apport journalière recommandé
Vitamine A	600-800 µg
Vitamine B1	1.10-1.30 mg
Vitamine B2 (riboflavine)	1.60-1.50 mg
Vitamine B3 (niacine)	11-14 mg
Vitamine B5 (acide pantothénique)	5 mg
Vitamine B6 (pyridoxine)	1.5-1.8 mg
Vitamine B8 (biotine)	50 µg
Vitamine B9 (acide folique)	330-300 µg
Vitamine B12	2.40 mg
Vitamine C	110 mg
Vitamine D3	5 µg
Vitamine E	12 mg
Vitamine K1	45 µg
Calcium	900 mg
Magnésium	100 mg
Zinc	8 mg
Fer	10-23 mg
Cuivre	0.8 mg

Chrome	40 µg
Iode	50 µg
Sélénium	55 µg
Molybdène	50 µg

2.4. Natation :

2.4.1. Présentation :



Figure 21 : Natation. [124]

La natation est un sport individuel qui se pratique plutôt en intérieur (piscine, salle de compétition...).

C'est un sport qui regroupe différentes disciplines : le sprint, l'endurance et la nage en eau vive.

Elle consiste à parcourir dans une piscine, le plus rapidement possible et dans un style codifié par la Fédération internationale de natation, une distance donnée, sans l'aide d'aucun accessoire....

La natation sportive peut être pratiquée à tout âge, mais au-delà de l'âge de 25 ans les compétiteurs ont la possibilité de participer à des compétitions dites de « maîtres », indépendantes de celles de la natation sportive.

Cette activité classe ses pratiquants selon des catégories de deux années d'âge permettant ainsi à tous les compétiteurs de se confronter à des adversaires d'un âge quasi identique tout au long de leur vie.

C'est un sport qui attire autant les hommes que les femmes (58% vs. 42%) et qui convient aux personnes de toutes tailles et de tous poids. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants [109].

Les types de nages

LES NAGES ALTERNÉES

Le crawl



Figure 22 : Crawl. [125]

La plus économique et la plus rapide. Elle implique la rotation du haut du corps et demande une bonne synchronisation des mouvements des bras et de la respiration. Le crawl sollicite l'ensemble des muscles du haut du corps (pectoraux, dorsaux, abdominaux, etc.).

Le dos crawlé



Figure 23 : Dos crawlé. [126]

La plus paisible. La rotation des bras se fait dans le sens inverse du crawl et permet de réduire les déséquilibres musculaires de l'épaule que peuvent induire les autres nages (crawl, papillon).

LES NAGES SIMULTANÉES

La brasse



Figure 24 : La brasse. [127]

La plus intuitive. Comme les autres, elle développe le haut du corps, mais en particulier les adducteurs et les fessiers.

Le papillon



Figure 25 : Le papillon. [128]

La plus technique et la plus physique. Elle muscle particulièrement le dos (qu'on lève pour respirer), les bras (qu'on extrait de l'eau simultanément) et les abdominaux [129].

Les types d'efforts fournis en natation sont :

Efforts explosifs : (anaérobie alactique)

- intensité de l'effort : 95% - 100%
- durée de l'effort : 0 à 20 seconds

Efforts en résistance : (anaérobie lactique)

- intensité de l'effort : 90 - 95%
- durée de l'effort : 20'' à 3 minutes

Efforts en endurance : (aérobie)

- intensité de l'effort : 60 - 85%
- durée de l'effort : 3 minutes à illimité [130].

Les muscles concernés en natation sont :

Les muscles des membres supérieurs et du dos sont les premiers sollicités lors de la pratique de la natation. Viennent ensuite les muscles des membres inférieurs et les muscles respiratoires.

Les muscles des membres supérieurs et inférieurs

- Les triceps sont utilisés lors du crawl, de la nage papillon et du dos crawlé.
- Le muscle deltoïde (situé dans la partie supérieure de l'épaule) participe également à la puissance du mouvement.
- Les muscles grand pectoral, grand dorsal et grand rond permettent la traction puis la poussée aquatique (abaisseurs des bras).
- Les muscles rotateurs internes des bras (grand pectoral, grand rond, grand dorsal et sous-scapulaire) assurent la première rotation médiane des avant-bras et permettent au

nageur de maintenir cette position haute et avancée du coude essentielle au cours de la première partie du mouvement de bras (la traction) dans les quatre nages de compétition (brasse, crawl, dos crawlé, papillon).

- Les fléchisseurs des poignets et des doigts, les extenseurs de hanche, de genoux et de chevilles (grand fessier, extenseur de la cuisse, jumeaux et soléaires) sont également sollicités lors de la nage.

Leur développement permet de donner de la puissance dans la dernière partie du mouvement aquatique.

Les articulations impliquées :

Les épaules et l'articulation scapulo-humérale en particulier sont les plus sollicitées.

Les mouvements du crawl et du papillon en particulier sollicitent les épaules et ne sont possibles que grâce à la stabilisation réalisée par la coiffe des rotateurs (muscles sus et sous épineux, muscle sus – scapulaire et muscle petit rond) et le tendon du muscle long biceps.

Une certaine souplesse de l'articulation scapulo-humérale est un critère supplémentaire de performance dans la pratique de ce sport [108].

2.4.2. Nutrition :

a) Principe générale :

La natation est un sport « à part » du fait que le corps soit porté par l'eau. Il ne faut pourtant pas croire qu'il demande moins d'efforts tant au point de vue physique que nutritionnel.

Le calcium chez le nageur :

Du fait que le corps soit porté, il ne reçoit pas de **vibrations** sur les os comme pour la course à pied, le saut ou des sports collectifs. De ce fait, le calcium se fixe moins bien sur les os. En effet, le squelette doit être « secoué » pour que le calcium s'accroche. Ainsi, le nageur devra, à côté de ses entraînements, faire des entraînements comme la course par exemple (mais pas du vélo car c'est aussi un sport où le corps est porté).

Mais il devra aussi consommer plus de **calcium** afin de densifier ses os. Cette recommandation est d'autant plus importante que les nageurs sont **jeunes**. Pour les adultes, le problème est différent puisque la croissance est terminée à partir de 22 ans et le squelette est définitivement solidifié.

L'hydratation du nageur :

La deuxième particularité du nageur est l'**hydratation**. Elle est nécessaire et malheureusement souvent oubliée. Or, le nageur, comme tout autre sportif, perd de l'eau pendant l'effort. Et ce n'est pas parce que son élément est l'eau que son hydratation est compensée. La grosse différence est que la transpiration sur un nageur n'est pas visible. Pourtant elle est bien existante. Il est donc important de se réhydrater pendant et après l'effort. Un manque d'eau entraîne chez tous les sportifs un manque de puissance.

Les 3 erreurs à éviter :

- Absence de petit déjeuner :

- Manque d'énergie et de motivation ;
- Baisse de la concentration ;
- Hypoglycémie en cours de journée.

- Sauter un repas volontairement ou non :

- Grignotage ;
- Déséquilibre ;
- Besoins énergétique non couverts ;
- Carence (notamment en vitamines et minéraux).

- Diner (soir) trop riche en calories :

- Non utilisation donc stockage ;
- Transformation de l'excès en graisse ;
- Sommeil perturbé ;
- Somnolence pendant la journée.

La ration alimentaire du nageur :

C'est la ration la plus importante car c'est d'elle que dépend l'apport des nutriments pour une bonne préparation musculaire à la compétition.

Elle doit toujours comporter un minimum de 3 repas, voire 4 (collation si repas rapide le midi ou le soir).

Le petit déjeuner :

Il doit apporter $\frac{1}{3}$ des calories journalières, ce qui permet d'éviter l'hypoglycémie de fin de matinée.

Exemple de petit déjeuner type :

- Jus de fruits (orange, raisin, pomme....) ;
- Céréale ou barre de céréale, accompagnées de lait ou yaourt nature ou fromage blanc ;
- Boisson chaude (thé, café ou lait) ;
- Pain, biscotte, ou pain d'épices accompagnées de beurre + miel ou confiture

Le déjeuner : Il ne doit pas être trop copieux afin d'éviter la baisse de forme en période de digestion. Il doit être aussi varié que possible.

Exemple de déjeuner :

- Une entrée de crudités (remplacer le vinaigre par du citron qui facilite les mécanismes digestif) ;
- Un légume vert cuit ou féculents (pomme de terre ou pâtes ou riz) ;
- Une portion de viande ou poisson ou œuf ;
- Un fromage ou laitage ;
- Un fruit ;
- Pain ou biscotte ;
- Boisson.

Le dîner : il doit compenser le déficit énergétique de la journée.

Exemple de dîner type :

- Un potage ;
- Plat principal (avec ou sans viande selon le repas de midi) ;
- Légumes verts ou féculents (selon le repas de midi) ;
- Salade ;
- Fromage ou laitage ; - Un fruit bien mûr.

La collation : elle est facultative. Elle doit être légère permettant de compenser un repas rapide le midi ou le soir. Elle peut comporter un produit laitier, un fruit, du chocolat [131-132].

b) Menus en compétition :

Il faut respecter certains principes :

- Eau, sucre et sel : le trio indispensable :

- Besoins : 1ml/ kcal/jour (3 à 4.5 litres)
- 2.5 l sous forme d'eau

- Augmenter ou restaurer les réserves en carburant

- Augmenter ou réparer la masse musculaire :

- Le muscle brûle la graisse ;
- Augmentation du métabolisme de base ;
- Protéger la masse maigre ;
- Exercices adaptés + alimentation adaptée.

Avant compétition :

Consommer une portion de féculents car ils peuvent permettre d'augmenter les réserves énergétiques.

Eviter les légumes secs, la purée, les céréales complètes (ballonnements)

Pendant la compétition :

- Un repas léger mais complet afin de limiter les variations du taux de sucre dans le sang.
- Eviter les aliments riches en graisse (fromage, viennoiseries, charcuterie) qui augmentent le temps de digestion.
- Mastiquer bien.
- Manger au moins 3 heures avant le début de l'échauffement.
- Eviter les aliments inhabituels et choisir des aliments que vous digérer bien.[133]

Tableau 13 : Aliments conseillés et déconseillés chez un nageur. [134]

Conseillés	Déconseillés
Poisson et volaille	Autres viandes
Lait au laitage au soja	Autres sortes de lait
Yaourt à 0 %	Autres yaourts
Fromage blanc maigre	Légumes secs
Desserts au soja	Céréales complètes
Pain blanc	Autres fruits
Riz et pâtes blancs	Crudités
Pommes vapeur, semoule	
Céréales, pain d'épice,	
Avoine, blé	
Confiture, sirop, miel	

Compote de fruits, banane bien mûre	
Artichauts, courgettes	
Betteraves, carottes, asperges	

Après la compétition :

Un double objectif : récupérer et détoxifier

- dans l'heure qui suit : 0.5 à 1.5 l d'un mélange de boisson énergétique et d'eau bicarbonatée.

- puis : eau + fruits, jus de fruits, laitages, barres et biscuits énergétiques **[133]**.

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 14 : Besoins en macronutriments chez le nageur. **[113]**

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Nageur professionnel	65%	20%	15%

Micronutriments :**Tableau 15 :** Apport journalier recommandé pour un nageur. [114]

Nageur professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg

2.5. Cyclisme :

2.5.1. Présentation :



Figure 26 : Cyclisme. [135]

Le cyclisme est un sport individuel qui se pratique en extérieur (route...). Son principe est basé sur : Pédaler sur un vélo de course sur une grande distance et le plus rapidement possible pour arriver le premier. Les pratiquants sont répartis dans des catégories en fonction de leur âge et de leur niveau.

Dès 4 ans, les enfants peuvent s'initier au cyclisme mais un cycliste professionnel est à partir de 18 ans. C'est un sport davantage masculin (89% d'hommes) qui convient aux personnes de toutes tailles ayant une silhouette fine ou moyenne. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants [109].

Les différents types d'efforts fournis en cyclisme sont :

Effort léger : (lipolyse aérobie)

L'énergie est produite par oxydation des lipides (graisses), stockés sous forme de triglycérides.

Cette filière est peu énergétique et est utilisée pour les efforts légers (récupération).

Les réserves sont très importantes et l'activité peut être maintenue très longtemps.

Effort modéré : (glycolyse aérobie)

L'énergie est produite par oxydation du glucose, stocké sous forme de glycogène.

Cette filière apporte l'énergie pour les efforts d'endurance.

Les réserves sont importantes et l'activité peut durer plusieurs heures si le sujet s'alimente en glucides pendant l'effort.

Effort soutenu : (glycolyse anaérobie)

Cette filière est plus énergétique que les filières aérobies mais ne peut être maintenue que quelques dizaines de minutes car l'augmentation de la concentration d'acide lactique provoque une accélération du rythme respiratoire (dette d'oxygène), une stabilisation de la fréquence cardiaque et l'apparition de crampes et douleurs.

Si l'intensité de l'effort diminue, l'acide lactique en présence d'oxygène est retransformé en acide pyruvique, c'est pourquoi le rythme respiratoire et la fréquence cardiaque restent élevés après interruption de l'effort (paiement de la dette d'oxygène).

Effort maximal : (ATP créatine phosphate)

Cette filière est la plus énergétique mais l'effort ne dure que quelques secondes car les stocks de créatine phosphate sont très faibles. Elle est utilisée pour les efforts explosifs.

Effort dû au pédalage :

Le pédalage n'est pas un geste naturel, c'est un ensemble de réflexes (coordination neuromusculaire) qui doit être entretenu.

Il se déroule en 4 phases :

1 – la poussée : le pied pousse la pédale vers le bas

2 – le point mort bas : le pied a terminé la poussée et va commencer la traction

3 – la traction : le pied tire sur la pédale pour la faire remonter

4 – le point mort haut : le pied a terminé la traction et va commencer la poussée [136].

Les muscles sollicités :

Le vélo sollicitera principalement:

- Le cœur,
- Les cuisses avec les quadriceps et les ischiojambiers durant le mouvement de pédalage,
- Les mollets,
- Les muscles fessiers,
- Ainsi que les abdominaux et les lombaires selon la position adoptée [108].

2.5.2. Nutrition :

a) Principe général :

C'est une alimentation que l'on adopte pour préparer l'organisme à la compétition et lui apporter ce dont il va avoir besoin

Quelles sont les règles fondamentales de cette ration d'entraînement ?

- Elle doit être proche de ce qui est conseillé en répartition entre protides, lipides et glucides.
- Elle doit être équilibrée.
- Elle doit être augmentée sans excès.
- Elle doit s'étaler sur 4 repas pris à heure fixe dans des conditions agréables, la qualité gustative et la nécessité de manger lentement en mastiquant correctement et celle de boire de l'eau en quantité importante.
- Elle doit respecter les interdits.

Le sportif doit avoir une alimentation équilibrée pendant toute l'année et privilégier une alimentation hyperglucidique les jours précédant une épreuve. Il est conseillé d'adopter cette

alimentation spécifique les 3 jours qui précède l'épreuve. Ce régime particulier doit privilégier les glucides lents (féculents) et limiter les glucides d'indexe glycémique élevé (sucreries, sodas) qui favorisent la sécrétion d'insuline [137].

b) Menus en compétition :

Avant la compétition :

La nutrition avant une compétition poursuit 4 objectifs principaux :

- Assurer la formation des réserves optimales.
- Garantir le parfait état du tissu musculaire, et préparer à une bonne récupération.
- Eviter tout problème digestif.
- Prévenir les déficits minéraux et effacer toute fatigue consécutive à la préparation.

Pour cela il faut :

- Privilégier les féculents ;
- 5 fruits et légumes par jour, afin d'assurer un statu vitaminique ;
- Au minimum 1.5 l d'eau par jour ;
- Eviter les matières grasses ;

Le jour de la compétition :

L'alimentation le jour de la compétition répond à trois objectifs principaux :

- 1) éviter l'hypoglycémie (une nuit de jeûne abaisse de moitié le niveau du glycogène hépatique),
- 2) prévenir tout problème d'ordre digestif,
- 3) éventuellement fournir des acides aminés qui protégeront de la « casse » musculaire en course.

Pour cela, l'alimentation le jour de la compétition devra respecter 4 grands principes :

- Eviter les aliments riches en graisses et/ou en fibres avant de prévenir les troubles digestifs ;
- Respecter le principe de rations alimentaires normales, voire quelque peu allégées, afin de faciliter la digestion (ne pas se « bourrer » car ce n'est pas le dernier repas qui permet de constituer les réserves) ;
- Obéir à la loi des 3, voire des 4 heures : le dernier repas devra obligatoirement être terminé 3 à 4 heures avant le début de l'épreuve ;
- Apporter des glucides peu insulino-sécréteurs (= à faible index glycémique) pour restaurer le glycogène hépatique.

