



**HAL**  
open science

**Contribution à l'analyse de la relation entre la filière  
aérobie et les performances sportives des skieurs alpins  
en filière d'accès au haut-niveau de 1994 à nos jours :  
détermination de facteurs aérobies prédictifs de la  
performance**

Flavien Zitoun-Florentin

► **To cite this version:**

Flavien Zitoun-Florentin. Contribution à l'analyse de la relation entre la filière aérobie et les performances sportives des skieurs alpins en filière d'accès au haut-niveau de 1994 à nos jours : détermination de facteurs aérobies prédictifs de la performance. Médecine humaine et pathologie. 2011. dumas-00619300

**HAL Id: dumas-00619300**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00619300>**

Submitted on 17 May 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année : 2011

N : \_\_\_\_\_

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER  
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE**

**CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE LA RELATION ENTRE  
LA FILIERE AEROBIE ET LES PERFORMANCES SPORTIVES  
DES SKIEURS ALPINS EN FILIERE D'ACCES AU HAUT-NIVEAU  
DE 1994 A NOS JOURS.**

**Détermination de facteurs aérobies prédictifs de la performance.**

THESE  
PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE  
DIPLÔME D'ÉTAT

**Flavien ZITOUN-FLORENTIN**

Né le 26 Août 1979 à Tournon sur Rhône

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT  
À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE\*

le 14 Avril 2011

Devant le jury composé de :

Président du Jury :

Madame le Professeur Martine DUCLOS

Membres :

Monsieur le Professeur Patrick LEVY

Monsieur le Professeur Dominique SARAGAGLIA

Madame le Docteur Marie-Philippe ROUSSEAUX-BLANCHI, co-directeur de thèse

Monsieur le Docteur Nicolas COULMY, co-directeur de thèse

---

\* La Faculté de Médecine de Grenoble n'entend donner approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

## **REMERCIEMENTS**

A Madame le Professeur Martine DUCLOS

Pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider mon jury de thèse

A Monsieur le Professeur Patrick LEVY

Pour l'honneur que vous nous faites d'avoir accepté de juger mon travail

A Monsieur le Professeur Dominique SARAGAGLIA

Pour l'honneur que vous nous faites d'avoir accepté de siéger à ce jury de thèse

A Madame le Docteur Marie-Philippe ROUSSEAUX-BLANCHI

Merci d'avoir accepté d'encadrer ce travail. La liste des remerciements pourrait être longue et je ne pourrais être exhaustif. Tout d'abord merci à la chance que tu m'as donné en m'accueillant en stage dans ton service. Merci de m'avoir permis de participer à tes côtés et à ceux du Docteur Robert GOTTELAND à l'encadrement médical des championnats du monde de ski alpin. Merci encore pour ton aide et ton soutien dans la réalisation de ce travail, merci aussi pour la confiance que tu m'accordes. Ton investissement, sans ménagement, au service des sportifs est plus que considérable et louable.

A Monsieur le Docteur Nicolas COULMY

Merci d'avoir accepté d'encadrer ce travail, et te suis reconnaissant de l'enthousiasme et la très grande patience dont tu as fait preuve.

A Monsieur le Professeur Jean-Pierre Hanno NEIDHARDT

Pour l'extraordinaire qualité de votre enseignement.

A Monsieur le Dr Pierre CHAMBAT

Pour vos conseils avisés et pour la confiance que vous m'avez accordée.

A tous mes nombreux maitres de stages,

Merci pour tout ce que j'ai pu apprendre à vos côtés.

A Jean-Christophe NEIDHARDT et Olivier GUEDEL

Pour tous ces bons moments passés ensemble au musée d'anatomie TESTUT-LATARJET ou lors de nos sorties et de nos missions aux pays des VANS, terre natale de Louis-Léopold OLLIER, ce « grand » personnage !

A Frédérique CHAPPIS, à Frédérique FARNIER BLOCKELET, à Angélique SAUNIER et à Marie EMORINE (la petite dernière du CMSHN), à Claire BETEND, à Sylvana MONACO  
Grand merci à toutes pour votre disponibilité, votre écoute, votre bonne humeur et le soutien dont vous avez fait preuve dans les moments difficiles.

A Céline DECHAVANNE,

Que dire que tu ne saches déjà ? Encore une fois mille mercis pour tout. ☺☺☺

A tous mes camarades et plus particulièrement ceux rencontrés grâce au « *smoking vampire* » ! Pour tous ces moments de franche rigolade, de détente, de plaisir... passés ensembles. Pourvu que cela dure !

A ma mère,  
Preuve vivante que l'on peut toujours se relever. Tu as fait preuve de beaucoup de volonté et de persévérance pour revenir d'aussi loin.

A mon père,  
Pour ta disponibilité et tes conseils avisés. J'admire ton courage, notamment pour avoir arpenté les chemins de St Jacques de Compostelle, et ton dévouement au service de celle que tu aimes « pour le meilleur et pour le pire ».

A mes frères et leurs compagnes  
Merci pour votre présence, votre écoute, votre disponibilité, votre solidarité malgré les distances qui nous séparent. Merci pour tous ces bons moments passés et à venir.

A mes jeunes neveux et nièces, et plus particulièrement à ma filleule Océane :  
Votre énergie et votre joie de vivre sont une source vivifiante de bonheur.

A Grand-Mère,  
A Marie-Christine, ma marraine,  
A Christian, mon parrain,  
A Françoise et Danièle, mes tantes,  
A Dominique, mon oncle,  
A Flavie, Anne-Camille et Nathalie, mes Cousines,  
A Emilien, Antoine, Julien et Pierre, mes cousins  
A Roger, Jean-Marie et leurs familles  
A toute ma famille  
Merci pour vos marques d'affection, pour tout le bonheur et la joie que vous m'avez procurés.

A « Pépé », à « Mémé », à « Bon Papa », à « Bonne Maman » qui nous ont quittés,  
Pour tout l'amour que vous m'avez apporté. Vous êtes et serez éternellement présents dans mon cœur.

*Ab imo pectore*

**PU-PH au 01/09/2010**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>ALBALADEJO</b>	<b>Pierre</b>	<b>ANESTHESIE - REANIMATIONS</b>
<b>ARVIEUX-BARTHELEMY</b>	<b>Catherine</b>	<b>CLINIQUE DE CHIRURGIE ET DE L'URGENCE</b>
<b>BACONNIER</b>	<b>Pierre</b>	<b>BIostatistiques ET Informatique MEDICALE SANTÉ PUBLIQUE</b>
<b>BAGUET</b>	<b>Jean-Philippe</b>	<b>CARDIOLOGIE / HYPERTENSION ARTERIELLE</b>
<b>BALOSSO</b>	<b>Jacques</b>	<b>RADIODIAGNOSTIC CANCEROLOGIE</b>
<b>BARRET</b>	<b>Luc</b>	<b>MEDECINE LEGALE</b>
<b>BAUDAIN</b>	<b>Philippe</b>	<b>RADIOLOGIE ET IMAGERIE MEDICALE</b>
<b>BEANI</b>	<b>Jean-Claude</b>	<b>DERMATOLOGIE-VENERELOGIE</b>
<b>BENHAMOU</b>	<b>Pierre Yves</b>	<b>ENDOCRINO DIABETO</b>
<b>BERGER</b>	<b>François</b>	<b>CANCEROLOGIE</b>
<b>BLIN</b>	<b>Dominique</b>	<b>CHIRURGIE CARDIAQUE</b>
<b>BOLLA</b>	<b>Michel</b>	<b>CANCEROLOGIE</b>
<b>BONAZ</b>	<b>Bruno</b>	<b>HEPATO-GASTRO- ENTEROLOGIE</b>
<b>BOSSON</b>	<b>Jean-Luc</b>	<b>SANTÉ PUBLIQUE</b>
<b>BOUGEROL</b>	<b>Thierry</b>	<b>PSYCHIATRIE</b>
<b>BRAMBILLA</b>	<b>Elisabeth</b>	<b>ANATOMIE &amp; CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES</b>
<b>BRAMBILLA</b>	<b>Christian</b>	<b>PNEUMOLOGIE</b>
<b>BRICHON</b>	<b>Pierre-Yves</b>	<b>CHIRURGIE VASCULAIRE ET THORACIQUE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>BRIX</b>	<b>Muriel</b>	<b>CHIR. MAXILLO-FACIALE</b>
<b>CAHN</b>	<b>Jean-Yves</b>	<b>CANCEROLOGIE</b>
<b>CARPENTIER</b>	<b>Patrick</b>	<b>MEDECINE VASCULAIRE</b>
<b>CARPENTIER</b>	<b>Françoise</b>	<b>SAMU</b>
<b>CESBRON</b>	<b>Jean-Yves</b>	<b>IMMUNOLOGIE</b>
<b>CHABARDES</b>	<b>Stephan</b>	<b>NEUROCHIRURGIE</b>
<b>CHABRE</b>	<b>Olivier</b>	<b>ENDOCRINOLOGIE</b>
<b>CHAFFANJON</b>	<b>Philippe</b>	<b>CHIRURGIE THORACIQUE, VASCULAIRE ET ENDOCRINIENNE</b>
<b>CHAVANON</b>	<b>Olivier</b>	<b>CHIRURGIE CARDIAQUE</b>
<b>CHIQUET</b>	<b>Christophe</b>	<b>OPHTALMOLOGIE</b>
<b>CHIROSEL</b>	<b>Jean-Paul</b>	<b>ANATOMIE</b>
<b>CINQUIN</b>	<b>Philippe</b>	<b>SANTE PUBLIQUE</b>
<b>COHEN</b>	<b>Olivier</b>	<b>DELEGATION – HC FORUM (création entreprise)</b>
<b>COUTURIER</b>	<b>Pascal</b>	<b>GERIATRIE</b>
<b>CRACOWSKI</b>	<b>Jean-Luc</b>	<b>LABORATOIRE DE PHARMACOLOGIE</b>
<b>DE GAUDEMARI</b>	<b>Régis</b>	<b>MEDECINE &amp; SANTE DU TRAVAIL</b>
<b>DEBILLON</b>	<b>Thierry</b>	<b>PEDIATRIE</b>
<b>DEMATTEIS</b>	<b>Maurice</b>	<b>CLINIQUE DE MEDECINE LEGALE ET D'ADDICTOLOGIE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>DEMONGEOT</b>	<b>Jacques</b>	<b>SANTE PUBLIQUE</b>
<b>DESCOTES</b>	<b>Jean-Luc</b>	<b>CLINIQUE UROLOGIE POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>ESTEVE</b>	<b>François</b>	<b>Dir. Equipe 6 U836 - ID17 /ESRF Grenoble Institut des Neurosciences</b>
<b>FAGRET</b>	<b>Daniel</b>	<b>CLINIQUE DE MEDECINE NUCLEAIRE POLE 13 IMAGERIE</b>
<b>FAUCHERON</b>	<b>Jean-Luc</b>	<b>CLINIQUE DE CHIRURGIE DIGESTIVE ET DE L'URGENCE POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>FAVROT</b>	<b>Marie Christine</b>	<b>DPT DE BIOLOGIE INTEGREE / CANCEROLOGIE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>FERRETTI</b>	<b>Gilbert</b>	<b>CLINIQUE RADIOLOGIE &amp; IMAGERIE MEDICALE POLE 13 IMAGERIE</b>
<b>FEUERSTEIN</b>	<b>Claude</b>	<b>GIN</b>
<b>FONTAINE</b>	<b>Eric</b>	<b>CLINIQUE NUTRITION ARTIFICIELLE POLE 7 MED. AIGÛE &amp; COMMUNAUTAIRE</b>
<b>FRANCOIS</b>	<b>Patrice</b>	<b>DPT DE VEILLE SANITAIRE POLE 17 SANTE PUBLIQUE</b>
<b>GARNIER</b>	<b>Philippe</b>	
<b>GAUDIN</b>	<b>Philippe</b>	<b>CLINIQUE DE RHUMATOLOGIE POLE 11 APPAREIL LOCOMOTEUR GERIATRIE CHISSE</b>
<b>GAY</b>	<b>Emmanuel</b>	<b>CLINIQUE NEUROCHIRURGIE POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>GRIFFET</b>	<b>Jacques</b>	<b>CHIRURGIE INFANTILE</b>
<b>HALIMI</b>	<b>Serge</b>	<b>CLINIQUE ENDOCRINO-DIABETO-NUTRITION POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>HOMMEL</b>	<b>Marc</b>	<b>CLINIQUE DE NEUROLOGIE POLE 10 PSYCHIATRIE &amp; NEUROLOGIE</b>
<b>JOUK</b>	<b>Pierre-Simon</b>	<b>DEPARTEMENT GENETIQUE ET PROCREATION POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>JUVIN</b>	<b>Robert</b>	<b>CLINIQUE DE RHUMATOLOGIE POLE 11 APPAREIL LOCOMOTEUR &amp; GERIATRIE CHISSE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>KAHANE</b>	<b>Philippe</b>	<b>CLINIQUE DE NEUROLOGIE POLE 10 PSYCHIATRIE &amp; NEUROLOGIE</b>
<b>KRACK</b>	<b>Paul</b>	<b>CLINIQUE DE NEUROLOGIE POLE 10 PSYCHIATRIE &amp; NEUROLOGIE</b>
<b>KRAINIK</b>	<b>Alexandre</b>	<b>CLINIQUE NEURORADIOLOGIE &amp; IRM POLE 13 IMAGERIE</b>
<b>LANTUEJOL</b>	<b>Sylvie</b>	<b>DEPARTEMENT D'ANATOMIE ET CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES PÔLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>LE BAS</b>	<b>Jean-François</b>	<b>CLINIQUE NEURORADIOLOGIE &amp; IRM POLE 13 IMAGERIE</b>
<b>LEBEAU</b>	<b>Jacques</b>	<b>CLINIQUE CHIR. MAXILLO-FACIALE POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>LECCIA</b>	<b>Marie-Thérèse</b>	<b>CLINIQUE DERMATOLOGIE-VENERELOGIE- PHOTOBIOLOGIE ET ALLERGOLOGIE POLE 8 PLURIDISCIPLINAIRE DE MEDECINE</b>
<b>LEROUX</b>	<b>Dominique</b>	<b>DEPARTEMENT BIOLOGIE ET PATHOLOGIE DE LA CELLULE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>LEROY</b>	<b>Vincent</b>	<b>CLINIQUE D'HEPATO GASTRO ENTEROLOGIE POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>LETOUBLON</b>	<b>Christian</b>	<b>CLINIQUE CHIRURGIE DIGESTIVE &amp; URGENCE POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>LEVERVE</b>	<b>Xavier</b>	<b>LABORATOIRE THERAPEUTIQUE UFR BIOLOGIE BAT 72 UJF BP 53X</b>
<b>LEVY</b>	<b>Patrick</b>	<b>PHYSIOLOGIE POLE 12 REEDUCATION &amp; PHYSIOLOGIE</b>
<b>LUNARDI</b>	<b>Joël</b>	<b>BIOCHIMIE ADN- POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>MACHECOURT</b>	<b>Jacques</b>	<b>CLINIQUE DE CARDIOLOGIE POLE 4 CARDIO VASC. &amp; THORACIQUE</b>
<b>MAGNE</b>	<b>Jean-Luc</b>	<b>CLINIQUE CHIRURGIE VASCULAIRE &amp; THORACIQUE POLE 4 CARDIO VASC. &amp; THORACIQUE</b>
<b>MAITRE</b>	<b>Anne</b>	<b>MEDECINE DU TRAVAIL EPSP/DPT DE BIOLOGIE INTEGREE - POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>MASSOT</b>	<b>Christian</b>	<b>CLINIQUE MEDECINE INTERNE POLE 8 PLURIDISCIPLINAIRE DE MEDECINE</b>
<b>MAURIN</b>	<b>Max</b>	<b>DEPARTEMENT DES AGENTS INFECTIEUX / BACTERIOLOGIE POLE 14 BIOLOGIE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>MERLOZ</b>	<b>Philippe</b>	<b>CLINIQUE CHIR. ORTHOPEDIE TRAUMATOLOGIE POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>MORAND</b>	<b>Patrice</b>	<b>DPT DES AGENTS INFECTIEUX / VIROLOGIE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>MORO-SIBILOT</b>	<b>Denis</b>	<b>PNEUMOLOGIE PHTISIOLOGIE BUREAU HD11</b>
<b>MOUSSEAU</b>	<b>Mireille</b>	<b>ONCOLOGIE MEDICALE POLE 5 CANCEROLOGIE</b>
<b>MOUTET</b>	<b>François</b>	<b>CHIR. PLASTIQUE ET RECONSTRUCTRICE ET ESTHETIQUE</b>
<b>PASSAGIA</b>	<b>Jean-Guy</b>	<b>ANATOMIE POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>PAYEN DE LA GARANDERIE</b>	<b>Jean-François</b>	<b>CLINIQUE REANIMATION POLE 2 ANESTHESIE-REANIMATION</b>
<b>PELLOUX</b>	<b>Hervé</b>	<b>DEPARTEMENT DES AGENTS INFECTIEUX PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>PEPIN</b>	<b>Jean-Louis</b>	<b>CLINIQUE PHYSIOLOGIE SOMMEIL &amp; EXERCICE - POLE 12 REEDUCATION &amp; PHYSIOLOGIE</b>
<b>PERENNOU</b>	<b>Dominique</b>	<b>CLINIQUE MPR POLE 12 REEDUCATION &amp; PHYSIOLOGIE</b>
<b>PERNOD</b>	<b>Gilles</b>	<b>CLINIQUE DE MEDECINE VASCULAIRE- POLE PLURIDISCIPLINAIRE DE MEDECINE - POLE 8</b>
<b>PIOLAT</b>	<b>Christian</b>	<b>CLINIQUE DE CHIRURGIE INFANTILE</b>
<b>PISON</b>	<b>Christophe</b>	<b>CLINIQUE PNEUMOLOGIE POLE 7 MEDECINE AIGÛE &amp; COMMUNAUTAIRE</b>
<b>PLANTAZ</b>	<b>Dominique</b>	<b>CLINIQUE MEDICALE PEDIATRIQUE POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>POLACK</b>	<b>Benoît</b>	<b>DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PATHOLOGIE DE LA CELLULE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>POLLAK</b>	<b>Pierre</b>	<b>NEUROLOGIE POLE 10 PSYCHIATRIE &amp; NEUROLOGIE</b>
<b>PONS</b>	<b>Jean-Claude</b>	<b>CLINIQUE UNIVERSITAIRE GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>RAMBEAUD</b>	<b>J Jacques</b>	<b>CLINIQUE UROLOGIE POLE 6 DIGIDUNE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>REYT</b>	<b>Emile</b>	<b>CLINIQUE O.R.L. POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>RIGHINI</b>	<b>Christian</b>	<b>CLINIQUE O.R.L. POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>ROMANET</b>	<b>J. Paul</b>	<b>CLINIQUE OPHTALMOLOGIQUE POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>SARAGAGLIA</b>	<b>Dominique</b>	<b>CLINIQUE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIE POLE 11 APPAREIL LOCOMOTEUR &amp; GERIATRIE CHISSE</b>
<b>SCHAAL</b>	<b>Jean-Patrick</b>	<b>CLINIQUE UNIVERSITAIRE GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>SCHMERBER</b>	<b>Sébastien</b>	<b>CLINIQUE O.R.L. POLE 3 TETE &amp; COU &amp; CHIR. REPARATRICE</b>
<b>SEIGNEURIN</b>	<b>Daniel</b>	<b>DPT ANATOMIE &amp; CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>SELE</b>	<b>Bernard</b>	<b>DPT GENETIQUE &amp; PROCREATION POLE 9 COUPLE/ENFANT</b>
<b>SESSA</b>	<b>Carmine</b>	<b>CHIRURGIE THORACIQUE VASCULAIRE POLE 4 CARDIO VASC. &amp; THORACIQUE</b>
<b>STAHL</b>	<b>Jean-Paul</b>	<b>CLINIQUE INFECTIOLOGIE POLE 7 MEDECINE AIGÛE &amp; COMMUNAUTAIRE</b>
<b>TIMSIT</b>	<b>Jean-François</b>	<b>CLINIQUE REANIMATION MEDICALE POLE 7 MED. AIGUE &amp; COMMUNAUTAIRE</b>
<b>TONETTI</b>	<b>Jérôme</b>	<b>CLINIQUE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIE POLE 11 APPAREIL LOCOMOTEUR &amp; GERIATRIE CHISSE</b>
<b>TOUSSAINT</b>	<b>Bertrand</b>	<b>BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLECULAIRE POLE 14 BIOLOGIE</b>
<b>VANZETTO</b>	<b>Gérald</b>	<b>CLINIQUE DE CARDIOLOGIE POLE 4 CARDIO VASC. &amp; THORACIQUE</b>
<b>VUILLEZ</b>	<b>Jean-Philippe</b>	<b>BIOPHYSIQUE ET TRAITEMENT DE L'IMAGE</b>
<b>ZAOUI</b>	<b>Philippe</b>	<b>CLINIQUE NEPHROLOGIE POLE 6 DIGIDUNE</b>
<b>ZARSKI</b>	<b>Jean-Pierre</b>	<b>CLINIQUE HEPATO-GASTRO-ENTEROLOGIE POLE 6 DIGIDUNE</b>

**PU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>DISCIPLINE</b>
<b>BLIN</b>	<b>Dominique</b>	<b>(surnombre)</b>
<b>BOLLA</b>	<b>Michel</b>	<b>surnombre du 13/6/2009 au 31/08/2012</b>
<b>GARNIER</b>	<b>Philippe</b>	<b>(surnombre)</b>
<b>MOREL</b>	<b>Françoise</b>	<b>(surnombre)</b>
<b>SEIGNEURIN</b>	<b>Jean-Marie</b>	<b>surnombre du 11/02/2009 au 31/12/2012</b>

**MCU-PH au 01/09/2010**

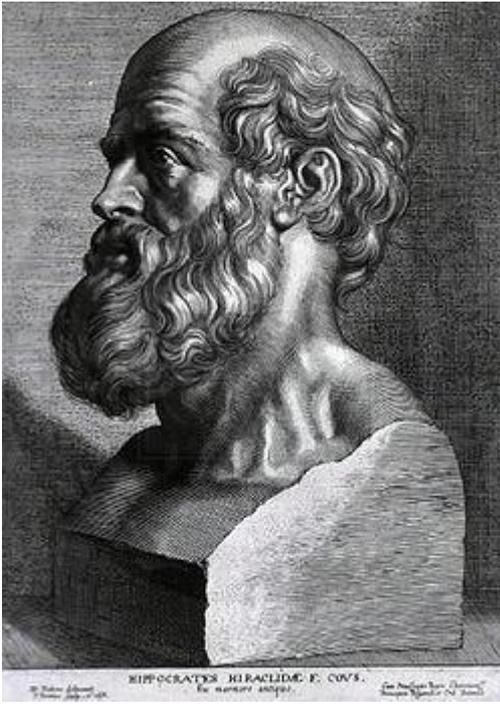
<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>ADRESSE 1</b>
<b>BOTTARI</b>	<b>Serge</b>	Laboratoire de bioénergétique INSERM U884
<b>BOUTONNAT</b>	<b>Jean</b>	Département de Biologie et Pathologie de la Cellule - Pôle 14: Biologie
<b>BRENIER-PINCHART</b>	<b>M. Pierre</b>	Département des agents infectieux Parasitologie Mycologie Pôle 14: Biologie
<b>BRICAULT</b>	<b>Ivan</b>	Clinique de radiologie et imagerie médicale Pôle 13: Imagerie
<b>BRIOT</b>	<b>Raphaël</b>	Pôle Urgence SAMU
<b>CALLANAN-WILSON</b>	<b>Mary</b>	Génétique
<b>CROIZE</b>	<b>Jacques</b>	Département des agents infectieux Microbiovigilance Pôle 14: Biologie
<b>DERANSART</b>	<b>Colin</b>	GIN Equipe 9
<b>DETANTE</b>	<b>Olivier</b>	Clinique de Neurologie
<b>DUMESTRE-PERARD</b>	<b>Chantal</b>	Immunologie
<b>EYSSERIC</b>	<b>Hélène</b>	Clinique de Médecine Légale Pôle 8: Pôle Pluridisciplinaire de Médecine
<b>FAURE</b>	<b>Anne-Karen</b>	Biologie de la procréation / CECOS Département génétique et procréation Pôle 9: Couple/enfant
<b>FAURE</b>	<b>Julien</b>	Département génétique et procréation Pôle 9: Couple/enfant
<b>GARBAN</b>	<b>Frédéric</b>	Unité clinique thérapie cellulaire Pôle 5 : Cancérologie
<b>GAVAZZI</b>	<b>Gaëtan</b>	Clinique médecine interne gériatrique Pôle 8 : Pôle pluridisciplinaire de Médecine
<b>GILLOIS</b>	<b>Pierre</b>	Laboratoire TIMC
<b>GRAND</b>	<b>Sylvie</b>	Clinique de Radiologie et Imagerie Médicale Pôle 13 : Imagerie