Pendant la compétition :

L'alimentation durant l'effort est primordiale pour réussir sa course et éviter toutes baisses de régime. De plus, il faut combler le manque de glucose dépensé lors de l'exercice, soit avec des boissons, soit avec des aliments spécifiques.

On peut prendre :

- Une barre de céréales (toutes les 30min) et/ou un fruit.
- Un gel énergétique en format pochon, plus pratique à consommer pendant l'effort.
- Compléter l'eau avec des boissons de l'effort.

Après une compétition :

S'hydrater et bien se nourrir pendant l'effort est essentiel, mais beaucoup de sportifs oublient l'importance d'une bonne nutrition et hydratation **après l'effort**. La récupération est primordiale, car elle permet d'éliminer toutes les toxines liées à la fatigue.

La récupération comprend deux éléments essentiels, à ne jamais perdre de vue :

La réhydratation

Durant l'effort, le corps a perdu de l'eau en transpirant. C'est pourquoi, après l'effort, l'organisme se trouve en état de déshydratation. Pour pallier ce problème le plus rapidement possible, on recommande de **boire beaucoup d'eau** après la course. La **boisson de récupération** peut aussi être très efficace.

La récupération post-effort

Après l'effort, la perte de réserves énergétiques est évidente. Il faut donc les réapprovisionner avec des apports en glucides tels que les pâtes de fruits, les gels, les compotes...

Pendant cette phase de la récupération, la prise de boissons énergétiques est très appropriée afin de restaurer les réserves énergétiques. Cela permet en outre de réhydrater et reminéraliser l'organisme.

Il ne faut pas oublier les protéines, qui sont un très bon moyen de récupérer. Il est recommandé ainsi d'en consommer dans l'heure après l'effort intensif, par exemple sous forme de barre protéinée [138].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriment :

Macronutriments :

Tableau 16 : Besoins en macronutriments chez un cycliste. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Cycliste professionnel	55 – 60 %	28 – 35 %	12 – 15 %

Micronutriments :

Tableau 17: Apport journalier recommandé pour un cycliste. [114]

Cycliste professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg

2.6. Tennis :

2.6.1. Présentation :



Figure 27 : Tennis. [139]

Le tennis est un sport individuel qui se pratique aussi bien en intérieur qu'en extérieur (court de tennis, salle de tennis...). Son principe est simple : Deux joueurs s'échangent une balle grâce à une raquette qu'ils tiennent à la main. Chaque joueur est situé de part et d'autre d'un terrain divisé en deux par un filet dont la hauteur n'excède pas un mètre. La balle doit passer au dessus du filet et rebondir dans les limites du terrain. Si la balle n'est pas renvoyée par un joueur, ou bien si elle est envoyée au delà des limites du terrain, alors le joueur adverse marque des points. La partie est gagnée par le joueur qui a marqué le plus de points (le comptage des points est spécifique) [109].

Le jeu d'un match de tennis se caractérise par un exercice intermittent, alternant les phases courtes (4 à 10 secondes) d'intensité élevée avec de brèves (10 à 20 secondes) phases de récupération, interrompues par plusieurs périodes de plus longue durée (60 à 90 secondes). En général, la durée moyenne d'effort et de repos au cours d'un match de tennis est respectivement de 5 à 10 secondes et de 10 à 20 secondes (le rapport effort-repos est d'environ

1.1 à 1.4). Les matches peuvent durer d'une à cinq heures, imposant des exigences importantes sur les joueurs. Pendant cette période, un joueur de tennis court en moyenne 3 m par coup, soit un total de 8 à 12 m au cours d'un point, effectuant ainsi 300 à 500 efforts d'intensité élevée au cours d'un match au meilleur des trois sets **[140]**.

Dès 5 ans, les enfants peuvent s'initier au tennis. L'âge d'un joueur professionnel est de 15-17 ans. C'est un sport qui attire autant les hommes que les femmes (68% vs. 32%) et qui convient aux personnes de toutes tailles et de tous poids. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants.

Le tennis va principalement développer les réflexes et l'adresse et faire travailler épaules et pectoraux. C'est un bon moyen de se défouler et de se remettre au sport **[109]**.

Les efforts impliqués en tennis sont :

- Les efforts intermittents de longue durée : avec des séquences d'enchaînement de 3 minutes d'effort supérieures à la Vitesse Maximale Aérobie (VMA) puis 3 minutes de récupération active.
- Les efforts intermittents de moyenne durée, plus brefs mais plus intense : environ 1 minutes d'effort à +5 km/h par rapport à la VMA enchaîné de récupération active de 2 minutes 30 environs.
- Les efforts intermittents de courte durée : 15 seconde à +7 km/h par rapport à la VMA et récupération de 1'30 à 2'. 12 répétitions minimum **[141]**.

Le tennis est un sport demandant un effort souvent court mais se répétant souvent. Pourtant la durée potentielle d'un match peut être très long ce qui conduit à solliciter et à développer le système cardio pulmonaire

Le tennis demande des qualités aérobiques c'est à dire une capacité à utiliser l'oxygène durant l'effort ; la VO2 Max traduisant la capacité cardio respiratoire est élevée chez les tennismen de haut niveau.

Les muscles sollicités au tennis sont :

- Les muscles des membres inférieurs pour le déplacement et la vitesse et en particulier le muscle quadriceps qui est le muscle de la cuisse.
- Les muscles du membre supérieur : ceux de l'avant bras pour la prise de la raquette et ceux de l'épaule pour le coup droit et le revers.
- Les muscles du tronc et de l'abdomen pour les services et pour accélérer la balle lors de la frappe qu'elle soit en coup droit ou en revers.

Les articulations concernées lors de la pratique du tennis :

- Le poignet : sa souplesse permet d'améliorer le toucher de balle et la qualité des coups;
- L'épaule : essentielle à la réalisation d'un mouvement parfait et complet ; c'est sa mobilité qui est importante;
- La hanche : dont la rotation permet de potentialiser le coup droit et le revers;
- Le genou : impliqué dans les courses et le démarrage et donc très sollicitée.

Les principales capacités neurosensorielles sont nécessaires pour bien jouer au tennis :

- L'équilibre, important au tennis car c'est une condition essentielle pour avoir un bon positionnement sur la balle et ainsi pour frapper la balle dans les meilleures conditions possibles.
- La vision : essentielle pour suivre la balle le plus longtemps possible en sachant que la vitesse de la balle dépasse les capacités d'acquisition de l'information par l'œil.

Les fonctions visuelles les plus importantes sont:

- La vision binoculaire qui est l'aptitude des deux yeux à converger vers un objet qui s'approche et à déterminer sa position exacte dans l'espace permet associée à une bonne convergence de mieux fixer la balle lors des différents points de sa trajectoire.
- La convergence oculaire : voir une bonne convergence permet de mieux se concentrer visuellement sur la balle et ce durant un moment plus long sans avoir de fatigue des muscles oculaires.
- Les temps de réaction.

La coordination est la capacité à se mettre dans les meilleures conditions possibles pour réaliser un geste de qualité. Au tennis la coordination est une qualité essentielle pour réaliser un geste correct.

L'attention, la concentration et l'anticipation sont des capacités psychiques essentielles pour la pratique du tennis [108].

2.6.2. Nutrition :

a) Principe général :

Les principaux composants d'une nutrition adaptée au tennis sont :

- Glucides :

Les pratiquants de ce jeu de balle ont besoin d'une grande quantité glucidique compte tenu de la grande énergie qu'ils perdent pendant les entraînements et les matchs. Le glucide ravitaille les muscles et permet d'éviter une fatigue musculaire précoce, augmentant du même coup l'endurance du joueur. Les tennismen perdent en moyenne 500 à 1500 calories après chaque match (en fonction de la durée de jeu). Pour un joueur professionnel qui doit enchaîner plusieurs matches dans un tournoi, il faut compenser ces pertes glucidiques en mangeant des aliments riches en glucides. Tout aliment qui contient ce macronutriment apporte aussi d'autres nutriments, des fibres et de l'énergie.

En principe au tennis il faut inclure 7 à 10 grammes de glucides par kilogramme de poids du joueur (s'il pèse 80 kilos, il devrait donc consommer entre 560 et 800 grammes de glucides en tout) par jour. Des exemples d'aliments qui en sont riches sont les pâtes, le riz, le pain, les flocons d'avoine, les pommes de terre et d'autres céréales. Les nourritures qui contiennent des glucides simples comme les barres chocolatées, les boissons sucrées, etc.

Devraient être utilisées uniquement en cas d'urgence. Par exemple, les joueurs de tennis peuvent consommer des barres de chocolat en guise de collation pendant les matchs.

- Protéines :

En jouant régulièrement au tennis, le pratiquant doit aussi inclure des protéines. Ce macronutriment est indispensable pour construire les muscles du joueur. Pour élaborer une nutrition saine et atteindre les exigences en protéine des pratiquants, il faut consommer 2 à 3 portions de protéine de source alimentaire. Les flocons d'avoine sont un très bon exemple de plat céréalier qui fournit une bonne protéinique en plus des vitamines du complexe B (B1, B2, B3, B5, B6, B7 et B9). D'autres exemples d'aliments riches en protéines sont les haricots, les œufs, les viandes (volaille, bœuf, etc.), les poissons, le fromage, le lait, le yaourt, etc.

- Graisses :

Les lipides pourraient sembler inadaptés dans le cadre d'une nutrition saine dédiée à la pratique du tennis, et pourtant votre alimentation devrait aussi inclure ce composant. Ce macronutriment est responsable du ralentissement de l'absorption des glucides par l'organisme. Cela veut dire que le composant gras aide à prolonger l'approvisionnement d'énergie à l'organisme.

Ce nutriment est vital à une nutrition tennistique, surtout quand il faut faire des matchs qui durent des heures et des heures. Des exemples de bonnes sources grasses sont les noix (des amandes par exemple), le beurre de cacahuète naturelle, le lait riche en matières grasses, l'huile d'olive, les poissons gras (les maquereaux par exemple), les œufs (avec le jaune). Cependant, vous devriez consommer une quantité de graisse appropriée. Un apport insuffisant ou excessif de graisses a ses propres inconvénients. Une consommation convenable représente au moins 15% des besoins caloriques journaliers. Consommer trop peu de lipides rend le corps du joueur incapable d'absorber assez de vitamines solubles dans la graisse (comme la vitamine E, qui joue un rôle primordial en tant qu'antioxydant).

A l'inverse, une consommation trop abondante de lipides peut mener à quelques problèmes de santé. Le souci le plus courant lié à un apport excessif de graisse est les maladies cardiovasculaires. En outre, en manger trop peut faire ralentir puis stagner vos progressions tennistiques [142].

- Fruits et légumes :

D'autres composants importants comprennent des fruits et légumes. Ce sont des sources naturelles de vitamines, de minéraux, d'antioxydants et d'autres nutriments. Une alimentation saine conçue pour le joueur de tennis doit inclure 3 à 5 portions de légumes en plus de 4 portions de fruits. Rappelons que 100 g de tout type de légume cuit (épinards, tomates, autres légumes) et des salades fraîches sont égaux à une portion. Et une portion de fruit est équivalente à 50 g de tout type de fruit (comme les baies, les pommes, les mangues, etc.). Une grande pomme dont le poids est de 200 grammes apporte donc les 4 portions de fruit nécessaires.

- Hydratation :

Les joueurs de tennis ont besoin de boire de l'eau ou d'autres liquides régulièrement, même quand ils ne font aucune activité physique. En effet, l'hydratation est vitale aux processus normaux du corps. Divers rapports montrent qu'idéalement, les pratiquants devraient consommer 2,5 litres (250 cl) de fluide quotidiennement (en buvant de l'eau, mais il faut aussi tenir compte des soupes et bouillons ou d'autres aliments à haute teneur hydrique). Il est également très important de boire l'eau régulièrement dans le temps, et pas seulement quand on est très soif.

Les joueurs professionnels de tennis doivent en particulier boire beaucoup d'eau tout au long de la journée et de la nuit avant les grands événements ou matchs. Leur objectif sera alors d'hydrater en permanence leur corps et de le faire fonctionner parfaitement. En plus de l'eau, les joueurs devraient aussi boire des boissons sportives qui contiennent des électrolytes, des glucides, du sodium et des protéines. Ces catégories de boissons pour sportifs servent à reconstituer immédiatement tous les éléments essentiels perdus par l'organisme lors des matchs ou activités physiques intenses.

b) Menus en compétition :

L'effort à fournir durant un match de tennis nécessite une alimentation adaptée, un aspect souvent sous-estimé par les compétiteurs. Pourtant son importance avant, pendant, et après un match est fondamentale.

Le petit déjeuner :

Il faut prendre un bon petit déjeuner mais pas excessif non plus :

- Pain blanc, pain aux céréales, baguette tradition ou cornflakes classiques, muesli.
- Beurre ou margarine et confiture
- Un fruit bien mûr, à défaut un jus de fruits
- Un yaourt ou du fromage blanc

Avant un match :

Le tennisman doit faire attention à ses choix de repas et de boissons pré-match, puisque ces aliments solides et liquides devraient durer quelques heures pendant le tournoi et les matches à répétition.

Les compétiteurs devraient sélectionner des repas et collations d'avant match qui :

- Leur soient familiers, et connus pour maîtriser la faim.
- Soient riches en glucides pour fournir de l'énergie aux réserves musculaires, modérés en protéines et pauvres en graisses.
- Soient rapidement digérés (pas trop riches en fibres ou en lipides).

Des exemples de plats et encas à haute teneur en glucides sont les pâtes, le pain, les fruits frais, les barres de céréales, les barres énergétiques et les boissons pour sportifs. Pour maintenir une nutrition correcte, tout joueur de tennis doit limiter (voire éviter) de boire des boissons qui contiennent de la caféine (café, thé, boissons gazeuses caféinées, etc.). La caféine améliore la miction et cause ainsi une perte de fluide rapide. Elle peut également être une nuisance si vous avez besoin d'uriner en plein milieu d'un match. Ce n'est pas un

souci de règlement en soi (puisque vous avez droit de faire des pauses pour aller aux toilettes pendant les matchs), mais cela affecte le niveau d'attention et de concentration, et la performance dans son ensemble. Une hydratation 2 heures avant le match en buvant 60 cl de boissons conseillées.

Repas recommandé :

- Déjeuner :

- Sandwich à la dinde ou au poulet grillé avec de la moutarde,
- Biscuits salés,
- 1 pomme,
- 1 grand verre (25 cl) de lait écrémé,
- 1 grand verre d'une solution désaltérante.

- Collation d'avant match (1à 2 heures avant la compétition)

- 1 yaourt aux fruits ou 1 banane,
- 1 grand verre d'eau,
- 1 barre énergétique,
- 2,5 grands verres (60 cl) de boisson désaltérante.

Pendant le match :

En complément d'une bonne hydratation, dès la pause du deuxième changement de côté au troisième jeu, il faut commencer à avaler un peu de nourriture solide: banane, barre énergétique, biscuit, pâte de fruit, en résumé ce qui plait au joueur. Chacun a ses goûts. Il faut que ça plaise, pas que ce soit forcé. Cette ingestion permet de mettre la glycémie au bon niveau. L'effet des sucres rapides dure une demi-heure, c'est pour cela qu'on doit en ingurgiter en continu.

Après le match :

- Les joueurs devraient manger des aliments et boire des liquides qui aident à reconstituer les stocks d'énergie dans les muscles et les électrolytes perdus en compétition.
- Manger des glucides dès que possible, de préférence dans les 30 minutes qui suivent le match. Commencer à boire un boisson pour sportifs tout en sortant du court.
- Remplacer 150% des liquides corporels perdus (ou au moins 120 cl par kilogramme de poids perdu, soit l'équivalent de 1,2 kg d'eau perdue) pendant les 2 heures post-match.
- Manger un plat à haute teneur glucidique qui contient aussi une source de protéine maigre, dans les 2 heures qui suivent la fin du match, afin de maximiser la récupération du glycogène musculaire (reconstruire les stocks d'énergie) et de soutenir la synthèse de protéine dans les muscles.
- Veiller à inclure des glucides, des protéines, des liquides et du sodium dans le repas du soir pour récupérer plus vite. Envisager des nourritures légèrement salées, et consommer des aliments et boissons qui soient naturellement riches en sodium.
- Eviter des plats riches en protéine et en graisse, puisqu'ils contribueront à la déshydratation.

Exemple de repas d'après match :

- 250 à 400 grammes de pâtes cuites (peu chargée en viandes et en graisses).
- 2 ou 3 tranches de pain à l'ail.
- 50 à 75 cl d'une solution désaltérante ou de lait allégé en matières grasses ou de boisson énergétique **[142]**.

c) Besoin en macronutriment et en micronutriment :

Macronutriment :

Tableau 18 : Macronutriments chez un tennisman. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Tennisman professionnel	50 – 60%	30 – 40%	10 – 20%

Micronutriments :

Tableau 19 : Apport journalier recommandé pour un tennisman. [114]

Tennismen professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150

2.7. Boxe :

2.7.1. Présentation :



Figure 28 : Boxe. [143]

La boxe est un sport individuel qui se pratique en intérieur (gymnase, salle de boxe...). C'est un sport qui regroupe différentes disciplines : la boxe anglaise, la savate (boxe française). Voici son principe : Deux boxeurs portant des gants rembourrés s'affrontent sur un ring et tentent de porter des coups à leur adversaire. Selon les disciplines, les coups peuvent être donnés avec les poings (boxe anglaise, française), les pieds (boxe française) et visés soit le haut du corps (boxe anglaise), ou bien le haut du corps et les jambes (boxe française). Un arbitre juge les coups portés et comptabilise les points pour désigner le vainqueur du match.

Dès 6 ans, les enfants peuvent s'initier à la boxe, l'âge d'un boxeur professionnel est à partir du 18 ans.

C'est un sport davantage masculin (82% d'hommes) qui convient aux personnes de petite et moyenne taille et de tous poids. Le contact entre les participants est important et peut parfois être violent.

La boxe va principalement développer la force et l'endurance et faire travailler épaules et pectoraux [109].

Les différents types d'efforts en boxe sont :

- **Effort intense, brutal et momentané** : l'organisme est capable en urgence de mobiliser à tout moment des ressources considérables mises en réserve. Cette capacité constitue la clef de la survie de la quasi-totalité des êtres vivants. Mais cet effort ne modifie pas l'organisme.

- **Effort intense progressif et régulier** : l'organisme s'adapte pour élever son niveau de réponse. Mais, de nouveau, il se prépare, à partir de cette nouvelle position de base, à fournir un effort plus intense. Il « surcompense. La surcompensation et le retour à la normale s'effectuent pendant la phase de récupération.

- **Effort mental** : l'organisme doit savoir quand et comment réagir pendant un combat.

En boxe trois grandes parties du corps sont sollicitées :

- Les muscles du haut du corps : ceinture scapulaire (cou, épaules, pecs et dorsaux), biceps, triceps et avant-bras (fléchisseurs et extenseurs),
- Les muscles de la partie médiane du corps : muscles abdominaux (grands droit, obliques et transverse) et lombaires,
- Les muscles du bas du corps (fessiers (très important), cuisses et mollets) [144].

2.7.2. Nutrition : (boxeur poids moyen 69.853-72.274 kg)

a) Principe général :

Pour les boxeurs, l'alimentation quotidienne doit :

- Respecter les grands principes de l'alimentation afin de répondre aux besoins physiologiques de base ;
- Etre adaptée à la dépense énergétique induite par l'effort, aux types de substrats utilisés pendant la pratique (lipides, glucides, protéines), et tenir compte des pertes en eau et en minéraux (sodium, potassium...) contenus dans la sueur ;
- Etre adaptée à la fréquence, la durée et l'intensité des entraînements et des compétitions tout en prenant en compte les besoins liés à l'activité professionnelle pour les boxeurs amateurs et semi-professionnels ;
- Etre adaptée dans le but de gérer de manière optimale le poids du corps sans nuire à la performance, objectif majeur dans les sports à catégorie de poids.

Les erreurs les plus fréquentes des boxeurs sont :

- Une alimentation souvent mal organisée et déstructurée du fait de l'association vie professionnelle - vie privée - vie sportive,
- Une mauvaise gestion du poids corporel et du planning nutritionnel en fonction de la catégorie de poids et de la date de la compétition,
- Des pratiques utilisées pour la gestion du poids de corps souvent incompatibles avec la performance et parfois même dangereuses pour la santé,
- Une mauvaise gestion de l'apport en lipides (quantitativement et qualitativement),
- Une hydratation souvent mal organisée [137].

b) Menus en compétition :

Avant le combat :

Quand le combat commence, la digestion doit être terminée (dernier repas 3 à 4 heures avant le combat).

Dernier repas avant le combat:

- Eviter la graisse ;
- Manger des féculents (pâtes, riz...) et de la viande maigre (viande blanche, volaille,...)
- Boire de l'eau (pas de coca,...)
- Compléter avec un peu de pain et des fruits.

Petite collation : (p.ex.: un petit sandwich au thon ou à la viande blanche [sans mayonnaise]) au plus tard 2h avant le combat, si on a pris le dernier repas trop tôt avant le repas.

S'hydrater régulièrement : jusqu'au combat avec une 'boisson d'attente' (eau + sirop de fruit + jus de citron + fructose).

20 minutes avant le combat: un sachet de gel de glucose (bien rincer la bouche après avec de l'eau).

Pendant le combat :

- S'hydrater entre chaque round (l'eau ne doit pas être glacée).
- Ne pas recracher l'eau mais la boire pour se réhydrater.

Après le combat :

- Il faut se réhydrater (eau riche en bicarbonate).
- Il est aussi indispensable de rétablir le taux de sucre dans le sang (avec du sirop des fruits par exemple).
- Le repas qui suit le combat doit être :

- Riche en protéines (viande, poisson, fromage, ...).
- Riche en sucres.
- Pauvre en acides (crudités, tomates, ...) [145].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 20 : besoins en macronutriments chez un boxeur poids moyen. [113]

Boxeur poids moyen	Glucides	Lipides	Protides
Professionnel	55 – 60%	25 – 30 %	15%

Micronutriments :

Tableau 21 : Apport journalier recommandé pour un boxeur poids moyen. [114]

Boxeur poids moyen professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg

Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg

2.8. Golf :

2.8.1. Présentation :



Figure 29 : Golf. [146]

Le golf est un sport individuel, de précision qui se pratique en extérieur (terrain de golf). Qui consiste à envoyer une balle dans un trou situé à plusieurs dizaines de mètres en la frappant du moins de coups possible à l'aide d'une sorte de canne appelé club. Le but du jeu consiste à effectuer, sur un parcours défini, le moins de coups possible. Précision, endurance, technicité, concentration sont des qualités indispensables pour cette activité.

Dès 5 ans, les enfants peuvent s'initier au golf, un professionnel peut débiter son parcours à partir des 18 ans. C'est un sport davantage masculin (71% d'hommes) qui convient aux personnes de toutes tailles et de tous poids. Il n'y a pas de contact entre les pratiquants **[109]**.

La partie moyenne dure 227 minutes et les joueurs parcourent un minimum de 9000 mètres, la plupart du temps il s'agit d'une activité d'intensité modérée : 82 minutes font appel à entre 50% et 74% de la réserve maximale de fréquence cardiaque. Toutefois, on observe un écart important entre la fréquence cardiaque moyenne et maximale, ce qui indique des demandes physique temporaires considérables.

Les joueurs perdent en moyenne environ 1.2 kg durant la partie [147].

En golf on remarque deux principaux effets majeurs :

- Effort aérobie : dû à la marche à un rythme soutenu, sur une distance de 6 à 18 km par jour suivant que le golfeur fait une ou deux compétitions dans la journée, pouvant durer de 4 à 8 heures.

- Effort anaérobie : 'le swing' : c'est un mouvement de lancer rapide et complexe, demandant souplesse, précision et puissance musculaire. Il met en jeu 69 muscles dans un temps très court, faisant appel aux qualités du système neuro musculaire et à la coordination. Les mouvements musculaires doivent être rapides et d'une haute précision ; la concentration mentale très élevée.

Le golf va principalement développer l'adresse et la coordination et faire travailler épaules et pectoraux.

Les muscles sollicités en golf sont :

Les muscles du membre supérieur sollicités au golf sont d'abord ceux qui participent au mouvement du swing :

- Les muscles adducteurs de l'épaule ;
- Le muscle sus-scapulaire ;
- Les muscles pectoraux ;
- Les muscles fléchisseurs des avant-bras ;
- Les muscles de la main.

Les muscles du membre inférieur sollicités au golf sont ceux qui assurent la stabilité lors du swing au niveau des membres inférieurs : les muscles quadriceps.

Les muscles du tronc sollicités au golf sont :

- les muscles abdominaux.
- les muscles intercostaux.

Le golf est un sport à forte sollicitation articulaire, c'est dire l'importance de la souplesse. Les articulations les plus sollicitées :

- l'épaule ; - La hanche
- le genou ; - Le rachis **[108]**.

2.8.2. Nutrition :

a) Principe général :

L'alimentation du golfeur aura un rôle primordial pour augmenter la quantité de glycogène stocké. Le sportif doit avoir une alimentation équilibrée pendant l'année et privilégier une alimentation hyperglucidique les derniers jours avant l'épreuve. Il est conseillé d'adopter cette alimentation spécifique les 3 derniers jours avant une compétition ; une alimentation hyperglucidique la veille de l'épreuve avait une incidence positive sur le stockage du glycogène. Ce régime particulier doit faire la part belle aux glucides lents (féculents) et limiter les glucides d'index glycémique élevé (sucreries, sodas etc...) qui favorisent la sécrétion d'insuline. Pendant cette période, le golfeur doit conserver un apport protéique habituel et limiter les lipides.

Pendant l'épreuve, un apport de glucides rapides permettra aussi de limiter l'épuisement du glycogène pendant la course. Cet apport de glucides permet aussi d'éviter l'utilisation trop rapide des protéines comme source énergétique.

Il faut privilégier une bonne hydratation, il arrive fréquemment surtout lorsqu'il fait chaud, que les joueurs perdent une quantité significative de poids par la sueur. Il faut savoir que la perte de 1 % du poids du corps entraîne une augmentation de 3 à 5 battements de cœurs par minute. 3% de perte de poids est clairement lié à une diminution de performance **[137]**.

Repas type :

Petit déjeuner :

Pain : 2 tranches (avec confiture ou miel 30gr, ne pas en prendre davantage.)

- Fruit : 1 fruit.
- Yogourt : 1 allégé si possible. Sucré au fructose ou peu sucré.
- Céréales : 20gr à 30gr environ avec 1 verre de lait demi -écrémé. Ou 1 portion de gâteau de riz.
- Lait : 1. verre demi-écrémé.
- Café ou thé léger si on en a l'habitude. Pas indispensables.
- Pomme ou 1 banane, barre de céréales ou pâtes de fruits à prendre vers 10heures.

Il ne faut pas oublier d'emporter la boisson pour le practice et pour le parcours,

N'oubliez jamais de boire 1, 5 litre jour.

Pour le déjeuner et le dîner :

Les viandes et les poissons seront grillés ou rôtis, les légumes seront naturels, cuits à l'eau, à la vapeur ou au four, les pâtes, riz ou pomme de terre sans sauces, avec quelques pincées de fromage râpé, un filet d'huile, du citron, du vinaigre, cornichons, ketchup si on l'aime, et herbes, persil, ciboulette, ail etc. éviter absolument les sauces toutes prêtes, les sauces à la viande sur les spaghettis etc.

Déjeuner :

Crudités : 150gr environ un peu d'huile, de citron ou de vinaigre, (éviter avocats, olives et cœurs de palmiers, trop gras, ils vont retarder le passage de l'estomac), sources de vitamines, sels minéraux, fibres améliorant le transit intestinal.

2 tranches de pain.

Boire toujours de l'eau.

Diner :

- 1 assiette ou 1 bol de soupe aux légumes avec des poids cassés,
- Des haricots, du vermicelle.
- Eviter les bouillons gras de viande ou de volaille très indigestes.
- 100gr Viandes maigres, préférez toujours les volailles, (dinde, poulet), le veau
- 2 œufs mais deux fois par semaine seulement (jaunes très gras composé uniquement de cholestérol) ou, 2 tranches de jambon.
- Poissons grillés, même quantité. On peut remplacer cela par du crabe, des crevettes ou un plateau de fruits de mer assaisonnés au citron, excellentes protéines avec sels minéraux. Attention cependant à la qualité et à la fraîcheur, un coquillage contenant quelques bactéries peut vous donner une belle gastro entérite, par prudence à réserver au dernier repas après les compétitions de même pour une paella.
- 200gr de Légumes verts (brocolis, courgettes, haricots verts, endives, champignons, choux de Bruxelles, tomates etc.), même qualités que les crudités, avec des éléments indispensables comme les oligoéléments.
- 300gr de pâtes, riz ou, lentilles ou haricots (pesés cuits) 2 ou 3 grosses pomme de terre, à la vapeur ou au four. Ne jamais sauter ce plat.
- 200gr de fruits, pommes, poires, bananes, pamplemousses, oranges, mandarines, raisins, une petite part de tarte
- 2 tranches de pain.

Ne pas oublier de boire de l'eau.

Le repas du soir contient un peu plus de glucides lents : ce sont eux qui vont permettre de reconstituer les bonnes réserves de carburant pour le lendemain. Avec la collation, ce repas sera le même au cours des compétitions **[148]**.

b) Menus en compétition :

Avant le parcours :

3-4 h avant le parcours :

Il ne faut pas consommer un repas complet trop près du départ car il faut plus ou moins 3-4h au corps pour digérer. L'idéal est de fournir au corps suffisamment d'hydrates de carbone (féculents) pour avoir un bon niveau de glycogène (source d'énergie). Il faut aussi des protéines et des graisses, mais suffisamment digestes.

Voici quelques exemples de repas :

- Spaghettis complets avec des tomates et de sauce de viande
- Sandwich au poulet avec de la soupe
- Omelette avec des toasts

60 minutes avant le parcours jusqu'au départ :

Il n'y a pas d'obligation de manger durant les 60 min précédant le départ d'un parcours, mais il est important de conserver un bon niveau de sucre dans le sang, il ne faut pas non plus avoir la sensation de faim avant ou au début d'un parcours. Il faut favoriser les snacks tels que :

- Fruits frais mélangés à des noix
- Pain complet avec du fromage allégé
- Yaourt et fruit
- Céréales avec du lait écrémé.

Pendant les 6 premiers trous :

Prendre une banane et boire de l'eau.

Pendant les 6 trous suivants :

Manger un demi-sandwich complet avec de la viande blanche (poulet, dinde,...)

Pendant les 6 derniers trous :

Manger une barre granola ou un fruit,

Boire de l'eau ou une boisson énergétique.

Après le parcours :

Refaire les réserves en eau et en sels minéraux, réparer les fibres musculaires endommagées.

Dans la demi-heure, il faut réhydrater [110].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 22 : Besoins en macronutriments chez un golfeur. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Golfeur professionnel	50 – 55%	30- 35%	15%

Micronutriments :**Tableau 23 : Apport journalier recommandé pour un golfeur. [114]**

Golfeur professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	900 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	330 mg
Zinc	15 mg
Iode	150

2.9. Handball :

2.9.1. Présentation :



Figure 30 : Handball. [149]

Le handball est un sport collectif qui se pratique plutôt en intérieur (terrain de handball).

Il est nécessaire d'avoir plusieurs partenaires pour pouvoir le pratiquer. Voici son principe : Deux équipes de 7 joueurs se disputent un ballon et doivent le mettre le plus souvent dans la cage du camp adverse qui est protégée par un gardien. Le ballon ne peut être échangé qu'avec les mains d'où le nom de ce sport : "hand" (main en allemand) et "ball" (ballon en allemand). L'équipe qui a marqué le plus de buts à la fin du temps de jeu gagne la partie.

Dès 5 ans, les enfants peuvent s'initier au handball. L'âge d'un professionnel est de 17 ans. C'est un sport qui attire autant les hommes que les femmes (63% vs. 37%) et qui convient aux personnes de toutes tailles ayant une silhouette moyenne ou large. Le contact entre les participants est assez important.

Le handball va principalement développer l'adresse et l'endurance et faire travailler épaules et pectoraux. Il s'agit d'une bonne façon de se défouler et de rencontrer des gens **[109]**.

Les différents efforts impliqués en handball sont :

- Anaérobie alactique pour les shoots, sauts et parades.
- Anaérobie lactique pour les phases de jeu balle en main.
- Aérobie pour la durée du match.

Les muscles les plus sollicités en handball sont :

- Le cœur,
- Cuisses et mollets,
- Bras (biceps et triceps),
- Épaule,
- Abdominaux,
- Avant bras,
- Pectoraux ou Poitrine **[108]**.

2.9.2. Nutrition :

a) Principe général :

Pour les handballeurs, l'alimentation quotidienne doit :

- Développer les capacités d'endurance, notamment respiratoires et circulatoires ;
- Fournir de l'énergie longue durée, pouvant être mobilisée jusqu'à la fin des épreuves ;
- Fournir de l'énergie immédiatement disponible, indispensable aux impulsions ;
- Améliorer la résistance et la souplesse musculaire et articulaire, pour limiter les traumatismes liés aux efforts violents et aux chocs répétés ;
- Optimiser les fonctions cognitives : vigilance, coordination, adresse... ;
- Faciliter une récupération rapide et améliorer la résistance de l'organisme, du fait de la fréquence des compétitions ne permettant généralement pas un repos suffisant [137].