**MCU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>ADRESSE 1</b>
<b>HENNEBICQ</b>	<b>Sylviane</b>	<b>Biologie de la procréation / CECOS Département génétique et procréation Pôle 9: Couple/enfant</b>
<b>HOFFMANN</b>	<b>Pascale</b>	<b>Clinique Universitaire Gynécologie Obstétrique Pôle 9: Couple/enfant</b>
<b>JACQUOT</b>	<b>Claude</b>	<b>Clinique d'Anesthésie Pôle 2 : Anesthésie - Réanimations</b>
<b>LABARERE</b>	<b>José</b>	<b>Département de veille sanitaire Pôle 17 : Santé Publique</b>
<b>LAPORTE</b>	<b>François</b>	<b>Département de biologie intégrée Pôle 14: Biologie</b>
<b>LARDY</b>	<b>Bernard</b>	<b>Département de biologie et pathologie de la cellule - Laboratoire d'Enzymologie Pôle 14: Biologie</b>
<b>LARRAT</b>	<b>Sylvie</b>	<b>Département des agents infectieux Pôle 14: Biologie</b>
<b>LAUNOIS-ROLLINAT</b>	<b>Sandrine</b>	<b>Clinique de Physiologie sommeil et exercice Lab. explor. fonct. cardio-respiratoires Pôle 12 : Rééducation et physiologie</b>
<b>MALLARET</b>	<b>Marie-Reine</b>	<b>Unité d'Hygiène Hospitalière Pavillon E</b>
<b>MAUBON</b>	<b>Danièle</b>	<b>Département des agents infectieux Parasitologie- Mycologie</b>
<b>MOREAU-GAUDRY</b>	<b>Alexandre</b>	<b>Département d'innovations technologiques Pôle 17 Santé Publique</b>
<b>MOUCHET</b>	<b>Patrick</b>	<b>Clinique de Physiologie sommeil et exercice Lab. explor. fonct. cardio-respiratoires Pôle 12 : Rééducation et physiologie</b>
<b>PACLET</b>	<b>Marie- Hélène</b>	<b>Département de biologie et pathologie de la cellule - Laboratoire d'Enzymologie Pôle 14: Biologie</b>
<b>PALOMBI</b>	<b>Olivier</b>	<b>Clinique de neurochirurgie Pôle 3 : Tête et cou et chirurgie réparatrice</b>
<b>PASQUIER</b>	<b>Dominique</b>	<b>Département d'anatomie et cytologie pathologiques Pôle 14 : Biologie</b>
<b>PELLETIER</b>	<b>Laurent</b>	<b>Centre d'innovation biologique</b>
<b>PAYSANT</b>	<b>François</b>	<b>Clinique de Médecine Légale Pôle 8: Pôle Pluridisciplinaire de Médecine</b>

**MCU-PH au 01/09/2010 (suite)**

<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	<b>ADRESSE 1</b>
<b>RAY</b>	<b>Pierre</b>	<b>Biologie de la reproduction Département génétique et procréation Pôle 9: Couple/enfant</b>
<b>RENVERSEZ</b>	<b>J. Charles</b>	<b>Département de biologie intégrée Biochimie et Biologie Moléculaire Pôle 14 : Biologie</b>
<b>RIALLE</b>	<b>Vincent</b>	<b>Laboratoire TIMC</b>
<b>SATRE</b>	<b>Véronique</b>	<b>Génétique chromosomique Département génétique et procréation Pôle 9: Couple/enfant</b>
<b>STANKE-LABESQUE</b>	<b>Françoise</b>	<b>Laboratoire de Pharmacologie</b>
<b>STASIA</b>	<b>Marie-Josée</b>	<b>Département de biologie et pathologie de la cellule Pôle 14: Biologie</b>
<b>TAMISIER</b>	<b>Renaud</b>	<b>Clinique de Physiologie sommeil et exercice Lab. explor. fonct. cardio-respiratoires Pôle 12 : Rééducation et physiologie</b>
<b>WEIL</b>	<b>Georges</b>	<b>Biostatistiques et Informatique Médicale Pôle 17 Santé Publique</b>



# *SERMENT*

## *D'HIPPOCRATE*

*En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciplines et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,*

*Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerais mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.*

*Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.*

*Je garderai le respect absolu de la vie humaine.*

*Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.*

## **SOMMAIRE :**

Liste des Tableaux.....	18
Liste des Figures .....	19
Liste des Abréviations .....	22
1. Introduction .....	24
1.1. Le sport.....	24
1.1.1. Généralités sur le ski alpin .....	25
1.1.2. Le slalom.....	26
1.1.3. Le Géant .....	29
1.1.4. Le Super-Géant.....	30
1.1.5. La Descente .....	31
1.1.6. Le Super Combiné .....	31
1.2. Le ski et ses exigences .....	32
1.2.1. Les forces et contraintes physiques.....	32
1.2.2. Le contrôle moteur et agilité .....	32
1.2.3. Souplesse.....	32
1.2.4. Les conditions environnementales d'entraînement.....	33
1.3. Notion physiologique appliquée au ski.....	33
1.3.1. Caractéristiques musculaires .....	33
1.3.2. Aspects métaboliques ski alpin .....	36
1.3.3. Facteurs affectant le métabolisme .....	45
1.4. Performance .....	47
1.4.1. Méthodes d'évaluation.....	47
1.4.2. Performance et facteurs l'influençant dans la littérature .....	47
1.5. L'entraînement des athlètes.....	50
1.5.1. Préparation des athlètes en équipe de France .....	50
1.5.2. La saison de Coupe du Monde.....	50
1.6. Objectifs et justifications .....	53
2. Matériels et méthodes .....	54
2.1. Population .....	54
2.1.1. Critères d'inclusion .....	54
2.1.2. Critère d'exclusion.....	54
2.1.3. Sous-population.....	54
2.2. Type d'étude .....	55
2.3. Matériels utilisés lors des épreuves d'effort.....	55
2.3.1. Mesure des échanges gazeux.....	55
2.3.2. Enregistrement continue de l'ECG 12 dérivations.....	55
2.3.3. Cardio-fréquencemètre .....	55
2.3.4. Mesure de la concentration de lactate .....	56
2.3.5. Les ergomètres.....	56
2.3.6. Logiciel de suivi des athlètes .....	56
2.4. Protocoles d'EFX.....	56
2.4.1. Protocole EFX réalisé sur tapis roulant.....	57
2.4.2. Protocole EFX réalisé sur ergocycle.....	57
2.4.3. Critères de maximalité de l'EFX .....	57

2.4.4. Détermination du seuil (deuxième seuil).....	57
2.5. Données recueillies.....	58
2.5.1. Paramètres de performance sportive .....	58
2.5.2. Paramètres sportifs autres.....	58
2.5.3. Âges et paramètres biométriques .....	58
2.5.4. Paramètres physiologiques recueillis au cours des épreuves d'effort.....	59
2.5.5. Recueil des données.....	60
2.6. Analyses statistiques et traitement des données.....	60
2.6.1. Modélisation de la <b>VO2 max</b> selon l'âge par <i>spline</i> .....	60
2.6.2. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques.....	60
2.6.3. Analyses statistiques multi-variées .....	60
3. Résultats.....	65
3.1. Description de la population.....	65
3.2. Modélisation de la <b>VO2 max</b> selon l'âge .....	79
3.3. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques ;.....	81
3.4. Résultats de la sous-population F-TR-Eq.....	83
3.5. Résultats de la sous-population F-TR-HEq.....	92
3.6. Résultats de la sous-population F-V-Eq.....	95
3.7. Résultats de la sous-population F-V-HEq .....	97
3.8. Résultats de la sous-population H-TR-Eq.....	98
3.9. Résultats de la sous-population H-TR-HEq.....	104
3.10. Résultats de la sous-population H-V-Eq .....	110
3.11. Résultats de la sous-population H-V-HEq.....	115
4. Discussion.....	120
4.1. Nombre d'épreuves d'effort recueillies .....	120
4.2. Âge et paramètres anthropométriques .....	120
4.3. Epreuves d'effort et évolution.....	122
4.4. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques ;.....	126
4.5. Analyses multi-variées.....	126
4.5.1. Codage de la performance .....	126
4.5.2. Discussion des résultats de la sous-population F-TR-Eq .....	128
4.5.3. Discussion des résultats de la sous-population F-TR-HEq .....	128
4.5.4. Discussion des résultats de la sous-population F-V-Eq .....	128
4.5.5. Discussion des résultats de la sous-population H-TR-Eq.....	129
4.5.6. Discussion des résultats de la sous-population H-TR-HEq .....	129
4.5.7. Discussion des résultats de la sous-population H-V-Eq.....	129
4.5.8. Discussion des résultats de la sous-population H-V-HEq .....	129
4.5.9. Discussions globales sur les analyses multi-variées .....	129
Conclusion.....	131
Bibliographie.....	133

Annexe 1. Abréviations utilisées dans les Tableaux et Figures .....	137
Annexe 2. Résultats des analyses descriptives.....	139
Annexe 3. Résultats des analyses statistiques de la sous-population : Femmes, en équipe, sur Tapis Roulant .....	165
Annexe 4. Résultats des analyses statistiques de la sous-population des Femmes, Hors équipe, sur Tapis Roulant .....	181
Annexe 5. Resultats des analyses statistiques de la sous-population des Femmes, en équipe, sur Ergocycle .....	188
Annexe 6. Resultats des analyses statistiques de la sous-population des Hommes, en équipe, sur Tapis Roulant .....	195
Annexe 7. Résultats des analyses statistiques de la sous-population des Hommes, Hors équipe, sur Tapis Roulant .....	215
Annexe 8. Résultats des analyses statistiques de la sous-population des Hommes, en équipe, sur Ergocycle.....	231
Annexe 9. Résultats des analyses statistiques de la sous-population des Hommes, Hors équipe, sur Ergocycle.....	246
Résumé.....	259
Abstract.....	260

## **LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau 1 : Exemple d'épreuves par activité sportive.....	24
Tableau 2 : Vitesses et temps de parcours par épreuve de ski alpin.....	28
Tableau 3 : Caractéristiques des pistes selon les types d'épreuves de ski alpin .....	28
Tableau 4 : valeur pic de couple chez des sportifs en équipe nationale de Suède et des sédentaires .....	35
Tableau 5 : Filières énergétiques et caractéristiques.....	36
Tableau 6 : Contribution des métabolismes énergétique lors d'une manche de ski alpin.....	44
Tableau 7 : Résultats de l'étude de Veicsteinas (Veicsteinas, et al., 1984).....	45
Tableau 8 : Exemple de calendrier d'une saison d'un skieur en équipe de France .....	51
Tableau 9 : Calendrier de la Coupe du Monde Homme de Ski Alpin 2010-2011 .....	53
Tableau 10 : Exemple de protocole d'épreuve d'effort sur tapis roulant.....	57
Tableau 11 : Equation de DURNIN et WOMERSLEY .....	59
Tableau 12 : Tableau explicatif du recodage des points FIS en modalité de niveau et points .....	61
Tableau 13 : Exemple de diagramme des inerties.....	62
Tableau 14 : Effectifs par genre, ergomètre et saison.....	65
Tableau 15 : âge et données anthropométriques selon le genre .....	65
Tableau 16 : effectifs par spécialité, par genre et par saison .....	72
Tableau 17 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-TR-Eq.....	83
Tableau 18 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq .....	83
Tableau 19 : Description de la 1 <sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq .....	86
Tableau 20 : Description de la 2 <sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq .....	86
Tableau 21 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-TR-HEq.....	92
Tableau 22 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-V-Eq.....	95
Tableau 23 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-TR-Eq .....	98
Tableau 24 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-TR-HEq.....	104
Tableau 25 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-V-Eq.....	110
Tableau 26 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-V-HEq.....	115
Tableau 27 : Caractéristiques anthropométrique,puissance maximale aérobie et anaérobie.....	121
Tableau 28 : Tableau comparatif du recodage des performances chez les femmes .....	127
Tableau 29 : Tableau comparatif du recodage des performances chez les hommes....	127

## **LISTE DES ILLUSTRATIONS :**

Figure 1 : Exemple de combinaisons de portes .....	27
Figure 2 : Modélisation du fonctionnement des trois métabolismes énergétiques à l'aide d'un carburateur de moteur à explosion selon Garrigues.....	40
Figure 3 : Exemple de cercle de corrélation.....	63
Figure 4 : Exemple de distribution des spécialités et sous-spécialités et des niveaux de performances par discipline (en rouge) .....	63
Figure 5: Âge selon le genre et la spécialité .....	66
Figure 6: Poids selon le genre et la spécialité.....	66
Figure 7 : Taille selon le genre et la spécialité .....	67
Figure 8 : IMC selon le genre et la spécialité.....	67
Figure 9 : Pourcentage de masse grasse selon le genre et la spécialité .....	68
Figure 10 : Masse maigre selon le genre et la spécialité .....	68
Figure 11 : $VO_2 max$ brute selon le genre et la spécialité.....	69
Figure 12 : $VO_2 max$ en fonction du poids ou de la masse maigre selon le genre et la spécialité .....	69
Figure 13 : Evolution de la $VO_2 max$ (brute).....	70
Figure 14 : Evolution de la $VO_2 max$ (rapporté au poids).....	71
Figure 15 : Evolution de la $VO_2 max$ chez les femmes selon la spécialisation .....	72
Figure 16 : Evolution de la $VO_2 max$ chez les hommes selon la spécialisation.....	73
Figure 17 : Débit ventilatoire selon le genre et la spécialité .....	74
Figure 18 : Vitesse maximale aérobie (en $km.h^{-1}$ ) selon le genre et la spécialité .....	74
Figure 19 : Evolution de la VMA par genre, par saison.....	75
Figure 20 : Puissance maximale aérobie brute selon le genre et la spécialité.....	76
Figure 21 : Puissance aérobie rapportée au poids et à la masse maigre selon le genre et la spécialité.....	76
Figure 22 : Points FIS selon le genre et la spécialité.....	78
Figure 23 : classement FIS selon le genre et la spécialité.....	78
Figure 24 : Modélisation de la $VO_2 max$ selon l'âge chez les skieuses .....	79
Figure 25 : Modélisation de la $VO_2 max$ selon l'âge chez les skieurs.....	80
Figure 26 : Modélisation de la spécialisation à partir des paramètres anthropométriques et physiologiques à partir des données recueillies lors des épreuves faites sur tapis roulant.....	81
Figure 27 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq.....	83
Figure 28 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq.....	84
Figure 29 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq .....	85
Figure 30 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq.....	85
Figure 31 : cartographie des skieuses (F-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	88