Repas types quotidiens :

Petit déjeuner :

- 1 produit laitier (lait, yaourt, fromage) ;
- Pain (1 tiers de baguette) ;
- Beurre (15g) et confiture ou miel (30g) ;
- Œuf ou jambon ;
- Fruit ou jus de fruit.

Déjeuner :

- Crudités, salade (150g), huile (10g) et citron ;
- Viande, volaille ou poisson ;

- Pomme de terres, riz ou pâtes (300g) ; - Yaourt ou fromage blanc ;
- Beurre (15g) ; -10g de sucre ;
- Fruit ; - Pain (1 quart de baguette).

Collation :

- Pain (1 quart de baguette) ;
- Fromage (30g) ; - Fruit.

Diner :

- Potage ou crudité + huile ; - Pain (1 tiers de baguette)
- Volaille, poisson, 2 œufs ou jambon ; - Beurre (15g) ;
- Légumes verts (200g) et féculents ; - Fromage frais ou yaourt ;
- Sucre ; - Fruits [150].

b) Menus en compétition :

Avant match :

Est inutile, voire gênant, de boire avant la compétition si l'on veut éviter d'avoir envie d'uriner pendant (l'organisme étant dans l'incapacité de stocker de l'eau, cette dernière sera automatiquement filtrée et excrétée par le rein).

La boisson précompétitive est sans rapport avec l'état d'hydratation du sportif. Cette boisson participe en réalité de manière importante à la préparation mentale du sujet.

La boisson doit être :

- Non salée pour éviter les sensations de soif ultérieures ;
- Peu sucrée pour éviter le phénomène d'hypoglycémie réactionnelle ;
- Présentant toujours le même goût (au choix de joueur) pour aider au processus de concentration.

Pendant le match :

Boire pendant la compétition c'est :

- Diminuer la fatigue musculaire ;
- Eviter les tendinites ;
- Etre plus vigilant sur le terrain ;
- Eviter les crampes ;
- Limiter les courbatures du lendemain.

Il est inutile de consommer des aliments solides ou pâteux pendant l'exercice, la présentation sous forme de boisson facilite le passage gastrique.

Composition : Pendant un match de hand, il suffit de boire soit une eau gazeuse salée, soit un mélange composé au domicile comprenant :

¼ de jus de fruit non sucré, ¾ d'eau, 1 à 2 grammes de sel de cuisine (2 gr quand il fait très chaud dans le gymnase).

La température de la boisson est un élément très intéressant à prendre en compte pour aider les mécanismes permettant de réfrigérer l'organisme. Pour franchir aisément l'estomac. Si la température est trop fraîche, voire glacée, le liquide reste dans l'estomac le temps que la température du liquide ingéré s'approche de la température corporelle. L'intérêt de consommer une boisson fraîche lorsqu'il fait chaud est de diminuer la température du corps et d'épargner ainsi de précieuses molécules d'eau.

Si la boisson est trop froide (4°C, température du réfrigérateur), les premières gorgées ingérées risquent de provoquer des douleurs intestinales accompagnées de diarrhées, les gorgées suivantes stagneront dans l'estomac pourront être à l'origine de crampes gastriques.

La bonne utilisation de la boisson obéit à quatre prescriptions basales, Il faut boire:

- Sans soif

La soif est un processus tardif qui n'apparaît que quand l'organisme est déjà déshydraté. Il est donc impératif, pour limiter les processus de déshydratation et ses effets pervers d'éduquer le sportif à consommer sa boisson avant toute manifestation de déshydratation.

- De façon fractionnée

Pendant la compétition, le pylore éprouve des difficultés supplémentaires pour s'ouvrir. Si le volume de boisson est important, celle-ci reste dans l'estomac et risque de provoquer des crampes gastriques et des vomissements.

- De petites quantités à chaque fois

On considère généralement que la quantité nécessaire et suffisante correspond à 5 ou 6 gorgées. L'intérêt fondamental de la gorgée est son adéquation parfaite avec la taille de l'individu

- Le plus souvent possible

Pour assurer une compensation maximale en eau et en électrolyte, la consommation de la boisson doit être particulièrement fréquente (à chaque changement de joueur, pendant les temps morts, à la mi-temps, pendant les deux minutes de pénalité).

Après le match :

- Il faut se réhydrater (eau riche en bicarbonate)
- Il est aussi indispensable de rétablir le taux de sucre dans le sang
- Le repas qui suit le match doit être :
 - Riche en protéines (viandes, poisson, fromage,...) ;
 - Riche en sucres ;
 - Pauvre en acides (crudités, tomates,...) [150].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 24: Macronutriments chez le handballeur. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Handballeur professionnel	55 – 60%	30 – 35%	15%

Micronutriments :

Tableau 25 : Apport journalier recommandé pour un handballeur. [114]

Handballeur professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150 µg

2.10. Basketball :

2.10.1. Présentation



Figure 31 : Basketball. [151]

Le basketball est un sport collectif qui se pratique plutôt en intérieur (salle de basket, terrain de basket...).

Il est nécessaire d'avoir plusieurs partenaires pour pouvoir le pratiquer. Voici son principe : Deux équipes de 5 joueurs se rencontrent sur un terrain où deux paniers sont placés de part et d'autre, à plusieurs mètres du sol. Les joueurs se disputent un ballon rond qu'ils ne peuvent toucher qu'avec la main et doivent le lancer le plus de fois dans le panier du camp adverse. A la fin du temps de jeu, l'équipe qui a marqué le plus de panier remporte la partie.

Dès 5 ans, les enfants peuvent s'initier au basketball, l'âge d'un professionnel est de 18 ans.

C'est un sport qui attire autant les hommes que les femmes (60% vs. 40%) et qui convient aux personnes de moyenne et grande taille et de tous poids. Le contact entre les participants est assez important.

Le basketball va principalement développer l'adresse et les réflexes et faire travailler épaules et biceps/triceps [109].

Les différents efforts impliqués en basketball sont :

- Anaérobie alactique pour les shoots, sauts et parades.
- Anaérobie lactique pour les phases de jeu balle en main.
- Aérobie pour la durée du match, c'est le plus dominant.

Les membres inférieurs et en particulier les muscles quadriceps sont fortement sollicités. La musculature des membres supérieurs est importante : les muscles deltoïdes et biceps sont développés [108].

2.10.2. Nutrition :

a) Principe général :

Pour les basketteurs, l'alimentation quotidienne doit :

- Respecter les grands principes de l'alimentation pour tous afin de répondre aux besoins physiologiques de base ;
- Etre adaptée à la dépense énergétique induite par l'effort, au type de substrat utilisé pendant l'exercice (glucides et lipides essentiellement), et tenir compte des pertes en eau et en minéraux (sodium, potassium...) contenus dans la sueur ;
- Etre adaptée à la fréquence des entraînements et des matchs tout en prenant en compte les besoins liés à l'activité professionnelle pour les basketteurs amateurs et semi-professionnels [137].

Repas type :

Petit déjeuner :

Démarrer la journée du bon pied

- Recharger les batteries
- Apporter 25 à 30 % des AEJ (apports énergétiques journaliers)
- Eviter le coup de pompe de 11 heures
- Eviter les grignotages (maintien d'un poids sain)

- Améliorer les performances physiques et intellectuelles
- Favoriser les processus de mémorisation et d'apprentissage

Composition idéal d'un bon petit déjeuner :

- **De l'eau** : une bonne hydratation ;
- **Un fruit frais** (pressé ou à croquer) : protection (vitamine C, fibre, antioxydant) ;
- **Un produit céréalier** (céréales non raffinées, pain complet, biscottes, flocons ou gruau d'avoine...) : énergie progressive (glucides lents) ;
- **Un laitage** (lait demi-écrémé, yaourt, fromage blanc, ...) : croissance (calcium, vitamine D,...) ;
- **Une garniture salée** (jambon, œuf, fromage...) **ou sucrée** (confiture, miel, sirop....voire chocolat noir) : énergie rapide, croissance, plaisir ;
- **Une boisson chaude** (facultative) : café, thé, lait chocolaté : hydratation, plaisir.

Collation :

- Compléter le petit-déjeuner ;
- En cas et non un repas ;
- Pas toujours nécessaire ;
- Tenir le coup jusqu'à midi (énergie) ;
- Apporter des vitamines.

Exemple d'une collation :

- De l'eau
- fruit ou un légume frais (potage) ou un produit laitier ou un biscuit sec ou une barre de céréales.

Diner :

•Repas tartines :

Pain complet + garniture (jambon, poulet, fromage, thon,...) + légumes (soupe, crudités)

•Repas chaud :

Féculents, protéines (VVPO), légumes.

b) Menus en compétition :

Avant le match :

- Optimiser l'alimentation des 72h dernières, car ce sont ces 72h qui permettent à l'organisme de bien se préparer à un effort sportif intense ;
- Assurer une bonne hydratation ;
- Repas contiennent des aliments à indice glycémique bas ;
- Le dernier repas devra être facile à digérer et être terminé au moins 3 h avant le match
- Eviter les graisses et les aliments risquant de ballonner ;

Exemple de dernier repas avant le match :

- Une ration de riz ou de pâtes, un peu de jambon cuit ou un yaourt et un jus de fruit
- Ou une ration de flocons d'avoine et un jus de fruit ;
- Ou du pain et du miel avec boisson.

Pendant le match : (mi-temps)

- privilégier une hydratation et la facilité de digestion.

Après un match :

- Une bonne hydratation en buvant abondamment une boisson riche en minéraux
- Aliments glucidiques (jus de fruit) pris juste après l'effort ;
- Après 30 minutes : plat riche en protéines pour reconstituer la masse musculaire [133].

c) **Besoins en macronutriments et en micronutriments :**

Macronutriments :

Tableau 26 : Besoins en macronutriments chez un basketteur. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Basketteur professionnel	55 – 60%	25 – 30%	15%

Micronutriments :

Tableau 24 : Apport journalier recommandé pour un basketteur. [114]

Basketteur professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150

2.11. Rugby :

2.11.1. Présentation :



Figure 32 : Rugby. [152]

Le rugby est un sport collectif qui se pratique en extérieur (stade de rugby, terrain de rugby...). Il est nécessaire d'avoir plusieurs partenaires pour pouvoir le pratiquer. Son principe est le suivant : Deux équipes de 15 joueurs se rencontrent sur un terrain et se disputent un ballon ovale. Ce ballon peut être joué au pied, mais du fait de sa forme ovale peu pratique, les joueurs se le passent généralement à la main. Chaque équipe cherche à amener ce ballon au delà de la ligne de fin de terrain du camp adverse pour marquer des points. Les joueurs peuvent soit poser le ballon à la main derrière cette ligne, il y a alors essai, soit l'envoyer avec le pied entre deux poteaux et au dessus d'une barre placés au niveau de cette ligne : il y a alors but. L'équipe qui a marqué le plus de points à la fin du temps de jeu gagne la partie.

Dès 6 ans, les enfants peuvent s'initier au rugby, l'âge d'un professionnel est à partir de 18 ans. C'est un sport davantage masculin (96% d'hommes) qui convient aux personnes de toutes tailles ayant une silhouette moyenne ou large. Le contact entre les participants est important et peut parfois être violent.

Le rugby va principalement développer la force et l'endurance et faire travailler épaules et pectoraux [109].

Les différents efforts impliqués en rugby sont :

Effort anaérobie alactique : L'intensité est sur maximale pour une durée de une à neuf secondes, on le rencontre surtout en combats, courses de 1 à 70m, plaquages, sauts (touches), poussée en mêlée, percussions et progressions courtes chez les avants. En résumé, toutes les actions effectuées dans un petit périmètre.

Effort anaérobie lactique : Les courses supérieures à 80m, ou les actions « continues » (concernant un individu) passant 10s, à un rythme maximal. On le rencontre en enchaînements d'attaques, pressing offensif et défensif (> à 10s), suites d'attaques ou de défenses, etc....

Effort aérobie : Contrairement aux autres processus, la filière aérobie ne permet que l'accomplissement d'un effort à intensité modérée mais d'une durée importante. La plupart des efforts accomplis dans la vie de tous les jours le sont dans la filière aérobie.

Le rugby est un sport complet impliquant un nombre important de groupes musculaires et de muscles :

- Les membres inférieurs, notamment les muscles de la cuisse, des jambes sont particulièrement sollicités quel que soit le poste occupé.
- Les membres supérieurs, particulièrement l'épaule et les muscles du bras, sont aussi impliqués.
- Les muscles du tronc et ceux du rachis nécessitent aussi d'être entraînés pour réduire les risques de blessures.

L'articulation du genou est particulièrement sollicitée quel que soit le poste occupé. Au niveau du membre supérieur l'épaule est exposée [108].

2.11.2. Nutrition :

a) Principe général :

La nutrition est un sujet peu abordé chez les joueurs de rugby, contrairement à des sports comme le cyclisme et le marathon. Il y a plusieurs raisons à cela :

- La performance au rugby ne s'apprécie pas sur l'effort physique ou un "chrono" à faire, dont la réalisation est dépendant des ressources énergétiques disponibles;
- Le rugbyman a la réputation de manger beaucoup, ce qui ne signifie pas manger bien ;
- La célèbre troisième mi-temps fait partie intégrante du rugby. Elle est souvent difficilement compatible, quand elle est répétée trop fréquemment, avec un équilibre nutritionnel correct.

Le joueur de rugby commet les mêmes erreurs alimentaires que le reste de la population : apport calorique trop élevé, rapport lipides/glucides/protides mal adapté, repas mal équilibré, etc [108].

b) Menus en compétition :

Avant match :

Le dernier repas devra être terminé 2 à 3 heures avant le match, disposition commune à tous les sports de compétition. Il convient d'éviter les aliments difficiles à digérer, principalement les matières grasses, et éventuellement les aliments qui ballonnent (certains légumes riches en fibres, sodas, légumes secs). Un repas trop copieux sera exclu pour les mêmes raisons. A l'exception de ces aliments, tout reste autorisé lors du repas d'avant match, à condition que l'assiette soit modérée. La traditionnelle Pasta Partie n'a ici aucun intérêt et n'influencera pas les performances.

Assurer une bonne hydratation sera une particularité du rugbyman, car les règles du jeu ne lui permettent pas de s'hydrater une fois le coup de sifflet donné.

Pendant la mi-temps :

Après 40 minutes de jeu, la priorité sera une fois de plus l'hydratation et l'apport énergétique.

L'apport énergétique par un glucide rapide favorisera la récupération de la première mi-temps, et anticipera sur la dépense à venir dans la suite du match. Selon les goûts et habitudes de chacun, on peut conseiller soit une alimentation solide par des barres céréalières, pain d'épice, fruits ou fruits secs, gâteaux secs, soit liquide, par des boissons énergétiques, jus de fruits dilués... Se méfier des boissons énergétiques commercialisées dont la composition en glucide est constamment excédentaire. Leur consommation est souvent non justifiée, même en compétition.

Après le match :

Une collation d'après match est fortement recommandée, composée d'un apport hydrique et sucré. La réhydratation devra être de préférence une eau alcaline, riche en bicarbonates et minéraux, de façon à neutraliser certains déchets acides de l'effort, et permettre de compenser les oligoéléments perdus. Cette hydratation sera couplée à un apport sucré, tel que des fruits secs, du pain d'épice, des fruits frais, barres céréalières...pour initialiser la restitution des réserves en glycogène.

Repas de récupération sera classique, sans particularité par rapport à la discipline. Les sucres lents tiennent une part primordiale, pour reconstituer les réserves énergétiques en glycogène (pâtes, riz, pommes de terre...). S'y ajoute une ration protéinée (viande, poisson, œufs, jambon) pour favoriser la régénération et cicatrisation musculaire. Les crudités et légumes ne seront pas oubliés, pour leur apport en vitamines et anti oxydants, de même pour les laitages [153].

c) Besoins en macronutriments et en micronutriments :

Macronutriments :

Tableau 28 : Besoins en macronutriments chez le rugbyman. [113]

Macronutriments	Glucides	Lipides	Protides
Rugbymen professionnel	50 – 60%	25 – 30%	15%

Micronutriments :

Tableau 26 : Apport journalier recommandé pour le rugbyman. [114]

Rugbymen professionnel	Apport journalier recommandé
Vitamine A	800 µg
Vitamine B1	1.4 mg
Vitamine B2	1.6 mg
Vitamine B3	18 mg
Vitamine B5	6 mg
Vitamine B6	2 mg
Vitamine B8	0.15 mg
Vitamine B9	200 µg
Vitamine B12	1µg
Vitamine C	60 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	10 mg
Calcium	800 mg
Phosphore	800 mg
Fer	14 mg
Magnésium	300 mg
Zinc	15 mg
Iode	150

III. Alimentation des joueurs de football : cas du Fath Union Sport (FUS)

Fath Union Sport, connu plus couramment sous le nom du FUS de Rabat, est une association sportive marocaine réunissant plusieurs disciplines, du basket-ball au football en passant par le jeu d'échecs. Cette entrevue ne traite que de la section football, la plus importante du club, évoluant en première division du championnat marocain de football.

En premier on vous félicite pour l'exploit sportif que vous avez réalisé ' l'obtention de la coupe du trône 2014', c'est plutôt le fruit d'efforts continus et répétés, et qui trouvent donc aujourd'hui leur aboutissement et leur récompense, bon courage et bon continuation.

3.1.Introduction :

L'évolution du Football de haut niveau ces dernières années, a entraîné une nécessaire modification de la préparation physique.

Cette évolution a dû être accompagnée d'une attention plus particulière à la nutrition du sportif et parfois à d'autres apports qui peuvent être douteux aussi bien sur l'intérêt nutritionnel que sur le plan éthique, l'objectif à atteindre étant bien sur d'optimiser toujours plus la performance avec des exigences croissantes d'année en année.

L'alimentation du footballeur n'est pas un simple problème d'hygiène de vie, il s'agit d'un **facteur de performance** majeur de l'athlète.

L'activité musculaire du footballeur est intense : pendant un match, celui-ci parcourt en moyenne 11 kms dont 1km environ en course très intense et fournit ainsi un effort correspondant à une intensité moyenne de 75-80% de sa capacité aérobie maximale (VO₂max). Mais sauter, accélérer, attaquer, défendre, se retourner, se relever, demande toujours un effort supplémentaire.

Sans oublier que la lucidité, la vigilance, la précision et les facultés motrices adéquates sont les facteurs indispensables pour compléter la panoplie du bon joueur de football. Ceux-ci ne sont possibles que si le footballeur est physiquement prêt et s'il dispose de substrats énergétiques suffisants pour aller au bout 90 minutes de jeu. On peut donc comprendre aisément l'importance d'une bonne **préparation physique, mentale, technique et nutritionnelle**.

3.2.Matériel :

Ce travail a été réalisé grâce :

- A la collaboration du médecin responsable du FUS
- Questionnaire relatif à la nutrition des footballeurs

3.3.Méthodes :

- Contact direct avec le responsable de suivi de la nutrition des joueurs. Le FUS a été choisi comme modèle.

3.4.Résultat :

3.4.1. jours de l'entraînement :

Repas de remplissage et de récupération :

Les repas de remplissage sont des repas utilisés durant la semaine de l'entraînement.

Il faut noter que pour un joueur qui s'entraîne deux fois par jour, les apports doivent être de 500 Kcal, cela est acquis à partir des plusieurs repas par jour (3 repas principaux et des collations), tout en respectant la diversité des aliments, ainsi la présence en quantités raisonnables des glucides, lipides et protéines.

En raison des besoins individuels, par exemple en fonction du poste occupé, de l'âge, de la composition corporelle, il est difficile de fournir des chiffres génériques pour la quantité de glucides, de protéines et de graisse à consommer dans l'alimentation ; mais en général c'est 50% pour les glucides, 30% pour les lipides et 15 à 20 % pour les protides. Les glucides restent un élément essentiel de l'alimentation, ils fournissent en effet l'énergie nécessaire pour alimenter l'entraînement et les matches, ils doivent donc être présents dans tous les repas. Toutefois, le choix des glucides est important, habituellement avec des glucides amylacés comme les pâtes, le riz, les pommes de terre, concentrées pendant la journée, en particulier avant, pendant et après l'entraînement. L'apport en glucides doit être contrôlé le soir (en quantités moyennes), avec un accent sur les légumes.

Les protéines sont importantes, ils garantissent l'équilibre général en protéines, la réparation et la récupération. Des apports excessivement élevés en protéines ne sont pas justifiés au-delà d'un apport régulier pendant la journée (1.2 à 1.8g/Kg du poids de corps/jr). Les protéines deviennent particulièrement importantes immédiatement après l'entraînement, consommées en combinaison avec des glucides après les séances d'entraînement sur le terrain.

Les lipides servent de carburant pour les efforts longs et qui sont source de certaines vitamines que l'on ne trouve pas ailleurs, comme la vitamine E qui est aussi un anti-oxydant.

En pratique, c'est la planification de l'entraînement qui influence la nature des aliments consommés par les joueurs. Au cours de la semaine d'entraînement, il est important de veiller à consommer suffisamment d'énergie dans l'alimentation et à commencer à chaque séance d'entraînement avec des réserves de glucides bien approvisionnées. Ainsi, les joueurs doivent consommer un repas dans les heures qui précèdent l'entraînement, idéalement riche en glucides à faible indice glycémique comme le riz ou les pâtes complets, les flocons d'avoine.

Au cours de l'entraînement, les besoins en énergie dépendent du type, de l'intensité et de la durée de l'entraînement. Pour les séances basées sur la résistance et/ou les séances sur le terrain plus courtes et d'intensité plus faible, il est peu probable qu'ils aient besoin d'un apport en glucides. Cependant, si l'intensité et/ou la durée des séances augmentent, un apport régulier en glucides sous la forme de boissons sportives ou de portions énergétiques comme les barres de céréales contribuera à maintenir l'intensité de l'entraînement.

Immédiatement après l'entraînement, la planification de l'apport alimentaire est importante on parle de récupération. Consommer 20 à 25 g de protéines après l'entraînement de résistance est une pratique normale. Après des séances de conditionnement difficiles sur le terrain, il est conseillé de combiner ces protéines avec 70 à 100 g de glucides. Ils ont contribué comme cela à un processus de récupération rapide et facilite également une amélioration de la condition physique. La décision du joueur de consommer ces protéines et ces glucides sous forme d'aliments (dépend entièrement de lui) ou de compléments nutritionnels (une poudre de récupération) lui revient, mais sous un contrôle stricte, suite au risque de tomber sur des produits dopants illicites.

Repas type :

- Remplissage :

Petit déjeuner :

Petit déjeuner :

Il doit apporter $\frac{1}{3}$ des calories journalières, ce qui permet d'éviter l'hypoglycémie de fin de matinée.

Exemple1 :

- Jus de fruits (orange, raisin, pomme....) ;
- Céréale ou barre de céréale, accompagnées de lait ou yaourt nature ou fromage blanc ;
- Boisson chaude (thé, lait) ;
- Pain, biscotte, ou pain d'épices accompagnées de beurre + miel ou confiture.

Exemple 2 :

- Verre de jus de fruits frais ou un fruit ;
- Bol de céréale ;
- 2-3 tranches de pain + confiture ou miel.

Collation :

Elle peut comporter un produit laitier, un fruit, du chocolat.

Exemple de collation :

- 1 fruit + une barre de céréale

Déjeuner :

Il ne doit pas être trop copieux afin d'éviter la baisse de forme en période de digestion. Il doit être aussi varié que possible.

Exemple 1 :

- Une entrée de crudités;
- Un légume vert cuit ou féculents (pomme de terre ou pâtes ou riz) ;
- Une portion de viande ou poisson ou œuf ;
- Un fromage ou laitage ;
- Un fruit ;
- Pain ou biscotte ;
- Boisson.

Exemple 2 :

- Salade ;
- Légumes vert ;
- Viande rouge (cuisson vapeur, viande haché grillé...)
- Fromage ;
- Pain complet ;
- Pomme.

Il faut savoir que le plat du joueur est le meilleur indicatif psychique.

Collation :

- Galette de riz + banane

Diner :

Il doit compenser le déficit énergétique de la journée.

Exemple de diner type :

- Plat principal (avec ou sans viande selon le repas de midi) ;
- Légumes verts ou féculents (selon le repas de midi) ;
- Salade ;
- Fromage ou laitage ;
- Un fruit bien mûr.

3.4.2. La veille du match :

Il faut surtout augmenter le stock de glycogène en mangeant des féculents, des pâtes, du riz, pomme de terre cuites.

Il faut éviter la purée, les légumes secs, les céréales complets, les épices, la tomate et les graisses (risque d'acidité gastrique).

L'eau étant indispensable pour le stockage du glycogène, donc il est indispensable de boire des quantités suffisantes.

3.4.3. Jour du match :

Le jour de match, il est bien plus facile de planifier et d'organiser l'alimentation étant donné que tous les matches commencent à une heure bien définie. Même avec de possibles déplacements, tous les joueurs doivent avoir une routine bien répétée composée d'un petit-déjeuner riche en glucides (à faible indice glycémique), d'un repas avant le match et de snacks de soutien au besoin. Le repas avant le match doit si possible être pris 3 heures avant le coup d'envoi, avec d'autres options pour compléter les réserves d'énergie dans les moments qui s'approchent du début du match. Enfin, l'élément essentiel est de veiller à ce que tous les joueurs sachent quels sont les aliments qui leur sont utiles.

Que ce soit pendant l'entraînement ou au cours de la compétition, il est important de rester hydraté(e) tant pour l'aspect mental que physique des performances. La recommandation standard est de boire souvent en petites quantités et d'examiner la couleur de l'urine pour contrôler le taux d'hydratation. L'urine doit avoir une couleur claire; si elle est foncée, il est probable que vous commencerez l'exercice en étant déshydraté(e), ce qui aura des effets négatifs sur vos performances. Tous les joueurs doivent emporter une bouteille d'eau avec eux pendant la journée.

a) Avant le match :

Il est indispensable de manger 3h avant le match, c'est surtout des aliments qui sont faciles à digérer, il faut assurer une bonne hydratation, et ne jamais proposer un menu auquel le sportif n'est pas habitué.

Ce repas doit être :

- Riche en glucides,
- Pauvre en matière grasse et en fibre,
- Renfermer une source de protéine,

- Pas trop volumineux,
- Agréable et familier,
- Digeste,
- Accompagné d'une boisson.

Exemple de repas 3h avant le match :

- Jus de fruits frais pressé,
- Bol de céréale ou pain blanc,
- Yaourt nature,
- Compote, miel ou sirop,
- Œuf, jambon, filet d'anvers, lait de soja ou une autre source de protéines maigre,
- Produit sucré,
- Eau dès la fin de repas.

b) A là mi-temps :

L'hydratation, l'hydratation et l'hydratation, il faut assurer une bonne hydratation pour récupérer les pertes minérales perdues dans la première mi-temps surtout s'il s'agit d'un climat chaud, et permet aussi de bien gérer la deuxième mi-temps.

L'apport énergétique par **un glucide rapide** favorisera la récupération de la première mi-temps, et anticipera sur la dépense à venir dans la suite du match. On donne soit une alimentation solide par des barres céréalières, pain d'épice, fruits ou fruits secs, gâteaux secs non gras, soit liquide, par des boissons énergétiques, jus de fruits dilués....

c) Après le match : ‘Repas de récupération’

Bien manger avant l'effort, c'est bien. Mais gérer la récupération, c'est mieux ! Car après le match, il faut faire les bons choix alimentaires. Cela permet de retrouver la forme, et de préparer le prochain match.

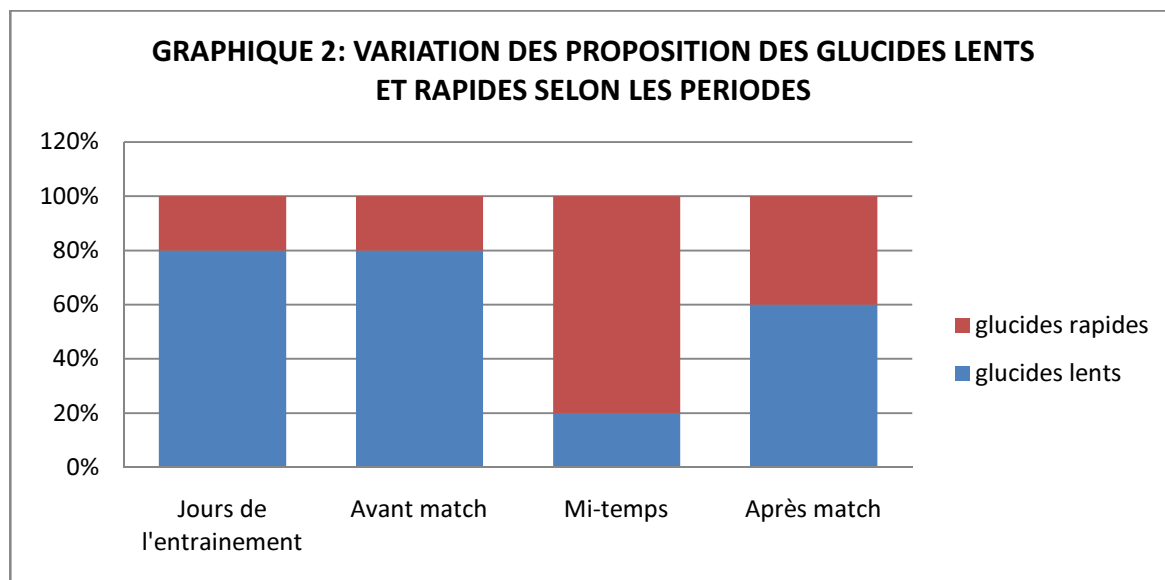
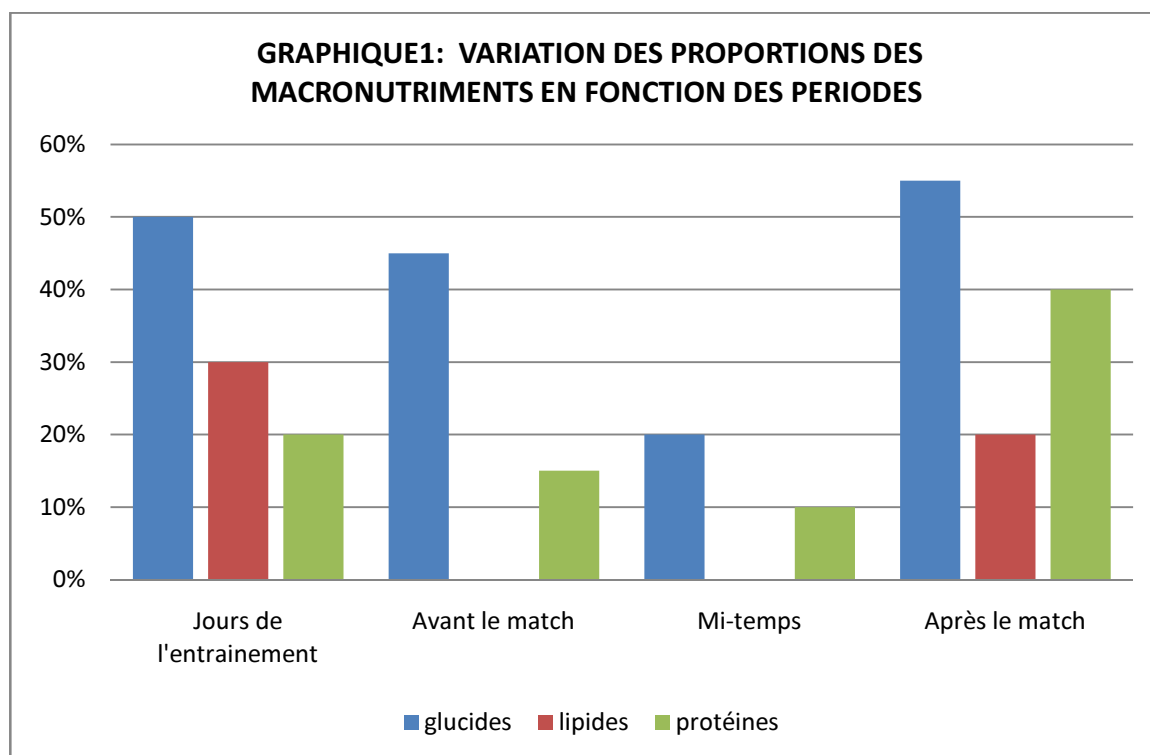
Surtout ne pas laisser la fatigue, les crampes ou les douleurs musculaires s'installer. Les mesures à suivre commencent dès la fin de l'effort et s'étendent jusqu'au repas suivant. Après un match acharné, il faut avant tout se réhydrater pour éliminer les toxines et compenser les pertes en minéraux.

Il faut boire un tiers de litre d'eau gazeuse riche en bicarbonates car ils augmentent la capacité des tissus à tamponner les acides produits par l'effort (acides lactique). Ensuite, il faut commencer à reconstituer ses réserves énergétiques. Pour cela, un apport rapide de glucides doit être assuré,

L'apport protéiné léger doit être augmenté de 30-40% pour initialiser l'anabolisme musculaire, sous forme d'un yaourt sucré, un verre de lait écrémé sucré. En aucun cas, cet apport protéiné justifie le recours aux compléments alimentaires.