Figure 32 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq .....	92
Figure 33 : Distribution des spécialités et sous-spécialités et des niveaux de performances par discipline dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population F-TR-HEq .....	94
Figure 34 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-V-Eq.....	96
Figure 35 : Cartographies des variables de performance en fonction des deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population F-V-Eq.....	97
Figure 36 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq.....	98
Figure 37 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq .....	99
Figure 38 : Cartographie des skieurs (H-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	100
Figure 39 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités et des niveaux de performance selon les types d'épreuves d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq .....	101
Figure 40 : Cartographie des skieurs (H-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	102
Figure 41 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq.....	104
Figure 42 : Cartographie des skieurs (H-TR-HEq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	105
Figure 43 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités et des niveaux de performance selon les types d'épreuves d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq.....	107
Figure 44 : Cartographie des skieurs (H-TR-HEq) selon les deux premières dimensions de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	108
Figure 45 Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-Eq.....	110
Figure 46 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités et des niveaux de performance selon les types d'épreuves (en rouge) d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-Eq .....	113
Figure 47 : Cartographie des skieurs (H-V-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	114
Figure 48 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-HEq.....	115
Figure 49 : Cartographie des skieurs (H-V-HEq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance.....	117
Figure 50 : Cartographies des niveaux de performance selon les types d'épreuves d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-HEq.....	118

Figure 51 : <i>VO2 max</i> dans différents sports.....	122
Figure 52 : <i>VO2 max</i> dans les différentes disciplines de ski .....	123
Figure 53 : <i>VO2 max</i> rapporté au poids dans les différentes disciplines de ski.....	123
Figure 54 : Evolution de la <i>VO2 max</i> selon l'âge.....	124
Figure 55 : <i>VEmax</i> dans les différentes disciplines de ski.....	125

## **LISTE DES ABREVIATIONS :**

%ERCO <sub>2</sub> max	.....ERCO <sub>2</sub> au seuil, exprimé en pourcentage de ERCO <sub>2</sub> max
%ERO <sub>2</sub> max	.....ERO <sub>2</sub> au seuil, exprimé en pourcentage de ERO <sub>2</sub> max
%FCmax	.....Fréquence cardiaque au seuil, exprimée en pourcentage de FCmax
%MG	.....Pourcentage d'adiposité ou de masse grasse
%MM	.....Pourcentage de masse maigre
% $\dot{V}Emax$	..... $\dot{V}E$ au seuil, exprimé en pourcentage de $\dot{V}Emax$
%VMA	.....vitesse au seuil, exprimée en pourcentage de VMA
% $\dot{V}O_2max$	..... $\dot{V}O_2$ au seuil, exprimé en pourcentage de $\dot{V}O_2max$
AA	.....Acides aminés
ACP	.....Analyse en composantes principales
ACM	.....Analyse des correspondances multiples
ADP	.....Adénosine Di Phosphate
AGL	.....Acides Gras Libres
AMP	.....Adénosine Mono Phosphate
ATP	.....Adénosine Tri Phosphate
CAH	.....Classification ascendante hiérarchique
CART	.....Arbre décisionnel de classification et de régression (Classification and Regression Tree)
COC	.....Coupe Continentale (Continental Cup)
DH	.....Descente ( <i>DownHill</i> )
ECG	.....Electrocardiogramme
EFX	.....Epreuve d'effort d'intensité maximale
ERCO <sub>2</sub>	.....Equivalent respiratoire en CO <sub>2</sub> .
ERO <sub>2</sub>	.....Equivalent respiratoire en O <sub>2</sub> .
FC	.....Fréquence cardiaque
FAD	.....Flavine Adénine Dinucléotide
F-TR-Eq	.....Sous-population de <u>skieuses</u> ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>tapis roulant</u> et ayant appartenu aux <u>équipes</u> de France de ski
F-TR-HEq	.....Sous-population de skieuses ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>tapis roulant</u> et n'ayant <u>jamais appartenu aux équipes</u> de France de ski
F-V-Eq	.....Sous-population de <u>skieuses</u> ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>ergocycle</u> (vélo) et ayant appartenu aux <u>équipes</u> de France de ski
F-V-HEq	.....Sous-population de <u>skieuses</u> ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>ergocycle</u> (vélo) et n'ayant <u>jamais appartenu aux équipes</u> de France de ski
FC	.....Fréquence cardiaque
FFS	.....Fédération Française de Ski
FIS	.....Fédération Internationale de Ski
FR	.....Fréquence Respiratoire
G6P	.....Glucose-6-Phosphate
H-TR-Eq	.....Sous-population de skieurs (de sexe <u>masculin</u> ) ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>tapis roulant</u> et ayant appartenu aux <u>équipes</u> de France de ski

H-TR-HEq .....	Sous-population de skieurs (de sexe <u>masculin</u> ) ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>tapis roulant</u> et n'ayant <u>jamais appartenu aux équipes</u> de France de ski
H-V-Eq.....	Sous-population de skieurs (de sexe <u>masculin</u> ) ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>ergocycle</u> (vélo) et ayant appartenu aux <u>équipes</u> de France de ski
H-V-HEq .....	Sous-population de skieurs (de sexe <u>masculin</u> ) ayant fait leur épreuve d'effort sur <u>ergocycle</u> (vélo) et n'ayant <u>jamais appartenu aux équipes</u> de France de ski
IMC.....	Indice de Masse Corporelle
JO.....	Jeux Olympiques
kgMM.....	Kilogramme de masse maigre
GS.....	Slalom Géant ( <i>Giant Slalom</i> )
MVC.....	contractions maximales volontaires ( <i>Maximum Voluntary Contraction</i> )
NAD.....	Nicotine Adénine Dinucléotide
O <sub>2</sub> .....	Oxygène
P.....	Poids
PMA.....	Puissance Maximale Aérobie
PCr.....	Phospho-créatine
Pi.....	Phosphate inorganique
QR.....	Quotient respiratoire
SG.....	Super Géant
SC.....	Super Combiné
SL.....	Slalom Spécial
T.....	Taille
$\dot{V}CO_2$ .....	Production de dioxyde de carbone par unité de temps
$\dot{V}E$ .....	Volume d'air expiré par unité de temps
VMA.....	Vitesse corrigée Maximale Aérobie
$\dot{V}O_2$ .....	Consommation d'oxygène par unité de temps
VT.....	Volume courant
VJ.....	Test de détente vertical ( <i>Vertical Jump</i> )
WSC.....	Championnats du Monde de Ski Alpin FIS (FIS World Ski Championships)
WC.....	Coupe du Monde de Ski Alpin FIS (FIS World Cup)

# 1. INTRODUCTION :

## 1.1. Le sport :

Le ski est un sport de glisse qui consiste à glisser sur une surface enneigée, à l'aide de skis. La Fédération Internationale de Ski (FIS) reconnaît plusieurs disciplines sportives :

- le ski nordique ou ski de fond,
- le saut à ski,
- le combiné nordique,
- le ski de vitesse ou kilomètre lancé,
- le télémark,
- le snowboard,
- le ski « freestyle »,
- le ski alpin,
- le ski sur herbe.

Chacune de ces disciplines, se compose de différentes épreuves, dont la plupart est rapportée dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Exemple d'épreuves par activité sportive**

Activités Sportives	Discipline Nordique			Discipline alpine		
	Ski de fond	Saut à ski & Vol à ski	Combiné nordique	Ski alpin	Ski "Freestyle"	Snowboard
Principaux styles, techniques, ou épreuves	Style classique	Tremplin normal		Descente	Bosse	Slalom
	Style libre	Grand tremplin		Super-Géant	Bosse en parallèle	Slalom parallèle
	Ski roues	Tremplin en plastique		Slalom-Géant	Saut	Slalom-Géant
		Tremplin de Vol à Ski		Slalom	Ski cross	Slalom-Géant parallèle
				compétition parallèle	Halfpipe	Super-Géant
				Combiné alpin	Compétition par équipes	Halfpipe
				KO		Snowboard cross
				Compétition par équipes		Big Air
						"Compétition spéciale"
						Slopestyle

### **1.1.1. Généralités sur le ski alpin :**

#### **1.1.1.1. Terminologie :**

Le terme de « ski alpin » est parfois employé pour signifier l'ensemble des disciplines alpines, par opposition aux disciplines nordiques. Cette formulation englobe le ski freestyle et le snowboard. Pour éviter toute confusion ultérieure, nous limiterons l'emploi du terme de « ski alpin » aux cinq épreuves olympiques actuelles suivantes :

- le slalom (ou anciennement slalom spécial, abrégé SL [pour *Slalom*]),
- le slalom géant (ou « géant », abrégé GS [pour *Giant-Slalom*]),
- le slalom super-géant (ou super géant ou encore « super-G », abrégé SG [pour *Super-Giant*]),
- la descente (abrégé DH [pour *Downhill*]) et
- le super combiné (abrégé SC pour [*Super-Combiné*]).

Comme nous le verrons ensuite, ces épreuves diffèrent par la dénivelée, le terrain, la vitesse, le rayon et la distance entre les virages.

Les épreuves peuvent être regroupées en deux groupes ou spécialités :

- la vitesse (descente et super géant) : le tracé suit généralement le relief naturel de la piste et le rayon de courbure des virages est grand à moyen. Les compétitions se déroulent en une seule manche ;
- la technique (slalom et slalom géant) : la piste doit être plus raide et le tracé compte de nombreux virages. Les compétitions se déroulent en deux manches, effectuées le même jour.

Les skieurs alpins concourent généralement sur plusieurs types d'épreuves et peuvent développer selon leur préparation des qualités soit polyvalentes, soit techniques, soit de vitesse.

#### **1.1.1.2. Principes généraux d'une compétition :**

Les compétitions sont organisées sous forme de courses contre-la-montre au cours desquelles les skieurs dévalent la piste selon un parcours balisé par des portes. Celles-ci sont matérialisées soit par une paire de piquets colorés (en slalom) soit par deux paires de piquets colorés surmontés d'une banderole (dans les autres épreuves) ; si jamais le skieur enfourche une porte ou s'il passe à côté de l'une d'elles, il est disqualifié. Les portes sont disposées en respectant le relief de la piste, de sorte que le skieur réalise des virages de type propre à chaque épreuve, limitant sa vitesse.

En dehors de l'épreuve de descente, les athlètes n'ont pas la possibilité de s'entraîner sur le tracé à pleine vitesse. En effet, quelques heures avant la course, ceux-ci sont autorisés pendant un temps limité à inspecter le tracé définitif skis aux pieds, à côté du parcours à vitesse réduite ou bien en dérapage à travers les portes (FIS, 2010). Cette reconnaissance officielle est essentielle et participe probablement à la performance : l'athlète doit mémoriser un maximum d'informations sur les caractéristiques de la piste, analyser le tracé (relief, changement de luminosité, qualité de la neige...), repérer les éventuels pièges du tracé et définir au mieux sa trajectoire idéale.

En descente, pour des raisons évidentes de sécurité, il est programmé au moins 3 entraînements officiels, qui se déroulent dans des conditions similaires à celles de la compétition (ordre de départ, mesures de sécurité, chronométrage...). Un athlète n'ayant pas participé à au moins un entraînement officiel ne pourra être aligné le jour de la course officielle (FIS, 2010).

### **1.1.2. Le slalom :**

Epreuve technique par excellence, le SL requiert une grande agilité, rapidité et précision : les portes sont très rapprochées, obligeant à effectuer des appuis brefs et des virages serrés.

#### **1.1.2.1. Vitesses et temps de parcours :**

Le parcours dure en moyenne de **45 à 60 secondes** (Bacharach, et al., 1995) (Hintermeister, et al., 2000).

La vitesse moyenne varie de **20 à 50 km.h<sup>-1</sup>** (Bacharach, et al., 1995) (cf. Tableau 2).

La vitesse dépasse rarement **50 km.h<sup>-1</sup>** (Hintermeister, et al., 2000).

#### **1.1.2.2. Manches :**

Un slalom se déroule toujours en deux manches courues le même jour. Le tracé de chacune des deux manches doit être différent. L'ordre de départ de la seconde manche se fait à l'inverse du classement de la première manche pour les trente premiers (le trentième part en premier). Le vainqueur étant celui qui totalise le meilleur temps cumulé.

#### **1.1.2.3. Aspects réglementaires concernant la piste et le tracé :**

Les caractéristiques sont rassemblées dans le Tableau 3 (FIS, 2010).

##### **1.1.2.3.1. La dénivelée :**

Chez les hommes :

- 180 m – 220 m pour les hommes lors des JO [Jeux Olympiques] d'Hiver, des WSC [Championnats du Monde de Ski FIS] et des WC [Coupe du Monde de Ski FIS] ;
- 140 m – 220 m pour toutes les autres compétitions internationales masculines de la FIS.

Chez les dames :

- 140 m – 220 m pour les dames, lors des JO, des WSC et des WC
- 120 m – 200 m pour toutes les autres compétitions internationales dames de la FIS:

##### **1.1.2.3.2. Caractéristiques générales de la piste :**

La pente moyenne doit être comprise entre 33% et 45%. Elle peut aussi être – sur de très courtes sections – inférieure à 33%, mais ne peut pas dépasser les 52%.

La largeur de la piste doit normalement être d'environ 40 mètres.

##### **1.1.2.3.3. Règles spécifiques de tracé :**

- **Nombre de portes :**

Lors des JO ou des WSC, ou des WC, le tracé doit comporter un nombre de portes ou de changements de direction compris entre 30% et 35% de la dénivelée (en mètre).

Lors des autres épreuves internationales celui-ci doit être égal à 30% à 35% de la dénivelée (en mètre) +/- 3 changements de direction.

- **Figures :**

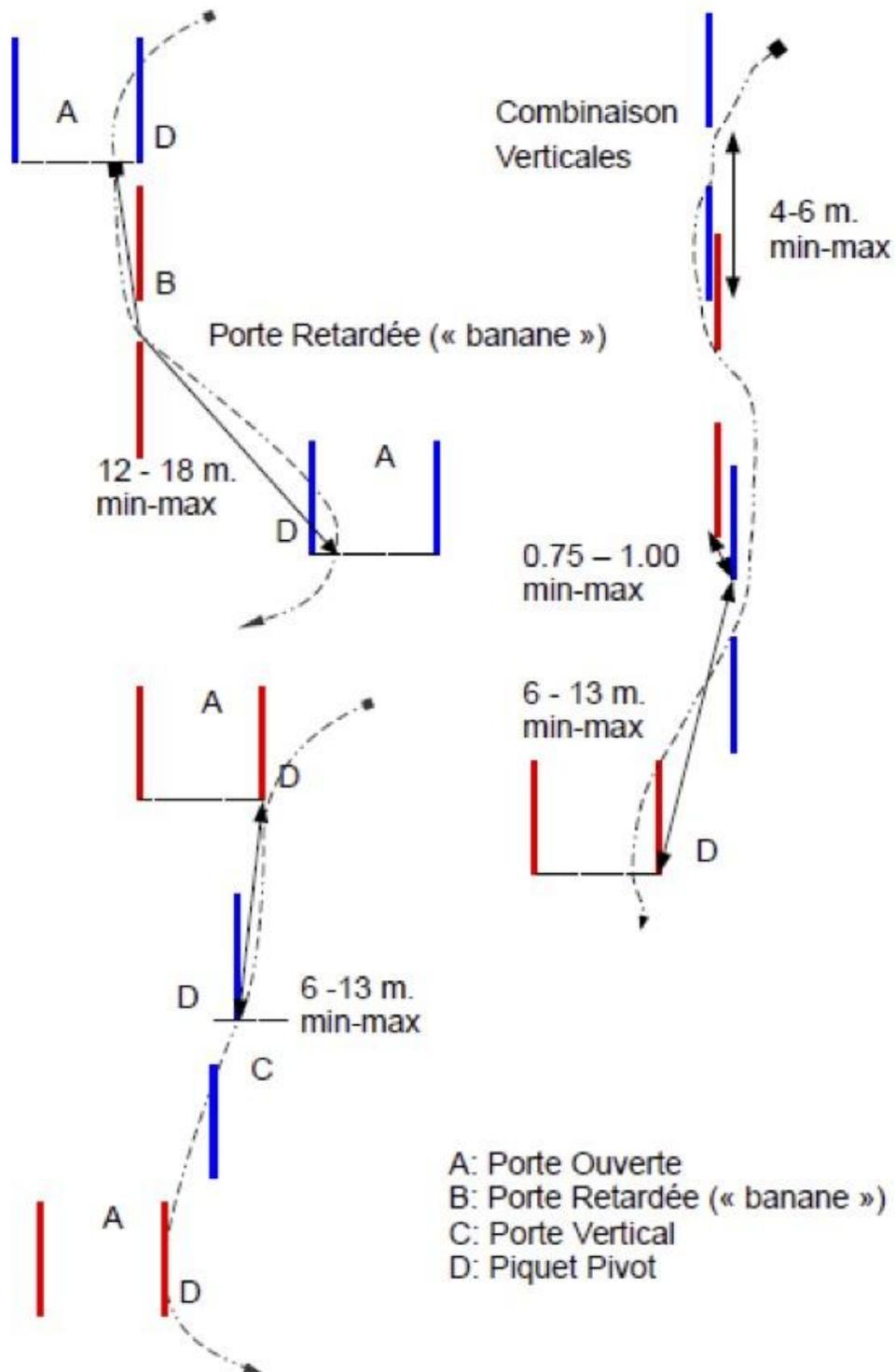
Un slalom comporte :

- des portes horizontales ou « ouvertes »,
- des portes verticales ou « fermées ».

Chez l'adulte, le tracé doit néanmoins comporter un certain nombre de combinaisons (cf. Figure 1) :

- entre une et trois chicanes de 3 à 4 portes,
- au moins 3 doubles verticales,
- entre une et trois portes « retardées » ou « bananes ».

Figure 1 : Exemple de combinaisons de portes



- Espacement des piquets :

La distance entre deux piquets-pivots<sup>†</sup> de deux portes successives ne doit pas être inférieure 6 mètres ni supérieure à 13 m

Dans les combinaisons de portes (chicanes, portes fermées), l'espacement ne doit ni être inférieur à 0,75 m ni supérieur à 1 m. Les piquets des portes des chicanes et des combinaisons verticales doivent être alignés. Les piquets-pivots des portes retardées (ou « bananes ») doivent respecter une distance minimale de 12 m et maximum 18 m.

<sup>†</sup> Piquet-pivot : piquet autour duquel s'effectue un changement de direction (cf. légende D sur Figure 1).

**Tableau 2 : Vitesses et temps de parcours par épreuve de ski alpin**

Épreuves	DH	SG	GS	SL
Vitesse moyenne (km.h <sup>-1</sup> )	90 - 100		20 - 60	
Vitesse maximale (km.h <sup>-1</sup> )	145	95	≤ 75	≤ 50
Temps moyen de course (par manche, en s)	90 - 140	75 - 90	60 - 90	45 - 60

DH = Descente ; SG = Super-Géant ; GS = Slalom-Géant ; SL = Slalom

**Tableau 3 : Caractéristiques des pistes selon les types d'épreuves de ski alpin**

Épreuves	Epreuves	Dénivelée (en mètres)		Pente moyenne	CD (en % du VD)	Ecart entre deux portes	Largeur de porte	Largeur de la piste
		Hommes	Dames					
DH	JO WSC WC	850 <sup>1</sup> - 1100	450 - 800		NS	NS	≥ 8 m	≥ 30 m
	COC							
	FIS	450 - 1100						
SG	JO WSC WC	400 - 650	400 - 600		≥ 6%	≥ 25 m <sup>2</sup>	PH : 6 - 8 m  PV : 8 - 12 m	≥ 40 m
	COC		350 - 600		≥ 7%			
	FIS	350 - 650						
GS	JO WSC WC	300 - 450	300 - 400		11% à 15%	≥ 10 m	4 - 8 m	≥ 40 m
	COC	250 - 450	250 - 400					
	FIS							
SL	JO WSC WC	180 - 220	140 - 220	33% à 45% <sup>3</sup>	30% à 35% (+/-3 CD)	Entre 2 PH <sup>4</sup> : 6 - 13 m	4 - 6 m	≥ 40 m
	COC	140 - 220	120 - 200			Combinaisons <sup>4</sup> : 0,75 - 1 m		
	FIS					portes retardées <sup>4</sup> : 12 - 18 m		

DH = descente ; SG = Super-Géant ; GS = Slalom-Géant ; SL = Slalom

JO = Jeux Olympiques d'hiver ; WSC = Championnat du monde ; WC = Coupe du monde ; COC = Coupe continentale ; FIS = autre compétition internationale reconnu par Fédération Internationale de Ski.

CD = Changement de direction ; VD = Dénivelée ; NS = Non Spécifié ; PH = Porte Horizontale

<sup>1</sup> Dans des cas exceptionnels, la dénivelée minimale peut être abaissée à 750 mètres.

<sup>2</sup> Sur de courtes portions, la pente peut excéder 45 %, sans dépasser 52%.

<sup>3</sup> Sauf dans les combinaisons de portes, l'écart entre les portes peut être diminué mais ne doit pas être inférieur à 15 mètres.

<sup>4</sup> Entre deux piquets-pivots de 2 portes horizontales : 6-13 mètres ; Dans les combinaisons de portes (chicanes, portes verticales) : 0,75 - 1 m ; Entre les piquets-pivots des portes retardées (ou « bananes ») : 12 - 18 m

### **1.1.3. Le Géant :**

Le GS est une des deux épreuves techniques. La piste est plus longue et les portes sont plus espacées que dans un SL. La courbure des virages est généralement moyenne.

#### **1.1.3.1. Vitesses et temps de parcours :**

Le parcours dure en moyenne de **60 à 90 secondes** (Bacharach, et al., 1995)(Hintermeister, et al., 2000).

La vitesse moyenne est située entre **20 à 60 km.h<sup>-1</sup>** (Bacharach, et al., 1995)

La vitesse dépasse rarement **75 km.h<sup>-1</sup>**(Hintermeister, et al., 2000)

#### **1.1.3.2. Manches :**

Comme pour le slalom, le Géant se déroule toujours en deux manches courues le même jour sur des tracés différents entre chaque manche. L'ordre de départ de la seconde manche se fait à l'inverse du classement de la première manche pour les trente premiers (le trentième part en premier). Le vainqueur étant celui qui totalise le meilleur temps cumulé.

#### **1.1.3.3. Aspects règlementaires concernant la piste et le tracé :**

Les caractéristiques sont rassemblées dans le Tableau 3 (FIS, 2010).

##### **1.1.3.3.1. La dénivelée :**

Chez les hommes :

- 300 m – 450 m lors des JO d'hivers, des WSC et de WC,
- 250 m – 450 m pour toutes les autres épreuves internationales masculines

Chez les dames :

- 300 m – 400 m lors des JO d'hivers, des WSC et de WC,
- 250 m – 400 m pour toutes les autres épreuves internationales féminines

##### **1.1.3.3.2. Caractéristiques générales de la piste :**

La piste doit normalement avoir une largeur d'au moins 40 mètres, sauf exception. Dans la mesure du possible, le terrain doit être varié et vallonné.

##### **1.1.3.3.3. Règles spécifiques de tracé :**

- **Nombre de portes :**  
Le tracé doit comporter un nombre de portes ou de changements de direction compris entre 11% et 15% de la dénivelée (en mètre).
- **Espacement des piquets :**  
L'écart entre les piquets-pivots de deux portes successives ne doit pas être inférieur à 10 mètres.  
Les portes doivent avoir une largeur comprise entre 4 et 8 mètres.
- **Figures :**  
En raison de la largeur et de l'écart des portes, l'emploi de combinaisons de portes n'est pas conseillé. Le tracé d'un slalom géant doit donc utiliser le terrain de façon optimale alternant judicieusement de grands, moyens et petits virages.

#### **1.1.4. Le Super-Géant :**

D'apparition plus récente, le super géant est un hybride entre la descente et le géant. Un peu moins rapide, plus court et plus technique que la descente, il compte un peu plus de virages. Leur courbure moyenne est moyenne à grande.

##### **1.1.4.1. Vitesses et temps de parcours :**

L'exécution d'un SG dure entre 75 à 90 secondes (Andersen, et al., 1988)(Hintermeister, et al., 2000)(Andersen, et al., 1988)(Hintermeister, et al., 2000)(Bacharach, et al., 1995).

La vitesse atteint jusqu'à 95 km. h<sup>-1</sup>(Hintermeister, et al., 2000)

##### **1.1.4.2. Manches :**

Un super-géant se déroule en une seule manche.

##### **1.1.4.3. Aspects règlementaires concernant la piste et le tracé :**

Les caractéristiques sont rassemblées dans le Tableau 3 (FIS, 2010).

###### **1.1.4.3.1. La dénivelée :**

Chez les hommes :

- 400 m – 650 m, lors des JO d'Hiver, des WSC et des WC ;
- 350 m – 650 m pour toutes les autres épreuves internationales

Chez les dames :

- 400 m – 600 m, lors des JO d'Hiver, des WSC et des WC ;
- 350 m – 600 m, pour toutes les autres épreuves internationales féminines

###### **1.1.4.3.2. Caractéristiques générales de la piste :**

La piste doit normalement avoir une largeur d'au moins 30 mètres, sauf exception. Dans la mesure du possible, le terrain doit être varié et vallonné.

###### **1.1.4.3.3. Règles spécifiques de tracé :**

###### **• Nombre de portes :**

Le tracé doit comporter un nombre de portes ou de changements de direction au moins égal à

- 6 % de la dénivelée (en mètre) lors des JO d'hiver, des WSC, des WC et des COC [Coupe Continentale] ;
- 7% de la dénivelée (en mètre) lors des autres épreuves internationales

###### **• Espacement des piquets :**

L'écart entre les piquets-pivots de deux portes successives ne doit pas être inférieure 25 mètres, sauf en cas de combinaison de porte. Dans ce cas, l'écart entre les piquets-pivots peut être réduit mais ne doit jamais être inférieur à 15mètres.