En revanche, le lait, s'il n'y a pas de problème de digestion, est très efficace contre l'acide lactique produit par les muscles. Des glucides solides peuvent être consommés : par exemple, une barre céréalière, 4 à 5 biscuits ou un riz au lait. La banane et les fruits secs sont également de bons aliments de récupération.

Voici un graphique qui résume les proportions des macronutriments utilisés selon les périodes :



Les micronutriments nécessaires à l'organisme sont apportés à partir des légumes et des fruits consommés à raison de trois fois par jour.

Des contrôles réguliers sont effectués au sein du stade d'entraînement afin d'optimiser l'alimentation des joueurs :

- Poids de joueur,
- Pourcentage des graisses,
- Pourcentage des graisses viscérales
- IMC tous les 2 mois

3.5.Discussion :

➤ Besoin liquidien du footballeur:

Les pertes hydriques durant un exercice sont principalement déterminées par le taux de transpiration qui est fortement influencé par la température ambiante et l'humidité. Durant l'effort, l'apport hydrique ne compense pas les pertes hydriques occasionnées par la transpiration, ce qui entraîne une déshydratation qui peut, non seulement, compromettre la performance, mais aussi la régulation de la température corporelle. De manière générale, cette situation est d'autant plus probable lors de la pratique du football dans des climats chauds, car l'apport liquidien se limite le plus souvent à la mi-temps du match. Mais pour compenser les pertes, les joueurs peuvent boire durant les arrêts de jeu à condition de le faire sur la ligne de côté, car la boisson ne peut être amenée ni absorbée sur le terrain et les joueurs ne doivent pas quitter l'aire de jeu. Cependant, ce type de pratique n'est pas encore suffisamment ancré dans les habitudes des footballeurs et les joueurs s'hydratent peu ou pas durant l'effort. Un athlète dont l'apport en hydrates de carbone est adéquat, aura probablement une réserve de 350 à 500 grammes de glycogène. Comme chaque gramme de glycogène stocké dans l'organisme est associé à 3 g d'eau, on peut raisonnablement penser que, jusqu'à une perte pondérale de 1,5 kg, le joueur n'est pas encore déshydraté. D'un point de vue pratique, le taux de transpiration par climat très chaud et humide excède très probablement la quantité liquidienne que peut absorber le footballeur. D'autre part d'un point de vue physiologique, la quantité de fluide à absorber afin de compenser les pertes dues à la transpiration pourrait dépasser la capacité maximale de l'absorption intestinale de l'eau (environ 1 à 1,2 litre par heure).

Afin de prévenir au mieux les problèmes liés à la déshydratation, il est important d'encourager les joueurs à boire suffisamment avant et durant le match ainsi qu'à la mi-temps. Les joueurs devraient absorber au moins 500 ml de liquide (eau, jus de fruits, boissons d'effort) deux heures avant le début de l'activité physique, comme on a vu précédemment, dans le but d'induire la diurèse, ce qui permettra au joueur de vérifier si son taux d'hydratation est convenable. Une urine foncée accompagnée d'un petit volume excrété, signifiera probablement que ce dernier n'est pas encore suffisamment hydraté. Compte tenu des limites

en matière d'hydratation durant l'effort, les joueurs pourront encore absorber environ 500 ml de boisson (eau, boisson d'effort appropriée aux conditions climatiques) dix minutes avant le début du match et à la mi-temps. Après le match, les joueurs prendront soin de boire suffisamment pour se (eau, jus de fruits, boisson de récupération) et au-delà de leur soif car il est bien connu que la soif est un indicateur peu sensible du niveau d'hydratation chez l'homme.

➤ **Besoins glucidiques des footballeurs :**

Les efforts que nécessite la pratique du football vont grandement contribuer à épuiser les réserves de glycogène musculaire et hépatique des joueurs. Avant, à la mi-temps et après un match le taux de glycogène des joueurs s'épuisent rapidement au cours d'un match.

Sachant que dans notre organisme les réserves énergétiques stockées sous forme de glycogène sont limitées, comparativement à celles des triglycérides, un apport adéquat en hydrates de carbone est une nécessité impérative pour les footballeurs. Cependant, ces derniers ne privilégient pas particulièrement l'apport en hydrates de carbone dans leur alimentation, d'où la nécessité d'une alimentation stricte et contrôlée.

Influence du glycogène musculaire sur la performance

On remarque qu'un faible taux de glycogène avant le match est un facteur limitant à la performance physique. Plus le taux de glycogène musculaire initial est élevé, plus la distance parcourue et la vitesse moyenne des joueurs sont élevées. Cette constatation peut jouer un rôle capital quant à l'issue finale d'un match et probablement encore plus lors de l'accomplissement de la seconde mi-temps du match.

L'épuisement des réserves de glycogène hépatique durant le match pourrait contribuer à la survenue de symptômes liés à une hypoglycémie et affecter la performance du footballeur. Apparemment, si les réserves initiales de glycogène hépatique et musculaire sont adéquates, les concentrations sanguines de glucose restent proches ou légèrement au-dessus des valeurs au repos durant le match.

Stratégie nutritionnelle, glycogène et performance

Au vu des effets de l'épuisement des taux de glycogène musculaire sur la performance physique durant un match de football, il est logique d'anticiper. Toute manipulation nutritionnelle visant à augmenter les concentrations initiales de glycogène musculaire ainsi qu'à retarder leur diminution au cours de l'effort, pourrait s'avérer favorable à l'obtention de performance footballistique. L'absorption d'hydrates de carbone, avant, pendant et après l'exercice a pour but essentiel de maximaliser la quantité de glucose disponible pour l'activité musculaire dans la phase tardive de l'accomplissement de l'effort et de ralentir ainsi la venue de la fatigue.

Trois jours avant le match

Une augmentation du taux initial de glycogène musculaire avant le match peut simplement être obtenue à l'aide d'une alimentation riche en hydrates de carbone. Une alimentation riche en hydrates de carbone (10 g/kg de poids corporel/jour) prévient le déclin des réserves de glycogène musculaire sur une période de sept jours d'exercice intense contrairement à une alimentation faible en hydrates de carbone (3 à 5 g/kg/jour). Par conséquent, il est impératif que les footballeurs prennent garde à augmenter leur apport en hydrates de carbone durant la saison spécialement quand la fréquence des compétitions est élevée et quand les délais de récupération entre les matchs sont courts.

A cet égard, l'addition de collation au moins deux fois par jour et/ou l'utilisation d'une boisson concentrée en hydrates de carbone dans le but d'augmenter l'apport glucidique journalier des joueurs peut s'avérer être une aide efficace. Cette stratégie peut être également appliquée au cours des 72 heures qui précèdent un match.

Il est bien connu que les taux initiaux de glycogène musculaire et hépatique peuvent être augmentés (supercompensation glycogénique). Brièvement, cela consiste, après s'être entraîné à haute intensité, à restreindre l'apport en hydrates de carbone du 7^e au 4^e jour précédant le match ; afin d'épuiser les réserves de glycogène musculaire et hépatique, puis à diminuer de manière importante le volume et l'intensité de l'effort tout en augmentant grandement l'apport

glucidique les trois jours qui précèdent la compétition afin d'augmenter les réserves de glycogène.

Trois à quatre heures avant le match

Bien qu'il soit largement admis que les joueurs doivent augmenter leur ration glucidique les jours avant une compétition, la prise d'hydrates de carbone à ingérer durant les heures qui précèdent une épreuve a parfois été considérée comme nuisible à la performance. L'ingestion d'hydrates de carbone avant l'exercice améliore la performance à condition que les joueurs absorbent un minimum d'hydrates de carbone 3 à 4 heures avant l'épreuve. Le contenu du repas devrait être pauvre en protéines, en graisses et en fibres, afin de favoriser la vidange gastrique et ne pas provoquer de troubles gastro-intestinaux lors de l'épreuve.

Durant le match

L'apport d'une solution contenant des glucides durant le match peut s'avérer être une aide non négligeable pour la performance footballistique. Cependant, afin de mettre toutes les chances de leur côté, les footballeurs devront prendre garde de trouver le meilleur compromis afin d'assurer d'une part, un apport hydrique adéquat et d'autre part, faire face à leur besoin énergétique, car la concentration d'une boisson en hydrates de carbone est inversement proportionnelle à sa vidange gastrique. Dès lors, afin de prévenir tout problème de déshydratation, les conditions climatiques, la durée et l'intensité de l'effort dicteront la quantité d'hydrates de carbone qu'il est nécessaire d'ajouter à la boisson.

Il est clair que le football est une activité qui épuise rapidement les réserves de glycogène. De plus, face à l'augmentation de la charge des entraînements et de la fréquence des compétitions en football, nombreux joueurs rencontrent des difficultés à satisfaire leur besoin glucidique avec comme conséquence majeure une diminution de la qualité de leur entraînement et de leur prestation lors de match. Après un tel effort, le taux de resynthèse en glycogène musculaire est approximativement de 5% par heure de la perte totale en glycogène engendrée par l'activité physique. Par conséquent, il faudra environ vingt heures pour restaurer les réserves de glycogène musculaire et ce, à condition d'avoir une alimentation riche en hydrates de

carbone. Il est donc recommandé aux footballeurs d'absorber 6,5 à 8,5 g d'hydrates de carbone par kilo de poids corporel par jour afin de restaurer et maintenir les réserves de glycogène musculaire durant la saison compétitive.

Cette quantité correspond à la consommation quotidienne d'environ 500 à 600 g d'hydrates de carbone pour un joueur pesant 70 kilos. Afin d'optimiser la resynthèse de glycogène musculaire après l'exercice, il est conseillé d'absorber des hydrates de carbone à tous les repas et immédiatement dans l'heure qui suit la fin de l'effort. Les footballeurs devraient prendre l'habitude de consommer des aliments riches en hydrates de carbone tels que les pommes de terre, les céréales, le pain, le riz et les pâtes afin de favoriser la resynthèse en glycogène. Il est cependant bien connu qu'immédiatement après un effort important, les joueurs n'ont généralement pas ou peu d'appétit. Dès lors, l'utilisation de boissons contenant du glucose offre une solution pratique qui contribue également à restaurer l'équilibre hydrique des joueurs.

➤ **Besoins lipidiques des joueurs :**

Compte tenu du type d'effort que requiert ce sport, il est certain que le glycogène constitue la principale source d'énergie durant un match de football bien que les triglycérides musculaires et adipeux y contribuent également. Compte tenu des réserves de triglycérides stockées dans l'organisme, dont l'importance peut être raisonnablement considérée comme pratiquement illimitée comparativement à la dépense énergétique que nécessite l'activité physique, il n'y a aucun besoin d'augmenter la ration lipidique des footballeurs. Cependant, certains joueurs préconisent un apport en graisses élevé au détriment des hydrates de carbone, en argumentant que ce type de manipulation en macronutriments (30% d'hydrates de carbone, 30% de protéine, 40% de graisses) provoque des modifications hormonales favorables à une augmentation de l'oxydation des graisses pendant l'effort. Bien que l'augmentation de l'oxydation des graisses soit bien établie en termes de réponse à un entraînement aérobie approprié, il n'y a aucune évidence scientifique qui démontre que la manipulation du contenu en macronutriments dans l'alimentation peut avoir un effet similaire. Ce régime dont certains joueurs prétendent qu'il augmente leur performance, n'est rien d'autre qu'un mode

d'alimentation hyperprotidique et hypocalorique appauvri en hydrates de carbone qui ne peut être que contre-performant pour des joueurs dont le poids de corps est déjà adapté à l'effort qu'ils doivent quotidiennement accomplir pour la pratique de leur sport favori. En conséquence, il est recommandé aux joueurs de maintenir les hydrates de carbone comme leur principale source de macronutriment et de ne pas adopter des régimes sans fondement scientifique.

Les recommandations qualitatives et quantitatives en matière de besoins lipidiques qui sont données à l'ensemble des sportifs s'appliquent également aux footballeurs. Il est communément admis que l'apport total quotidien en graisses devrait se situer à environ 20 à 30% de l'apport calorique total quotidien ou à environ 1 g de graisses/kg de poids corporel/j.

Il est important que les footballeurs prennent conscience de l'importance de l'apport en hydrates de carbone dans leur alimentation et fassent des efforts afin d'augmenter la fraction calorique journalière des glucides comparativement à celle des graisses.

Outre l'aspect quantitatif lié à l'absorption des graisses en relation avec la santé, il est important de rappeler que les graisses ne constituent pas une famille de substances homogènes. Il est conseillé d'absorber une proportion de graisses saturées à chaînes longues similaire à celle des graisses monoinsaturées. Les graisses polyinsaturées oméga 6 et oméga 3 dites essentielles ou nutritionnellement indispensables devraient représenter approximativement un tiers de l'apport des graisses saturées à chaînes longues ou monoinsaturées.

➤ **Besoins protidiques des footballeurs :**

Les protéines sont formées d'acides aminés et sont indispensables au maintien de la santé. La nécessité d'un apport protidique chez l'homme ne se limite pas seulement à des besoins qualitatifs (acides aminés essentiels) mais également à des besoins quantitatifs (gramme d'azote total). Les apports protidiques journaliers recommandés de 0,8 g/kg p.c./j par divers comités d'experts en nutrition. Toutefois une augmentation de l'intensité et de la durée de l'effort, ainsi qu'un niveau d'entraînement inadapté à l'activité physique exigée, augmentent les besoins protidiques de joueur. De plus, un faible apport calorique et/ou glucidique journalier contribue également à augmenter les besoins protidiques de l'organisme. Sachant que le football est un sport intermittent qui se compose d'efforts typiquement anaérobies (haute intensité, courte durée) entrecoupés d'efforts aérobies (intensité plus modérée, durée plus longue), donc il est logique de penser que les besoins protidiques des footballeurs se situeront probablement dans la fourchette comprise entre ces deux types d'activités situés aux extrêmes du continuum du sport.

L'énorme intérêt suscité par les protéines chez les sportifs engagés dans des sports à haute intensité et de courte durée (body building, lancé, sprint) provient de la croyance traditionnelle que l'ingestion de viande augmente la masse musculaire et par conséquent la puissance, clé du succès dans ce type de sport. Cependant, la pratique de ce type d'activité physique nécessite un apport protidique supérieur aux AJR, étant donné que l'intensité moyenne d'effort requise durant un match de football se situe à 70-80% de la VO_2 max, il est probable que les besoins protidiques du footballeur ne seront pas moins importants que ceux recommandés à des athlètes de force.

Bien que les athlètes d'endurance n'aient pas une masse musculaire comparable à celle de sportifs pratiquant des sports à haute intensité et courte durée, ils nécessitent également des apports protidiques plus élevés que ceux recommandés à des individus sédentaires. Il est bien connu que dans la phase terminale de l'accomplissement de l'effort d'endurance, les protéines contribuent à fournir 5-10% de l'énergie totale requise. Ce pourcentage peut doubler lorsque l'apport d'énergie et/ou glucidique de l'athlète est inadéquat. De plus, l'augmentation des

mitochondries musculaires, qui constitue une adaptation connue lors de la pratique d'un sport d'endurance, nécessite également un apport protidique plus élevé. En se basant sur des études récentes, il apparaît que les athlètes d'endurance devraient consommer approximativement de 1,2-1,5 g de protéine/kg p.c./jour afin de maintenir un métabolisme azoté équilibré. Etant donné la composante aérobie que nécessite la pratique du football, il est probable que les besoins protidiques du footballeur soient similaires.

En conséquence, on peut raisonnablement considérer que les besoins protidiques des footballeurs sont approximativement de l'ordre de 1,2 à 1,8 g/kg p.c./ jour.

D'autre part, il est important de rappeler qu'il est inutile, pour un footballeur, de consommer plus de 2,0 g de protéine/kg p.c./jour car il n'aura pas de bénéfice en termes d'augmentation de la synthèse totale protidique.

En outre, tout apport protidique supérieur à 2 g/kg de poids corporel/j entraîne l'oxydation des acides aminés excédentaires et provoque une augmentation de l'excrétion de l'urée, ce qui peut contribuer ultérieurement à déshydrater le joueur.

3.6. Conclusion :

Au vu de cette entrevue, il est certain que la nutrition peut jouer un rôle déterminant quant à l'issue d'un match de football, en particulier lors de la deuxième mi-temps et lorsque le niveau d'équipes qui s'oppose est approximativement le même. Les deux facteurs nutritionnels les plus importants à considérer en tant qu'individu impliqué dans la préparation d'une équipe de football sont d'une part, un apport adéquat en hydrates de carbone et d'autre part, le maintien de l'équilibre hydrique. L'apport énergétique total doit être approprié afin de couvrir la dépense énergétique occasionnée par l'entraînement. Le maintien de l'équilibre énergétique peut être suivi par le contrôle du poids corporel de joueur, par une estimation de sa composition corporelle et de son apport en nourriture. L'apport énergétique ne semble pas être un problème chez les footballeurs, cependant la fraction calorique journalière provenant des graisses est souvent trop élevée au détriment de celle des hydrates de carbone.