Les portes doivent avoir une largeur comprise :

- entre 6 et 8 mètres pour les portes horizontales,
- entre 8 et 12 mètres pour les portes verticales.

###### **• Figures :**

Le tracé d'un slalom géant doit donc utiliser le terrain de façon optimale alternant judicieusement de grands et moyens virages.

Si la configuration du terrain présente des bosses adéquates, celles-ci doivent être exploitées pour favoriser les sauts.

### **1.1.5. La Descente :**

C'est l'épreuve la plus prestigieuse et la plus rapide, en termes de vitesse. Le parcours est le plus long et les portes peu nombreuses sont très espacées. Pendant toute la durée de la course, le descendeur s'efforce de « tailler les meilleures courbes » tout en maintenant la position la plus aérodynamique possible. La piste la plus célèbre est la Streif de Kitzbühel en Autriche, en raison de son extrême exigence technique et physique. La moindre erreur ne pardonne pas comme en témoigne les nombreux blessés. La piste de Wengen en Suisse est celle où les athlètes atteignent la plus grande vitesse.

#### **1.1.5.1. Vitesses et temps de parcours :**

Une descente dure en moyenne entre **90 et 140 secondes** (Hintermeister, et al., 2000)(Bacharach, et al., 1995) ;

La vitesse moyenne est de **90 à 100 km.h<sup>-1</sup>** (Bacharach, et al., 1995) avec une vitesse de pointe pouvant atteindre les **145 km.h<sup>-1</sup>** dans les sections les plus raides (Andersen, et al., 1988)(Hintermeister, et al., 2000).

#### **1.1.5.2. Manches :**

Une descente se déroule en une seule manche.

#### **1.1.5.3. Aspects règlementaires concernant la piste et le tracé :**

Les caractéristiques sont rassemblées dans le Tableau 3 (FIS, 2010).

##### **1.1.5.3.1. La dénivelée :**

Chez les hommes :

- 800 m (750 m dans des cas exceptionnels) à 1100 m, pour les hommes lors des JO d'Hiver, des WSC et des WC ;
- 550 m – 1100 m pour les COC
- 450 m – 1100 m pour toutes les autres épreuves internationales.

Chez les dames :

- 450 m – 800 m, pour toutes les compétitions.

##### **1.1.5.3.2. Caractéristiques générales de la piste :**

La piste doit normalement avoir une largeur d'au moins 30 mètres, sauf exception.

##### **1.1.5.3.3. Règle spécifique de tracé :**

Il n'y a pas de règles particulières concernant le tracé. Celui-ci doit se caractériser par cinq composantes :

- technique,
- courage,
- vitesse,
- engagement / prise de risques, et
- condition physique.

Le tracé doit suivre et respecter le relief naturel du terrain et pour des raisons de sécurité, les changements ou ruptures de pentes provoquant des sauts doivent être approchés progressivement et si possible suivre le profil du terrain.

### **1.1.6. Le Super Combiné**

Cette épreuve combine une première manche qualificative de vitesse (descente ou super-géant), suivi d'une deuxième manche technique, à savoir un slalom. Le vainqueur étant celui qui totalise le meilleur temps cumulé.

## **1.2. Le ski et ses exigences :**

Le ski alpin de compétition requiert bien plus que des capacités physiologiques (Bacharach, et al., 1995), il nécessite également des qualités techniques et physiques (Turnbull, et al., 2009). En effet, pour accomplir un parcours dans les meilleurs temps, les compétiteurs doivent parfaitement maîtriser :

- la gestion des déséquilibres tout en glissant sur la piste
- la conduite des virages pour changer de direction,
- la vitesse.

Le but final étant, en fonction de ses aptitudes physiques, de minimiser les frottements et les décélérations, tout en ayant la meilleure trajectoire (Hintermeister, et al., 2000)

### **1.2.1. Les forces et contraintes physiques**

Les principales forces appliquées aux skieurs sont : la gravité, les frottements skis-neige, la résistance de l'air et la force de réaction neige-ski. Pour limiter cette dernière, le skieur s'incline et sollicite sa musculature, principalement celle des membres inférieurs (Hintermeister, et al., 2000). Plus le skieur est lourd, plus il va vite, plus le rayon de courbure du virage petit, plus les forces de réactions sont grandes. Ces forces s'élèveraient à 2717 N (277 kg) (Nachbauer, et al., 1991). Ainsi, pour supporter de telles forces, il est important que le skieur alpin ait le meilleur alignement squelettique et la meilleure force musculaire, notamment des membres inférieurs (Hintermeister, et al., 2000).

Il faut par ailleurs noter que l'évolution de la forme des skis a permis de réduire le rayon de courbure des virages. Cette avancée a entraîné des modifications de posture et de positionnement des membres, et a augmenté les forces appliquées aux articulations de membres inférieurs (Neumayr, et al., 2003).

### **1.2.2. Le contrôle moteur et agilité :**

En ski, le contrôle moteur est important pour permettre d'appliquer des pressions sur les skis à grande vitesse et gérer les déséquilibres (Hintermeister, et al., 2000).

Il peut se décomposer en 2 composantes dynamiques :

- les mouvements latéraux : ils débutent par l'ajustement subtil des pieds et des chevilles et sont amplifiés par l'angulation des genoux et des hanches ainsi que l'inclinaison du reste du corps. Ils servent principalement à la prise ou changement de carres et au transfert de poids (Hintermeister, et al., 2000) ;
- les mouvements sagittaux (antéropostérieurs) : ils sont permis par la flexion ou l'extension des chevilles, des genoux et des hanches ; ils modifient la répartition de la pression sur le ski (Hintermeister, et al., 2000) :

Ces mouvements sont importants pour la prise de carre et le contrôle des virages ; ils doivent pouvoir être mis en œuvre sur la plus large gamme de vitesse, de terrain et de conditions de neige (Hintermeister, et al., 2000).

Par ailleurs, Haymes a montré que les skieurs alpins sont plus agiles [évalué par le *barrow zigzag run* (Haymes, et al., 1980)] que les skieurs nordiques, mais il n'y a pas de différence en terme d'équilibre.

### **1.2.3. Souplesse :**

La souplesse permet une aisance gestuelle, l'adoption de postures sans tension superflue sur les tendons, ligaments ou articulations et la réduction des efforts musculaires.

Song a testé la souplesse des épaules, du tronc, des hanches, des genoux, et des chevilles de neuf skieurs juniors masculins. Ils étaient plus souples au niveau des hanches seulement par rapports aux sujets contrôles du même âge (Song, 1982).

Par ailleurs, une bonne souplesse préviendrait des blessures dans les situations où

l'amplitude du mouvement dépasserait la tolérance articulaire normale (Hintermeister, et al., 2000).

En ski, le tronc et les membres inférieurs absorbent d'importantes forces (cf. paragraphe 1.2.1.). Par conséquent, la souplesse et l'équilibre musculaire des principaux muscles moteurs des genoux (quadriceps et ischio-jambiers), hanches (fléchisseurs et les extenseurs de hanche) et du tronc (abdominaux, obliques et érecteurs de la colonne) sont primordiaux pour le skieur alpin compétiteur.

Face aux exigences rotationnelles du ski, le maintien de la colonne vertébrale est permis par un bon équilibre entre le gainage musculaire et la souplesse de la région pelvienne. Ce maintien est important pour assurer sa fonction de façon optimale et prévenir des blessures (Hintermeister, et al., 2000).

Pour Brown, la souplesse – comme l'équilibre et l'agilité– participerait à la performance en ski alpin (Brown, et al., 1983)

#### **1.2.4. Les conditions environnementales d'entraînement :**

Le ski alpin exige des efforts rapides, erratiques et variables, de courte durée et de haute intensité, dans des conditions froides et montagneuse (Turnbull, et al., 2009). Ces conditions n'affecteraient pas que la physiologie humaine, mais aussi la fiabilité des mesures directes (Koutedakis, et al., 1992)(White, et al., 1993)(Neumayr, et al., 2003) (Seifert, et al., 2005).

L'absence de standard est une difficulté supplémentaire dans la comparaison des études : chaque piste est différente (altitude, longueur, dénivelée...) et pour une même piste les conditions peuvent varier (type de neige, luminosité, tracé...) (Turnbull, et al., 2009).

### **1.3. Notion physiologique appliquée au ski :**

#### **1.3.1. Caractéristiques musculaires :**

##### **1.3.1.1. Activité musculaire :**

Skier consiste à effectuer des séries de virages entrecoupés de transition. Au cours d'un virage, les forces externes s'appliquant au skieur sont les plus élevées lors du franchissement de la ligne de pente. A ce moment, l'activité musculaire du couple quadriceps/ischio-jambiers devient la plus importante, dépassant même celle obtenue lors de contractions maximales volontaires (MVC) isométriques, en raison de la quantité de mouvement inhérent au skieur (Hintermeister, et al., 2000).

Les vitesses angulaires articulaires étant faibles (20 à 40°.s<sup>-1</sup> pour les genoux et hanches du skieur (Hintermeister, et al., 2000)), l'importante activité musculaire développé en ski alpin sert peu à la production de mouvement, mais principalement à :

- stabiliser les articulations (genoux, hanche et chevilles), par co-activation des muscles agonistes-antagonistes ;
- résister aux forces et absorber les vibrations du terrain

Ainsi, le ski alpin n'est pas un sport explosif mais il nécessite en permanence des ajustements musculo-squelettiques très rapides

Bien qu'au cours de la conduite d'un virage, tous les types de contraction (concentrique, isométrique et excentrique) s'alternent rapidement et par salve (Hintermeister, et al., 2000), le mode excentrique prédomine (fonction de production de force et de dissipation d'énergie).

### **1.3.1.2. Fibres musculaires : type et utilisation du glycogène**

#### **1.3.1.2.1. Typologie des fibres musculaires :**

La composition d'un muscle en fibre musculaire lente (type I) ou rapide (type II) dépend des sollicitations auxquelles il est soumis. En effet, les athlètes « élites » de sport d'endurance (marathon ou ski de fond par exemple) auront une proportion prédominante de fibre musculaire lente, alors que ceux pratiquant des sports de force ou explosif (sprint ou haltérophilie) auront un plus grand pourcentage de fibre rapide (Hintermeister, et al., 2000). Pour la majorité des sports situés entre ces extrêmes, le profil musculaire est extrêmement variable (Hintermeister, et al., 2000)

La plupart des études sur la composition des fibres musculaire chez les skieurs remontent à la fin des années 70 et reposent sur des biopsies du vaste latéral. Le pourcentage moyen en fibres lentes rapportées varie de 47 à 63 % avec une grande dispersion des valeurs. La composition musculaire du skieur ne diffère pas de celle des personnes actives (non sédentaire) de même âge (Karlsson, et al., 1978)(Tesch, et al., 1978)(Thorstensson, et al., 1977)(Rusko, et al., 1978).

#### **1.3.1.2.2. Glycogène musculaire :**

A l'aide de biopsies musculaires, Tesch & Larsson (Tesch, et al., 1978) et Karlsson (Karlsson, et al., 1978) ont étudié l'épuisement du glycogène musculaire des skieurs. Dans un groupe de skieurs compétiteurs, le niveau de glycogène musculaire chutait en moyenne d'environ 32 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais par jour de ski, se répartissant ainsi :

- après l'entraînement en GS le premier jour, le glycogène musculaire avait diminué de 34 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais ;
- après l'entraînement en SL le deuxième jour, il avait baissé de 21 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais.

Quel que soit le niveau du skieur (compétiteur vs loisir), l'utilisation du glycogène musculaire lors d'une journée de ski était aussi importante. Cependant, chez les compétiteurs, la déplétion des fibres lentes était plus importante que chez les sujets non entraînés (loisir). La concentration de lactate musculaire, qui est corrélée à la proportion de fibres rapides, était similaire quel que soit le niveau. Ainsi, les skieurs alpins compétiteurs solliciteraient plus de fibres lentes que rapides, suggérant chez-eux une plus grande implication du métabolisme aérobie (Karlsson, et al., 1978) (Tesch, et al., 1978).

Par ailleurs, la reconstitution des stocks de glycogène était estimée à 29 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais par jour (Karlsson, et al., 1978). En raison du bilan négatif (32 vs 29 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais) il semble important que les skieurs aient les stocks de glycogène musculaire les plus élevés possible avant un stage d'entraînement ainsi qu'une alimentation la plus adaptée possible au cours du stage.

#### **1.3.1.3. Force Maximale**

Elle fait partie des paramètres musculaires étudiés. En ski, l'attention est principalement portée sur la musculature des membres inférieurs en raison de sa fonction de résistances aux fortes sollicitations.

La force a été analysé chez le skieur aussi bien d'un point de vu statique (isométrique à un angle articulaire donnée) que dynamique (généralement isocinétique).

##### **1.3.1.3.1. Evaluations isocinétiques :**

De nombreux auteurs ont trouvé chez les skieurs d'excellentes valeurs de pic de couple (ou moment de force maximal), surtout à faible vitesse angulaire(Thorstensson, et al., 1977)(Eriksson, et al., 1977)(Karlsson, et al., 1978)(Haymes, et al., 1980)(Brown, et al., 1983)(Piper, et al., 1987)(Steadman, et al., 1987).

Selon Thorstensson, les skieurs alpins (descendeurs) et les sprinteurs auraient les pics de couple les plus élevées à faible vitesse angulaire (cf. Tableau 4) (Thorstensson, et al., 1977).

**Tableau 4 : valeur pic de couple chez des sportifs en équipe nationale de Suède et des sédentaires selon Thorstensson & al., 1977 (cité par Hintermeister & Hagerman, 2000)**  
 $\omega$  : vitesse angulaire

Sportifs	Pic de couple ou moment de force maximal en N.kg <sup>-1</sup>	
	Vitesse angulaire faible $\omega = 30^{\circ}.s^{-1}$	Vitesse angulaire élevée $\omega = 180^{\circ}.s^{-1}$
Skieurs alpins	3.9	2.3
Sprinteurs (athlétisme)	3.8	2.7
Sauteurs (athlétisme)	3.8	--
Marcheurs (compétiteurs)	3.4	--
Sédentaire	3.2	--
Coureur d'orientation	3.1	--

Haymes a comparé la force isocinétique (à  $30^{\circ}.s^{-1}$  et à  $180^{\circ}.s^{-1}$ ) des extenseurs des genoux chez les skieuses et skieurs alpins : les hommes avaient un pic de couple moyen à  $30^{\circ}.s^{-1}$  supérieur à celui des dames (259,7 vs 189,1 N.m), mais une fois rapporté à la masse maigre cette différence n'était plus significative (hommes=3,53 N.m.kg<sup>-1</sup> ; dames=3,23 N.m.kg<sup>-1</sup>) (Haymes, et al., 1980). A haute vitesse angulaire ( $180^{\circ}.s^{-1}$ ), le pic de couple était systématiquement supérieur chez les hommes par rapport aux dames (2,22 vs 1,76 N.m.kg<sup>-1</sup>).

Brown a évalué la force isocinétique de flexion et d'extension des genoux chez 42 skieurs canadiens de niveau différent (équipe nationale vs régionale vs club). A  $30^{\circ}.s^{-1}$  les skieurs en équipe nationale (3,98 N.m.kg<sup>-1</sup>) avaient des pics de couple similaires aux skieurs régionaux (3,88 N.m.kg<sup>-1</sup>) et significativement plus élevés que les skieurs en club (3,44 N.m.kg<sup>-1</sup>). A  $180^{\circ}.s^{-1}$ , les trois groupes étaient superposables (Brown, et al., 1983)

Abe a comparé la force concentrique, excentrique de flexion et d'extension des jambes chez neuf skieuses japonaise élites et 10 skieuses de niveau scolaire. Les pics de couple excentriques absolues des extenseurs (respectivement 234 vs 201 N.m) et fléchisseurs (115 vs 100 N.m) étaient significativement plus grands chez les élites ; il en était de même s'ils étaient rapportés au poids (3,77 vs 3,31 N.m.kg<sup>-1</sup>). L'étude n'a pas montré de différence pour les contractions concentriques ou isométriques (Abe, et al., 1992). Ainsi, la force isocinétique à faible vitesse angulaire a été considérée comme étant un facteur prédictif de la performance.

#### **1.3.1.3.2. Evaluations isométriques :**

Les skieurs développent également d'importantes forces isométriques maximales : les skieurs suédois de niveau international développaient, genou à  $90^{\circ}$  de flexion, des forces de 2874 N pour les hommes et 1844 N pour les dames (Karlsson, et al., 1978). La force isométrique développée par les hommes était meilleure que celle des sprinteurs et les volleyeurs.

Haymes a montré que les skieurs alpins avaient, genoux à  $115^{\circ}$  de flexion, une plus grande force isométrique des extenseurs du genou (hommes = 3078 N, femmes = 2194 N) que les skieurs nordiques du même sexe (Haymes, et al., 1980).

Abe n'a pas montré de différence de force isométriques, genoux fléchi à  $100^{\circ}$ , chez les skieuses japonaises en élites ou de niveaux scolaire (Abe, et al., 1992). Ainsi, la force

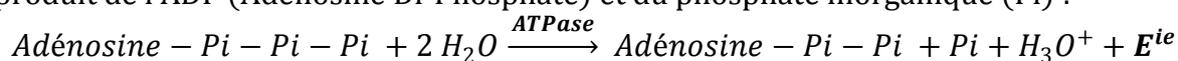
isométrique ne serait pas un facteur prédictif de la performance.

Ainsi, les skieurs alpins auraient des forces musculaires très développées aux membres inférieures par rapports aux autres athlètes. Cela répondrait aux nécessités de ce sport qui requière de rapides et puissantes salves de contraction excentrique (avec un déplacement articulaire relativement lent) et isométrique en réponses aux fortes contraintes auxquelles ils sont soumis (Eriksson, et al., 1977)(Piper, et al., 1987)(Steadman, et al., 1987) (Bacharach, et al., 1995)(Hintermeister, et al., 2000).

### 1.3.2. Aspects métaboliques ski alpin :

#### 1.3.2.1. Rappel sur les principales filières énergétiques :

L'ATP (Adénosine Tri-Phosphate) est le seul substrat énergétique directement utilisable par le muscle. C'est la l'hydrolyse de la liaison entre les deux derniers phosphates qui libère l'énergie stockée par cette liaison ( $7,3 \text{ kcal.mol}^{-1} = 30,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$  en condition standard). Cette réaction est catalysée par une enzyme, l'ATPase, et produit de l'ADP (Adénosine Di-Phosphate) et du phosphate inorganique (Pi) :



Or, l'organisme ne dispose que d'une réserve extrêmement réduite d'ATP [5 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais soit (Monod, et al., 1997)]. Ainsi, pour permettre la prolongation de l'effort il est nécessaire d'entretenir les stocks d'ATP.

Cela est possible grâce à des réactions de phosphorylations : ajout d'un groupement phosphate à de l'ADP :



Trois filières métaboliques (cf. Tableau 5) complémentaires permettent le renouvellement de l'ATP :

- la filière anaérobie, ne nécessitant pas d'oxygène :
  - o anaérobie alactique,
  - o anaérobie lactique (*glycolyse anaérobie*),
- la filière aérobie (*phosphorylation oxydative*), possible en présence d'oxygène

**Tableau 5 : Filières énergétiques et caractéristiques**

Caractéristiques	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie
Délai d'intervention	NUL	De 15 à 20 secondes	1 à 3 minutes
Puissance	très élevée 400 kJ.min <sup>-1</sup> sédentaire 750 kJ.min <sup>-1</sup> sportif	Elevée 200 kJ.min <sup>-1</sup> sédentaire 500 kJ.min <sup>-1</sup> sportif	Dépend VO <sub>2</sub> max 60 à 120 kJ.min <sup>-1</sup>
Capacité	très faible 25 à 46 kJ.min <sup>-1</sup>	Faible 95 à 120 kJ.min <sup>-1</sup>	très élevée dépend du % de VO <sub>2</sub> max utilisé et du niveau d'endurance du sujet.
Rendement	Elevé 41%	26%	Variable d'un individu à l'autre
Facteurs limitant	Epuisement des réserves en phosphagènes (PCr...)	acide lactique dans la cellule et baisse du pH cellulaire (acidité)	VO <sub>2</sub> max et épuisement du glycogène
Lieu de production dans la cellule	Cytoplasme cellulaire au niveau des filaments d'actine et de myosine	Cytoplasme cellulaire (extra mitochondrial)	mitochondrie
Produit final	ADP, AMP et Créatine	Acide lactique	H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub>
Durée de la récupération après solicitation maximale	Reconstitution totale des réserves ATP et PCr : 6 à 8 minutes.	Métabolisme totale (oxydation et néoglycogénèse) du lactate : 1h30	Reconstitution du glycogène 24 heures

Source : L'éducateur sportif (Thill, Blareau, Cazorla, Doutreloux, Fleuridas) éditions Vigot 2001.

Cité par (Grenier, et al.)

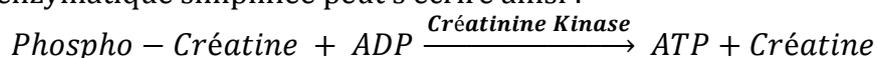
### 1.3.2.1.1. La filière anaérobie alactique :

Cette filière est la plus simple et fait appel soit à l'ADP soit au système ATP-PCr (Phospho-Créatine ou Créatine Phosphate).

La condensation deux molécules d'ADP en ATP et AMP (Adénosine Mono-Phosphate) intervient dans le cas où il y a peu d'ATP et beaucoup d'ADP dans la cellule. L'équation enzymatique peut s'écrire ainsi :



La PCr est un composé phosphoré qui possède une liaison phosphate riche en énergie. La rupture de cette liaison libère cette énergie qui ne servira pas directement au travail cellulaire, mais à la reconstitution des stocks d'ATP. Cette réaction est catalysée par la Créatine-Kinase ou Créatine-Phospho-Kinase (CK ou CPK) ; elle produit du Pi et de la créatine. L'énergie libérée sert à créer une liaison entre ce Pi et une molécule d'ADP. L'équation enzymatique simplifiée peut s'écrire ainsi :



Les stocks de PCr sont de l'ordre de 20 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais. Après épuisement, les réserves sont reconstituées dès la première minute à 80% après un exercice dynamique et à 66% après un exercice statique (Monod, et al., 1997).

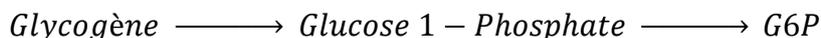
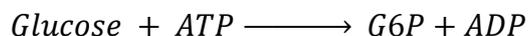
Ce processus très direct et rapide permet le renouvellement de l'ATP et ne nécessite aucune structure cellulaire particulière. Il ne nécessite pas d'oxygène et ne produit pas d'acide lactique, d'où son nom : métabolisme anaérobie alactique. Il est sollicité dès les premières secondes de l'effort et peut subvenir à des exercices musculaires intenses (de 400 à 750 kJ.min<sup>-1</sup>), comme le sprint, mais le maintien des stocks d'ATP n'est possible que pendant une courte durée : 3 à 15 secondes. Au-delà, il doit être fait appel aux autres processus métabolique.

### 1.3.2.1.2. La filière anaérobie lactique.

Le système glycolytique anaérobie est une autre source de production d'ATP, ne nécessitant pas d'oxygène, mais produisant de l'acide lactique.

Elle repose sur l'hydrolyse du glucose (glycolyse) ou du glycogène (glycogénolyse) par une cascade enzymatique complexe. Nous allons rapidement décrire cette cascade :

Pour fournir de l'énergie, le glucose ou le glycogène doivent-être transformé en glucose-6-phosphate (G6P) avant de suivre une cascade commune. La transformation du glucose en G6P consomme 1 molécule d'ATP, alors que la transformation du Glycogène n'en consomme pas :



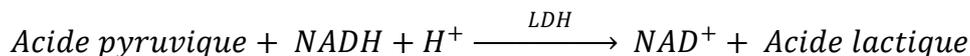
La glycolyse commence à partir du G6P et compte une dizaine d'étapes. Elle s'achève avec la formation d'acide pyruvique :



Cette cascade nécessite la présence d'un accepteur d'Hydrogène : la Nicotine Adénine Dinucléotide (NAD<sup>+</sup>) :



En l'absence d'oxygène, la régénération du  $NAD^+$  à partir du  $NADH + H^+$  s'effectue par le transfert d'hydrogène sur l'acide pyruvique aboutissant à la formation de d'acide lactique. Cette réaction est catalysée par la Lactate Déshydrogénase (LDH) :



Le gain net de ce processus est de :

- 3 molécules d'ATP par molécule de glycogène hydrolysé ;
- 2 molécules d'ATP par molécule de glucose hydrolysé (en raison de la consommation initiale d'une molécule ATP).

Ainsi, avec sa cascade enzymatique, cette filière est plus complexe et moins directe que le système ATP-PCr. Elle se met en route très rapidement et permet de satisfaire à des efforts intenses (puissance 200 à 500 kJ.mn<sup>-1</sup> suivant l'entraînement du sujet).

Le facteur limitant essentiel de la glycolyse est l'accumulation d'acide lactique dans le muscle et dans les milieux liquidiens de l'organisme : lors d'exercice très intense, de 1 à 2 minutes, la sollicitation du système glycolytique est telle que les concentrations musculaires d'acide lactiques peuvent passer de 1 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais au repos à 25 mmol.kg<sup>-1</sup> de muscle frais. Cette acidification des fibres musculaires altère le fonctionnement enzymatique de la glycolyse, inhibe la dégradation du glycogène, diminue les capacités de libération de calcium et par là-même le pouvoir contractile des fibres (Wilmore, et al., 2004).

Si l'exercice se prolonge, les systèmes anaérobies (alactique et lactique) ne suffisent plus. Ils ne sont pas capables de subvenir aux besoins énergétiques lors d'effort très intense durant plus de 2 minutes, ni même lors d'exercices prolongés de faible intensité. Il doit alors être fait appel au processus oxydatif.

#### **1.3.2.1.3. La filière aérobie :**

Cette filière nécessite la présence d'oxygène (système oxydatif). Elle est la plus complexe des trois et repose sur la respiration cellulaire au niveau mitochondrial.