Un apport hydrique adéquat est essentiel afin d'éviter la déshydratation et prévenir les problèmes liés à l'augmentation de la température corporelle, spécialement dans des situations environnementales où les joueurs transpirent abondamment. Apparemment, l'adjonction d'hydrates de carbone dans la boisson des joueurs est un avantage pour ce type d'effort, cependant la concentration glucidique de la solution sera dictée en fonction des conditions climatiques, de l'intensité et de la durée de l'effort. Il est important d'encourager les joueurs à boire plus car le football, tout comme d'autres sports intermittents, ne privilégie pas l'utilisation de boissons et l'apport liquidien se limite le plus souvent à l'avant-match et à la mi-temps.

Le fait de pouvoir conseiller efficacement les joueurs de football en matière d'apports glucidiques et liquidiers avant, pendant et après l'effort contribuera non seulement à favoriser la récupération de ces derniers, mais aussi à améliorer la qualité des entraînements et l'obtention de performance. Cependant, une telle tâche demande des connaissances nutritionnelles adéquates, c'est pourquoi il est indispensable que toute personne impliquée dans le suivi des footballeurs suive une formation dans le domaine de la nutrition en relation avec la performance physique. Il est également impératif que tous les individus qui composent

l'infrastructure d'un club de football prennent conscience que l'alimentation est une partie intégrante de la préparation des joueurs au même titre que l'entraînement.

RESUME

Titre : La nutrition du sportif Aspects théoriques et cas pratique dans un club de football

Mots clés : Nutrition, sport, sportif, avant compétition, pendant compétition, après compétition, récupération.

Auteur : EL ALAOUI Wissal

La nutrition du sportif est l'élément clé de sa performance. Elle doit être adéquate aussi bien en qualité qu'en quantité afin de rétablir l'énergie dépensée pendant l'activité physique et d'éviter l'apparition, par la suite, d'une sensation de fatigue et de carence.

Elle est essentiellement basée sur la prise d'aliments courants, dans le cadre d'un apport équilibré et diversifié sous forme de repas et collation. Son principal objectif est d'éviter tous les éléments susceptibles de retarder la progression du sportif ou de nuire à ses performances, tout en respectant une conduite alimentaire saine, agissant favorablement sur la pratique sportive, ainsi qu'une optimisation du rendement, à l'entraînement, et des résultats satisfaisants, en compétition.

La masse musculaire a une influence directe sur le métabolisme de repos. En effet, pour fonctionner, nos muscles doivent eux aussi brûler des calories. En outre, un entraînement musculaire provoque des déchirures au niveau des muscles. Ceux-ci devront alors se reconstruire en vue de réparer les lésions. D'où l'intérêt de la période de récupération.

Pendant la séance d'entraînement, le sportif doit assurer un grand apport énergétique pour compenser la grande dépense en énergie provoquée par l'activité musculaire. Les besoins nutritionnels et énergétiques augmentent et varient selon le type du sport pratiqué.

Pendant la compétition, le régime alimentaire doit apporter l'énergie suffisante pour que le corps puisse développer l'activité physique de manière adéquate. Les besoins varient en fonction de l'intensité et de la durée de l'effort physique.

Pendant la phase de récupération, le régime suivi aide le corps à récupérer après l'effort, et à éliminer les toxines produites durant l'exercice physique.

Ce présent travail rapport aussi un aspect pratique de la nutrition du sportif d'un club de football professionnel.

ABSTRACT

Title : the nutrition of the sport person
Theoretical and practical case in a football club.

Key words: Nutrition, sport, sport person, before competition, during competition, after competition, recovery.

Author : EL ALAOUI Wissal

Sport person's nutrition is a key element of his performance. Its must be adequate in quality and quantity. In order to restore the wasted energy during the physical activity, and to avoid the appearance of any feeling of tiredness and deficiency.

It is mainly based on the current food taken, within the framework of a balanced and diversified input, such as meals and snacks. The main objective of the nutrition is to avoid all the elements which are likely to delay the sport person's progress or to damage his performance. Particularly, it means adopting good eating habits that output optimization of the training sessions, and of the results in the competition.

The muscular mass has a direct influence on the resting metabolism. In fact, our muscles must burn the calories, so as to operate. Besides, a muscular training provokes torn muscles. So these must reconstruct to repair the lesions, which is the period of recovery.

During the training session, the sport person must secure a great energetic supply to resist to the expenditure of energy which is provoked by muscular activity. The nutrition and energetic needs increase and vary according to the type of the practiced sport.

During the competition, the diet must bring sufficient energy in order that the body can develop the physical activity in an adequate manner. The needs vary in depending on of intensity and the duration of the physical effort.

During the recovery stage, the followed diet during this stage helps the body recover after the physical effort and eliminate the toxins produced during the physical exercise.

The present study also reports a practical aspect of sports nutrition with a professional football club.

ملخص

العنوان: التغذية عند الرياضي

مظاهر نظرية و حالة تطبيقية عند نادي كرة القدم.

الكلمات الأساسية: التغذية الرياضية، الرياضي، قبل المنافسة، خلال لمنافسة، بعد المنافسة، فترة المواجهة بعد المنافسة.

الكاتبة: وصال العلوي

التغذية عند الرياضي هي مفتاح للتألق بحيث يجب أن تكون متلائمة لا من حيث الجودة ولا من حيث الكمية، لأجل تعويض الطاقة المستهلكة خلال النشاط الجسمي وأيضاً لأجل تجنب الإعياء والنقص الغذائي عند نهاية هذا النشاط.

التغذية مبنية أساساً على نمط غذائي متوازن، متجانس و متنوع، عبارة عن وجبات ومشروبات. وهدفها الأساسي هو الحد من العناصر التي قد تؤثر سلباً على صحة الرياضي ولتألقه بإحرام أسلوب غذائي صحي يؤثر إيجابياً على النشاط الرياضي وتحسين المردود خلال التدريب وكذلك خلال المسابقات الرياضية

الكتلة العضلية لها تأثير مباشر على الاستقلاب الأساسي، ولكي تستطيع عضلاتنا العمل بشكل جيد تحتاج إلى استهلاك السعرات الحرارية زد على ذلك أن التدريب العضلي يؤدي إلى تمزقات على مستوى العضلات ولهذا وجب ترميم العضلات المتضررة. ومن هنا يتضح جلياً أهمية فترة المواجهة بعد التمارين.

خلال فترة التمارين، الرياضي ملزم عليه تغطية حاجته من الموارد الطاقية، لأجل تعويض الطاقة

المستهلكة خلال هذه التمارين. الاحتياجات الغذائية والطاقية تزداد وتتغير على حسب نوع الرياضة المتناولة.

خلال المنافسة، النمط الغذائي المستعمل، يجب أن يوفر الطاقة اللازمة للجسم لكي يطور النشاط الجسمي بطريقة متلائمة. الاحتياجات تتغير على حسب شدة ومدة النشاط.

خلال فترة المواجهة بعد المنافسة، النمط المتبع يساعد الجسم على الانتعاش بعد الجهد العضلي والتخلص من السموم الناتجة خلال هذا التمرين.

العمل الحالي يتضمن أيضاً حالة تطبيقية للتغذية عند الرياضي في أحد الأندية لكرة القدم الاحترافية .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **Fox M.** Bases physiologiques de l'activité physique. Edition Vigot. 1984 ; 203-204, 328,355.
- [2] **Edgar T., Raymond T.** Manuel de l'éducateur sportif « préparation au brevet d'état ». Edition Vigot. 2000 ; 41-46, 152-159, 175-177,255-258,267-270.
- [3] **Garnier A., Rouillon JD.** Biologie appliquée au sport « suivi physiologique, préparation biologique ». Edition Amphora. 1998 ; 68, 110.
- [4] Figure 1 : le destin des aliments. Site web: URL: <http://slideplayer.fr/slide/176390/>
- [5] **Badsevant A., Laville M., Lerebours E.** Traité de nutrition clinique de l'adulte. Edition Flammarion. 2001 ; 49, 52, 91.
- [6] **Hecketsweiler P et B.** Voyage en biochimie (circuits en biochimie humaine, nutritionnelle et métabolique). Edition Elsevier (3ème ed). 2004 ; 5-7, 11,13, 34-59.
- [7] **Brunet-Guedj E., Moyen B., Genety J.** Médecine du sport. Edition Masson ; 6^{ème} édition. 2000 ; 278- 281,286.
- [8] **Doutreux JP.** Physiologie et biologie du sport. Edition Masson. 1998 ; 12-13, 128-129, 136-138.
- [9] Figure 2 : alimentation pour une bonne activité physique. Site web: URL: <http://tpemmh.e-monsite.com/pages/la-dietetique-du-sportif-de-haut-niveau.html>
- [10] **Weineck Y.** Biologie du sport. Edition Vigot, 1996; 130,182, 190, 321, 333, 348-349,590.
- [11] **Jacotot B., Lepareo JCL.** Nutrition et alimentation. Edition Masson. 1998 ; 36,311.
- [12] **Pilardeau P.** Biochimie et nutrition (abrégés) des activités physiques et sportives : le métabolisme énergétique. Edition Masson. 1995 ; 97-100,175-176.

- [13] **Pilardeau. P.** Biochimie et nutrition (abrégés) des activités physiques et sportives : le métabolisme énergétique. Edition Masson, 1995 ; 90-94, 97-100,175-176.
- [14] **Monod H., Flandrois R.** Physiologie du sport. Bases physiologiques des activités physiques (Abrégé). Edition Masson. 1997 ; 25-38,136-137,144-145.
- [15] Figure 3 : métabolisme des glucides. Site web: URL: http://fr.wikibooks.org/wiki/Les_principales_voies_du_métabolisme
- [16] **Astrand PO., Rodahl K.** Précis de physiologie de l'exercice musculaire. Edition Masson, New York, 3ème édition, 1994 ; 507.
- [17] **Meyer P.** Physiologie humaine. Edition Flammarion Medecine-Sciences. 1983 : 45,73, 88, 1407.
- [18] **Vander AJ., Sherman JH., Luciano DS., Brière R.** Physiologie humaine. Edition. Chenelière : 3ème Edition, 1995 ; 577, 587,590
- [19] <http://calamar.univ-ag.fr/deugsv/Documents/Cours/Bioch-Zinsou/Lipidsynt10.pdf>
- [20] Figure 4 : métabolisme des lipides. Site web: URL : http://dc231.4shared.com/doc/xLXvGdXW_26 is Redirect_3Dtrue/preview.html
- [21] **Blanc JP.** Diététique du sportif. Edition Amphora. 1996 ; 16-17, 30.
- [22] http://umvf.univ-nantes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_8/site/html/8.html
- [23] Figure 5 : métabolisme des acides aminés. Site web: URL: http://fr.wikibooks.org/wiki/Les_principales_voies_du_métabolisme
- [24] **Mouhssine N.** Cours de droit pharmaceutique 3^{ème} année pharmacie
- [25] www.uemoa.int
- [26] Tableau 1 : doses journalier maximales des vitamines et minéraux. Site web : URL : <https://www.anses.fr/fr>

- [27] **Bonnefoy M.** université claudes bernard lyon.pdf.
- [28] ANSES. Alimentation humaine. Que sont les compléments alimentaires ? Site web de l'ANSES. Décembre 2010. Paris. <http://www.anses.fr/index.htm>
- [29] <http://www.mjs.gov.ma/fr>
- [30] Société Française de Nutrition du Sport, Comité scientifique. Recommandations sur la prise en charge nutritionnelle des sportifs de haut niveau de performance, dans le cadre réglementaire du suivi médical. Avril 2007.
- [31] **DE HON O., COUMANS B.** The continuing story of nutritional supplements and doping infractions. British Journal of Sports Medicine, 2007
- [32] <http://www.lavieeco.com/news/economie/le-marche-des-complements-alimentaires-decolle-12603.html>
- [33] Figure 6 : Production de l'énergie à partir de la phosphocréatine. Cours de biochimie première année pharmacie.
- [34] **Brikci A.** Physiologie appliquée aux Activités Physiques et Sportives. Edition Abada, 1995 ; 14-18, 100-113, 127-130, 141-147, 268-278.
- [35] www.velo-training-consulting.com/documents/test/test.pdf
- [36] **Armstrong N, Kirby Mc, Manusa M., Welsman J.R.** Aerobic fitness of prepubescent children. Ann. Hum. Biol. 1995; 22: 427-441.
- [37] **Cazorla G., Leger L., Marini JF.** Les épreuves d'effort en physiologie, in : travaux et recherches en EPS : évaluation de la valeur physique. 1984 ; 95-115.
- [38] **Pirnay F.** Mesurer l'endurance. Revue. Educ Phys. 1992; 32: 3-10.
- [39] **Boxter J., Goldstein. H., Helms. P.** The development of aerobic power in young athletes. American. Physiol. Society. 1993 ; 12-15.
- [40] **Weineck Y.** Manuel d'entraînement. Edition Vigot. 1997; 23-30, 163

- [41] **Monod H., Flandrois R.** Physiologie du sport. Bases physiologiques des activités physiques (Abrégé). Edition Masson. 1997 ; 25-38,136-137,144-145.
- [42] Figure 7. : Méthode directe pour la mesure de $\dot{V}O_2$ max. site web : URL : <http://www.affysport.com/un-test-d%E2%80%99effort-de-calcul-de-ma-vo2-max-confirmant-mon-etat-de-forme-actuelle-sur-le-plan--cardiaque-et-physiologique--/a/125.html>
- [43] Figure 8. $\dot{V}O_{2\max}$ et le plateau de $\dot{V}O_2$. Site web: URL : <http://www.irbms.com/la-vo2max-calculez-vos-performances>
- [44] <http://www.irbms.com/docteur-patrick-bacquaert>
- [45] Figure 9 : Les seuils SV1 et SV2. Site web : URL : <http://www.irbms.com/la-vo2max-calculez-vos-performances>
- [46] **Hill AV.** The design of muscles. Brit. Med. Bull. 1956 ; 12,165.
- [47] **Margarita R., Aghemo P., Pinera Limas F.** A simple relation between performance in running and maximal aerobic power. J. Appl. Physiol. 1975 ; 251-252.
- [48] **Hermansen L., Osnes J.** Blood and muscle pH after maximal exercise in man. 1972; 32, 304.
- [49] **Dekkar N., Briki A., Hanifi R.** Techniques d'évaluation physiologique des athlètes. 1990 ; 95-99,200-203, 247-250.
- [50] **Crapet P.** Physiologie et activité physique. Edition Vigot, 1986 ; 14,35-40,84-85, 109-111, 130-135, 204-217.
- [51] **Eklom B.** Applied physiology of soccer. Sports. Med. 1986 ; 50-60.
- [52] **Davis JA., Brewer J., Atkin D.** Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. J. Sports. Scie. 1992 ; 541-7.

- [53] **Mac Douglas JD.** Biochemical adaptations of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. *J. Appl. Physiol.* 1977 ; 43 : 700.
- [54] **Vallier. JM et al.** Détermination des seuils lactiques ou ventilatoires. Position de la société française de médecine de sport. *Revue sciences et sport.* 2000 ; 136, 137..
- [55] **Guénard H.** *Physiologie humaine.* Edition Pradel ;3ème édition. 2001 ; 267.
- [56] **Riché D.** *Guide nutritionnel des sports d'endurance.* Edition Vigot ; 2ème édition. 1998 ; 24-25,77-79.
- [57] **Bigard AX., Sanchez H., Claveyrolas G.** Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001, 33 ;1694-1700.
- [58] **Pilardeau P.** *Biochimie et nutrition des APS, eau et électrolytes, vitamines et oligo-éléments. Effets de l'exercice sur le métabolisme.* Edition Masson. 1995 ; 127,235,274,281-285.
- [59] **Kayser CH.** *Physiologie : historique et fonctions des nutriments.* Edition Flammarion. 1970 ; 832-833.
- [60] Tableau 2 : Exemple d'aliments riches en magnésium. Site web: URL: <http://www.sportmedecine.com/conseils-aux-sportifs.htm>
- [61] **Willmore JH. David L., Costill.** *Physiologie du sport et de l'exercice.* Edition DeBoeck ; 3ème édition. 2006 ; 222.
- [62] **Harichaux P., Medelli J.** *VO2 max et performance, aptitude physique, tests d'effort et de terrain.* Edition Chiron 1992 ; 13.
- [63] Figure 10 : Modification de la ventilation globale en fonction de la consommation de l'O₂. Site web: URL : <http://pst.chez-alice.fr/2c2.htm>
- [64] http://physiobox.com.free.fr/les_seuils_ventilatoires-.htm

- [65] Figure 11 : Méthode de beaver. Site web : URL : <http://physiomax.com.free.fr/les-seuils-ventilatoires-.htm>
- [66] Figure 12 : Méthode de wassermann. Site web : URL : <http://physiomax.com.free.fr/les-seuils-ventilatoires-.htm>
- [67] **Thill E., Thomas R.** Manuel de l'éducateur sportif « préparation au brevet d'état ». Edition Vigot. 2000 ; 41-46, 152-159, 175-177,255-258,267-270.
- [68] **Bigard X., Guezennec Y.** Nutrition du sportif. Edition Masson. 2003; 3-6.
- [69] **King NA., Tremblay A., Blundell JE.** Effects of exercise on appetite control : implications for energy balance. Med. Sci. Sports exerce. 1997 ; 29, 1076-1089.
- [70] **Boisseau N.** Nutrition et bioénergétique du sportif : bases fondamentales. Ed Masson, collection STAPS. 2005 ; 3-4,10-19.
- [71] **Ardle MC., Ktch FI., Katch VL.** Nutrition et performances sportives. Edition De boeck. 2004 ;168-171.
- [72] **Perronet F., Massicote D.** Table of nonprotein respiratory quotient : an update. Can. J. Sport. Sci. 1991 ; 16 : 23-9.
- [73] **Wilmore JH., Costill DL.** Physiologie du sport et de l'exercice physique. Edition Deboeck, 1998 ; 8 ,106.
- [74] **Poortmans JR., Boisseau N.** Biochimie des activités physiques, chap. 2004 ; 220-225.
- [75] **Lacour JR.** Métabolisme lipidique et exercice. Revue du praticien. 2001; 51 : 36-41.
- [76] **Brooks. George. A.** Mammalian fuel utilization during sustained exercise. Comparative Biochemisty and Physiology part B. 1998; 12: 89-107.

- [77] **Romijn JA., Coyle EF., Sidossis LS.** Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol*, 1993; 265, 380-391.
- [78] **Horowitz JF., Klein S.** Lipid metabolism during exercise. *Amer. J. of clinical nutrition*. 2000; 558-563.
- [79] **Vanloon JC., Koopman R, Stegen Jos. HCH., Wagenmakers JM., Keiser Hans. A., Saris Wim. HM.** Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state. *J. Physiol*, 2003; 611-625.
- [80] **Holloszy John. O., Kohrt Wedy. M.Hansen Poly. A.** The regulation of carbohydrate and fat metabolism during and after exercise. *Frontiers in Bioscience* 3. 1998; 1011-1027.
- [81] **Janson E., Kaijser L.** Effects of diet on the utilization of blood-borne and intramuscular substrates during exercise in man. *Acta. Physiol. Scand*. 1982;115, 19-30.
- [82] **Helge J.W., Richter E.A., Kiens B.** Interactions of training and diet on metabolism and endurance during exercise in man. *J. Physiol*. 1996; 492, 293-306.
- [83] **Helge.W, Peter. W., Erick A.** Fat utilization during exercise : adaptation a fat-rich diet increases utilization of plasma fatty acids and very low density lipoprotein-triacylglycerol in humans. *J. Physiol*. 2001; 537(3):1009-1020
- [84] **Achten J., Gleeson M., Jeukendrup AE.** Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med. Sci. Sports. Exerc*. 2002; 34: 92-7.
- [85] **Smith S.R., Jongue L., Zachwieja R., Roy H., Nguyen T., Rood J., Windhauser M., Voaufova J., Brava GA.** Concurrent physical activity increases fat oxidation during the shift to a high-fat diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000 ; 72(1): 131-138.

- [86] **Brooks GA., Mercier J.** Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise, effect of training. *J. Appl. Physiol.* 1994; 22,53-61.
- [87] **Brooks GA.** Importance of crossover concept in exercise metabolism. *Clin. Exp. Physiol.* 1997; 24: 889-95.
- [88] **Brooks GA., Trimmer GK.** Glucose kinetics during high intensity exercise and the crossover concept. *J. Appl. Physiol.* 1996 ; 80: 1073-4.
- [89] **Brandou F., Dumortier M., Garandeau P., Mercier J., Brun JF.** : effects of twomonth rehabilitation program on substrate utilization during exercise in obese adolescents. *Diabetes. Metab.* 2003 ; 29, 20-7.
- [90] **Manetta J., Brun JF., Perez Martin A., Callis A. Préfaut P. Mercier J.** Fuel oxidation during exercise in middle-aged men: Role of training and glucose disposal. *Med Sci Sports Exerc* (sous presse, 2002).
- [91] **Manetta J., Brun JF., Préfaut C., Mercier J.** Substrate oxidation during exercise at moderate and hard intensity in middle-aged and young athletes and sedentary men. *Metabolism.* 2005; 54: 1411-1419.
- [92] **Brooks GA., Mercier J.** Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise, effect of training. *J. Appl. Physiol.* 1994; 76 : 22,53-61.
- [93] **Bouhlef E., Salhi Z., Bouhlef H., Mdella S., Amamou A., Zouali M., Mercier J., Bigard X., Tabka.Zbidi A., Shephard R.J.** Effect of Ramadan on fuel oxidation during exercise in trained male rugby players, *Diabetes Metab.* 2006; 617-624.
- [94] Figure 13: Point de croisement métabolique 'crossover'. Site web: URL : <http://www.courir-plus-loin.com/aliments-et-substrats-energetiques-quelle-energie-pour-courir/>
- [95] **Pattengale P., Holloszy J.** Augmentation of skeletal muscle myoglobin by a program of treadmill running, *Am. J. Physiol.* 1967; 213: 783-785.

- [96] **Henrikson J., Reitman JS.** Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and inactivity. *Acta, Phys, Scand.* 1971; 99: 91-97.
- [97] **Saltin B., Hartley L., Kilbom A, Åstrand A.** Oxygen uptake, heart rate and blood lactate concentrations at sub-maximal and maximal exercise. *Scand, J, Clin. Lab. Invest.* 1969; 24: 323-334.
- [98] **Karlson J., Nordesjö L., Jorfeldt L., Saltin B.** Muscle lactate, ATP and CP levels during exercise after physical training in man. *J. Appl. Physiol.* 1972; 33(2): 199-203.
- [99] **Erikson B., Gollnick P., Saltin B.** Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta. Physiol. Scand.* 1973; 87: 485-497.
- [100] **Sambert C., Armstrong R., Shepherd R., Gollnick P.** Anaerobic enzyme
- [101] **Bernard RG.** Long terme effects of exercise on skeletal muscle : biochemical and histological proprieties. *J. Appl. Physiol.* 1970 ; 28: 752-766.
- [102] **Leroux P.** Football : planification et entraînement pour atteindre la performance. 2006 ; 20-21.
- [103] **Starischka S.** Training planung. Hofmann Verlag. Schorndorf. 1988 ; 7.
- [104] **FAF (DTN et département de la formation des entraîneurs) ; Instructeur : M. Ritchard : FIFA-FAF.** Contenu théorique du stage de perfectionnement pour entraîneurs des jeunes footballeurs (U17). 2005 ; 12.
- [105] **Cayla J-L., la crampe R.** Manuel pratique de l'entraînement « 110 questions-réponses développées). Edition Amphora. 2007 ; 227-229.
- [106] Figure 13: Football. Site web : URL : <http://www.techradar.com/news/>
- [107] Différents efforts en football. Site web : URL : <http://www.entraineur de foot.com/cometti1.html>

- [108] <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/sports-activites-physiques/football/quels-organes-concernes>
- [109] <http://www.citesport.com/fr/athletisme/presentation.html>
- [110] **Ali A, Williams C.** Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. J Sports Sci. 2009 Dec 1;1-10. Bigard X, Guezennec C-Y. Nutrition du sportif. Masson, 2007 Nutrition and Athletic Performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2009; 709-731
- [111] <http://www.nutri-for-me.com/>
- [112] **Maton F.**, médecin du sport :
<http://www.irbms.com/l'alimentation-du-footballeur-gerer-son-match>
- [113] Tableau 4 : Macronutriments chez le footballeur professionnel. Site web : URL : <http://www.afssa.fr/main01.htm>
- [114] Tableau 5: Micronutriments chez le footballeur professionnel. Site web: URL: <http://www.sport-essentiel.com/natation/conseils-nutritionnels-en-natation/page-3.html>
- [115] Figure 15: Athlétisme. Site web: URL : <http://ccbonline.fr/ccb/spip.php?article716>
- [116] <http://acclermontais.fr/entrainement/pr%C3%A9sentation-de-l-athl%C3%A9tisme.html>
- [117] Figure 16 : muscles du bassin. Site web: URL : <http://entrainement-sportif.fr/muscles-bassin.htm>
- [118] confejes.org/ pdf.
- [119] Figure 17 : Ischios jambie. Site web: URL : <http://www.bouge-pour-ta-planete.fr/schema-muscles-ischio-jambiers.html>

- [120] Tableau 6 : Menu type de la journée chez un athlète professionnel. Association canadienne des entraineurs. Site web : URL : www.coach.ca
- [121] Figure 18 : course à pied. Site web: URL: <http://www.lauradephelanmcdermid.com/5+a-venir.html>
- [122] Figure 19 : muscles inférieurs. Site web: URL : <http://www.lauradephelanmcdermid.com/5+a-venir.html>
- [123] Tableau 6 : Menu type de la journée d'un coureur à pied. Site web : URL : <http://www.conseils-courseapied.com/nutrition-sportive/alimentation-coureur-a-pied-semi-marathon.html>
- [124] Figure 20 : Natation. Site web : URL : http://nantes.natation.free.fr/spip.php?page=rubrique&id_rubrique=3
- [125] Figure 21 : Type de nage crawl. Site web: URL: http://www.faire du sport a marseille.com/Les-Differentes-nages-de-competion.html?id_mot=75
- [126] Figure 22 : Type de nage le dos crawlé. Site web: URL : <http://www.summercampsinspain.com/camps-vacances-espagne/natation-nage.html>
- [127] Figure 23 : Type de nage la brasse. Site web: URL: <http://le-sports.e-monsite.com/pages/brasse-natation.html>
- [128] Figure 24 : type de nage le papillon. Site web : URL : <http://tpecombinaison.e-monsite.com/pages/le-nageur-dans-l-eau/1-la-natation.html>
- [129] http://www.guide-piscine.fr/nageur-debutant/apprendre-a-nager/differentes-nages-brasse-crawl-dos-papillon-variantes-natation-piscine-apprendre-410_A
- [130] Option natation, 2013-2014, SIUAPS, Universités Rennes 1 et Rennes 2, adrien.guilloret@univ-rennes2.fr
- [131] **Berthou A.** : Nutritionniste spécialisé en micronutrition et en sport-santé ;

Anthony Berthou est conférencier auprès des professionnels de santé et professionnels du sport, chargé de cours universitaire (Lausanne, Evry, Rennes, Angers), consultant en nutrition et sport-santé. Ancien membre de l'équipe de France junior de triathlon, il intervient depuis plus de 10 ans auprès de nombreuses équipes de France et Olympique. <http://www.sante-et-nutrition.com/programme-alimentaire-pour-un-marathon/>

[132] **Menuet JJ.** Natation : la nutrition du nageur, alimentation en natation, le suivi médical en natation, le mental du nageur. 2014.

<http://www.medecinedusportconseils.com/2014/08/24/natation-la-nutrition-du-nageur-le-suivi-medical-en-natation/>

[133] **Paquet D.,** Diététicien-nutritionniste sportif, Licencié en Sciences Biomédicales, Chargé de projets en nutrition.

[134] Tableau 13 : aliments conseillé et déconseillé chez le nageur. Damien PAUQUET ; Diététicien-nutritionniste sportif, Licencié en Sciences Biomédicales Chargé de projets en nutrition.

[135] Figure 25 : cyclisme. Site web: URL : <http://www.miroirducyclisme.ca/2012/05/team-ekoicom-gaspesien-to-philly.html>

[136] www.veloclubsaintjulien.fr/ pdf

[137] **Peltier S.,** docteur en sciences ; faculté des sciences du sport Grenoble <http://www.sport-essentiel.com/natation/conseils-nutritionnels-en-natation/page-3.html>

[138] Decathlon. Préparer une course cycliste : conseils nutrition et hydratation. 2013.

<http://www.decathlon.be/community/fr/conseils-coaching/cyclisme/preparer-une-course-cycliste-conseils-nutrition-et-hydratation/>

[139] Figure 26: Tennis. Site web: URL: <http://www.rauriserhof.at/en/tennis/>

[140] Optimum Nutrition (ON). Les besoins nutritionnels du tennis. 2011.

[141] **Pradet M.** Votretennis.org. L'endurance au tennis. 2014.

- [142] RegimesMaigrir.com. Tennis : quelle nutrition et hydratation pour les joueurs? 2013.
- [143] Figure 27: Boxe. Site web: URL: <http://fr.fotolia.com/id/18390258>
- [144] <http://coachssportifs15.skyrock.com/3078304961-Se-muscler-pour-les-sports-de-combat-de-percussion-boxe-thai.html>
- [145] **Menuet JJ.** médecin fédéral Picardie / pdf
- [146] Figure 28 : Golf. Site web : URL : <http://dailyindependentnig.com/2014/12/newly-cool-sport-cycling-new-golf/>
- [147] www.per4m.ca/ pdf
- [148] **Emmanuel S.** www.golfbiomechanics.be
- [149] Figure 29: Handball. Site web: URL: <http://lathlete.fr/category/handball/>
- [150] **Pilardeau P.** Document validé par la Commission Médicale Nationale de Hand Ball.
- [151] Figure 30: Basketball. Site web: URL: <http://hardcorehoops.net/>
- [152] Figure 31: rugby. Site web: URL: <http://www.ambafrance-de.org/Tournoi-international-de-Rugby-a>
- [153] **Maton F.** Alimentation du rugbyman. Institut de recherche du bien-être de la médecine et du sport santé (IRBMS). 2011.



Serment



de Galien

Je jure en présence des maîtres de cette faculté :

- D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*
- D'exercer ma profession avec conscience, dans l'intérêt de la santé public, sans jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.*
- D'être fidèle dans l'exercice de la pharmacie à la législation en vigueur, aux règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession, de ne jamais consentir à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.*
- Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses, que je sois méprisé de mes confrères si je manquais à mes engagements.*



جامعة محمد الخامس
كلية الطب والصيدلة
- الرباط -

قسم الصيدلي



بسم الله الرحمن الرحيم

أقسم بالله العظيم

- أن أراقب الله في مهنتي
- أن أبجل أساتذتي الذين تعلمت على أيديهم مبادئ مهنتي وأعترف لهم بالجميل وأبقى دوما وفيما لتعاليمهم.
- أن أزاول مهنتي بوازع من ضميري لما فيه صالح الصحة العمومية، وأن لا أقصر أبدا في مسؤوليتي وواجباتي تجاه المريض وكرامته الإنسانية.
- أن ألتزم أثناء ممارستي للصيدلة بالقوانين المعمول بها وبأدب السلوك والشرف، وكذا بالاستقامة والترفع.
- أن لا أفشي الأسرار التي قد تعهد إلي أو التي قد أطلع عليها أثناء القيام بمهامي، وأن لا أوافق على استعمال معلوماتي لإفساد الأخلاق أو تشجيع الأعمال الإجرامية.
- لأحظى بتقدير الناس إن أنا تقيدت بعهودي، أو أحتقر من طرف زملائي إن أنا لم أف بالتزاماتي.

التغذية عند الرياضي

مظاهر نظرية و حالة تطبيقية عند نادي كرة القدم

أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم:

من طرف

الآنسة: وصال العلوي

المزودة في : 20 يونيو 1988 بسيدي افني

لذيل شهادة الدكتوراه في الصيدلة

الكلمات الأساسية: التغذية الرياضية، الرياضي، قبل المنافسة، خلال لمنافسة، بعد المنافسة، فترة المواجهة بعد المنافسة.

تحت إشراف اللجنة المكونة من الأساتذة

رئيس	السيد : ميمون زهدي
مشرف	أستاذ في علم الأحياء الدقيقة السيد : عبد القادر لعثريس
أعضاء	أستاذ في الصيدلة الغالينية السيدة : سعيدة طلال
عضو ملحق	أستاذة في البيوكيمياء السيدة : سكيمة الحمزاوي
	أستاذة في علم الأحياء الدقيقة السيد : عبد القادر بلمكي
	أستاذ في علم الدم السيد : أمين دغمي
	طبيب مختص في علم وظائف الأعضاء وعلم الأمراض الرياضي