Comparé au système anaérobie, l'oxydation cellulaire de substrats a le meilleur rendement de production d'ATP. 3 familles de substrats peuvent-être utilisées :

- Glucides ;
- Lipides ;
- Protéines ;

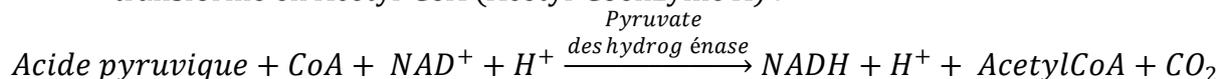
##### **1.3.2.1.3.1. L'oxydation des glucides :**

Elle nécessite 3 processus : la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne de transport des électrons :

- La glycolyse :

La glycolyse (dégradation du G6P en acide pyruvique) est identique pour le processus aérobie et anaérobie, en présence ou non d'oxygène.

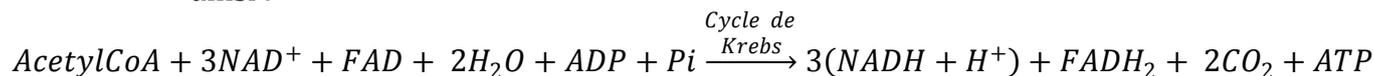
En présence d'oxygène, l'acide pyruvique subira une décarboxylation et sera transformé en Acetyl-CoA (Acetyl-Coenzyme A) :



- Le cycle de Krebs (ou cycle de l'acide citrique) :

Une fois formé, l'acétyl-CoA entre dans une série complexe de réactions chimiques permettant l'oxydation complète de l'acétyl-CoA. A la sortie du cycle, 2 moles d'ATP sont produites et le substrat initial est dégradé en  $\text{CO}_2$  et en Hydrogène. Le  $\text{CO}_2$  diffuse ensuite facilement hors des cellules et sera transporté

par le sang jusqu'au poumon où il sera rejeté. Nous pouvons résumer l'équation ainsi :



- La chaîne de transport des électrons :

Pour éviter l'acidification du milieu (baisse du pH) liée à l'accumulation d'hydrogène, l'acide pyruvique peut être transformé en lactate, comme nous l'avons vu plus haut, mais ce système est insuffisant pour faire face à la quantité d'hydrogène libérée par le cycle de Krebs. La chaîne de transport des électrons est ainsi mise en jeu :

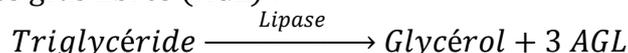
L'Hydrogène libéré par la glycolyse et le cycle de Krebs est transporté par le NAD<sup>+</sup> et FAD (Flavine Adénine Dinucléotide) vers la chaîne de transport des électrons. L'Hydrogène est alors divisé en proton et électron. A la fin de la chaîne, les ions H<sup>+</sup> se combinent à de l'oxygène pour former de l'eau, évitant l'acidification du milieu. Les électrons libérés fournissent l'énergie nécessaire à la phosphorylation de l'ADP en ATP. Comme ce processus nécessite de l'oxygène, il est appelé phosphorylation oxydative.

L'énergie libérée par l'oxydation d'une molécule de glycogène produit de 39 molécules d'ATP (38 ATP pour une molécule de glucose).

1.3.2.1.3.2. L'oxydation des lipides ou lipolyse :

Parmi les nombreux lipides (phospholipides, cholestérol, triglycérides...), seuls les triglycérides sont généralement utilisés pour fournir de l'énergie. Les triglycérides, formés de trois acides gras et d'un glycérol, constituent une réserve énergétique très importante et sont stockés dans les fibres musculaires et les adipocytes.

Les triglycérides pour être métabolisés sont d'abord dégradés sous l'action de la lipase en glycérol et 3 acides gras libres (AGL) :



Une fois libre, les AGL vont passer dans le sang et pénétrer dans les fibres musculaires par diffusion passive. La vitesse de pénétration est donc dépendante du gradient de concentration. Une fois dans le muscle, les AGL sont activés par des enzymes puis catabolisés dans les mitochondries par β-oxydation. Cette activation consomme de l'ATP.

Au cours de la β-oxydation, la chaîne de carbones des AGL est découpée par couple de carbones, qui formeront des acides acétiques. 1 AGL formé de *n* carbones produira  $\frac{n}{2}$  molécules d'acide acétique. Chaque acide acétique sera ensuite converti en Coenzyme A. Ce dernier rejoindra le cycle de Krebs et l'hydrogène libéré sera transporté vers la chaîne de transport des électrons (cf. ci-dessus).

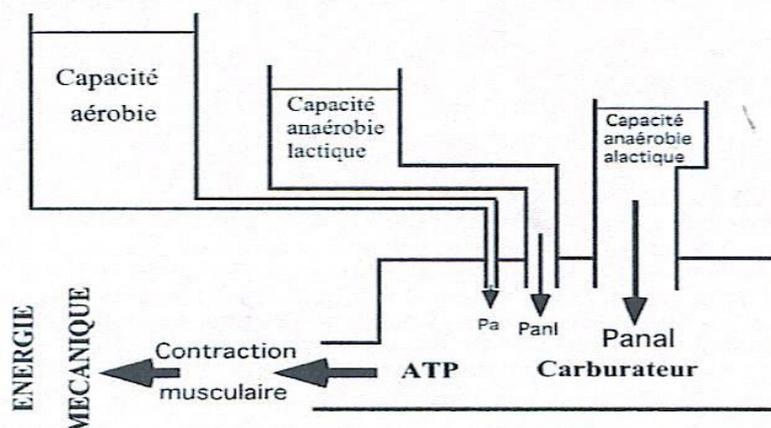
Ainsi, les sous-produits de l'oxydation des AGL sont : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et de l'ATP. Par exemple, une molécule d'acide palmitique (AGL à 16 carbones) produira au total 129 ATP

1.3.2.1.3.3. L'oxydation des protéines :

Les protéines peuvent également servir de substrat énergétique : certains acides aminés (AA) peuvent être convertis en glucose (néoglucogenèse), d'autre en composé intermédiaires du métabolisme oxydatif (pyruvate ou acétyl-CoA).

Cette source énergétique ne représente pas plus de 5% de l'énergie totale dépensée.

**Figure 2 : Modélisation du fonctionnement des trois métabolismes énergétiques à l'aide d'un carburateur de moteur à explosion selon Garrigues.**



(Pa : puissance aérobique ; Panl : Puissance anaérobie lactique ; Panal : Puissance anaérobie alactique)

Pour résumer, il peut-être considéré que la resynthèse d'ATP, source d'énergie musculaire, se fait à l'aide de trois moteurs fonctionnant simultanément mais qui tournent à des régimes différents suivant les phases et l'intensité de l'effort (cf. Figure 2).

### **1.3.2.2. Intérêt du métabolisme anaérobie en ski alpin :**

Les manches de ski alpin durent entre 45 s à 2 min 30 s. Ainsi, cette activité physique est considérée bioénergétiquement comme « courte et intense » (Brown, et al., 1983)(Grenier, et al.). De nombreux auteurs le considèrent comme étant de nature plus anaérobie qu'aérobie, avec une participation croissante du métabolisme aérobie avec l'allongement de la durée des épreuves (Eriksson, et al., 1977)(Tesch, et al., 1978) (Bosco, et al., 1994)(Bacharach, et al., 1995)(Tesch, 1995).

La forte contribution anaérobie lactique (cf. paragraphe 1.3.2.4.) serait favorisé, entre autre, par :

- le travail statique (isométrique) intense de quelques groupes musculaires (Eriksson, et al., 1978)(Veicsteinas, et al., 1984)
- la position (inclinaison des chaussures de ski et angle de flexion des genoux (Tesch, et al., 1978)).

Nous allons décrire les tests de la puissance maximale anaérobie et de fatigabilité ainsi que la mesure du lactate. Ces paramètres ont été utilisés pour évaluer et décrire l'implication de ce métabolisme en ski.

#### **1.3.2.2.1. Puissance Anaérobie :**

Chez le skieur, le test de puissance les plus utilisés sont (Hintermeister, et al., 2000) :

- le test de détente verticale (VJ ou *vertical jump*) ;
- le test de détente répétées sur 60 secondes ;
- le test de l'escalier de Margaria-Kalamen ;
- le *Wingate*.

La réalisation des tests de détente vertical et le test de l'escalier de Margaria-Kalamen nécessite généralement moins d'une seconde. Ils reflètent essentiellement le système anaérobie alactique et d'une manière moindre la glycolyse anaérobie.

Les autres tests sont plus longs et mettent en jeux de façon prédominante le métabolisme anaérobie lactique, bien que les autres métabolismes puissent intervenir à des degrés moindres.

Nous allons maintenant décrire l'intérêt de ces tests.

#### 1.3.2.2.1.1. Test de détente verticale :

Il teste la puissance instantanée des membres inférieurs.

Pour Karlsson, la détente moyenne des skieuses serait de 50 cm et celle des skieurs de 66 cm. Ces valeurs seraient stables sur plusieurs saisons, malgré l'augmentation de la force musculaire isométrique (Karlsson, et al., 1978). En comparaison à d'autres sportifs, les volleyeurs, les joueurs de basket-ball, les sprinteurs et les sauteurs (en athlétisme) auraient de meilleures facultés de détentes que les skieurs. Karlsson justifie cette différence par la spécificité du ski qui ne nécessite par de mobilisation articulaire rapide d'une part et d'autre part, sollicite les muscles mollets de façon moindre.

Pour White, ce test serait le deuxième meilleur indicateur permettant de prédire la performance (White, et al., 1991). Les études rapportant les relations des tests à la performance seront décrites au paragraphe 1.4.2.2.

#### 1.3.2.2.1.2. Test des escaliers de Margaria-Kalamen :

Il a été utilisé par Haymes pour évaluer la puissance des skieurs alpins. Les hommes auraient une puissance significativement plus grande que les femmes. Et elle serait corrélée significativement pour les hommes, avec les points FIS en SL ( $r = 0,64$ ) et en GS ( $r = 0,8$ ) (Haymes, et al., 1980).

#### 1.3.2.2.1.3. Test de détente verticale répétée :

Pour White, le travail moyen lors d'un test de détente verticale répétée de 60 secondes serait le meilleur discriminant du rang de classement des skieuses et des skieurs (White, et al., 1991).

#### 1.3.2.2.1.4. Test de Wingate

Il permet d'évaluer la puissance moyenne, la puissance de crête et un indice de fatigabilité.

Stark a comparé des descendeurs et des slalomeurs à l'aide d'un test de Wingate de 90 secondes (Stark, et al., 1987). Il a constaté que :

- les slalomeurs auraient une meilleurs puissance de crête ;
- les descendeurs auraient une meilleure puissance moyenne ;
- les courbes de puissance entre les slalomeurs et les descendeurs se croisent après une quarantaine de secondes ;
- les slalomeurs auraient une plus grande fatigabilité.

Ainsi, Stark préconise que chez les skieurs la durée de tests de Wingate soit au moins supérieure à 40 secondes. Ces préconisations concordent avec celles émiert par Simoneau (Simoneau, et al., 1983) et par Bacharach (Bacharach, et al., 1995) qui conseillent la réalisation de Wingate de 90 secondes chez les skieurs alpins.

Duvillard & Knowles ont effectué des tests de Wingate chez des skieuses juniors ( $n=14$ ) et des skieurs juniors ( $n=12$ ) en faisant varier la durée (30, 60, 90 et 120 secondes) et la résistance (50, 75 et 90  $g \cdot kg^{-1}$ ). Les tests de 60s/ $75g \cdot kg^{-1}$ , 90s/ $50g \cdot kg^{-1}$  et 120s/ $50g \cdot kg^{-1}$  (respectivement durée/résistance) ont fourni les meilleures corrélations entre les valeurs de puissance dégagées et la composition corporelle. La puissance absolue expliquerait moins de 25 % des différences de points USSA (points de la Fédération Américaine de Ski) pour les quatre épreuves alpines (Von Duvillard, et al., 1997).

#### 1.3.2.2.2. Tests de fatigabilité anaérobie :

Karlsson a testé la fatigabilité musculaire d'une contraction isométrique chez des skieurs élites suédois. Il leur était demandé de maintenir 50 % de leur force maximale

isométrique aussi longtemps que possible sur une presse à 90° de flexion. Au final, le temps chez les hommes (92,5 secondes) n'était pas significativement différent de celui des dames (89,3 secondes). Les sujets ayant la force maximale la plus élevée maintenaient la force plus brièvement que les sujets avec moins de force (Karlsson, et al., 1978).

Haymes a testé chez des membres de l'équipe de ski d'Amérique la fatigabilité en comptant le nombre d'extensions isocinétiques (à vitesse angulaire rapide) des jambes avant que le moment de force passe en dessous de 50 % de la valeur initiale. Aucune différence n'est retrouvée entre les hommes et les femmes (37 contractions). Mais le nombre de contraction était corrélé significativement aux points :

- en SL pour les hommes ( $r=-0,80$ ) et les femmes ( $r=-0,78$ ),
- en GS ( $r=-0,78$ ) chez les hommes (Haymes, et al., 1980).

#### **1.3.2.2.3. Lactate musculaire et sanguin**

Les concentrations de lactate musculaire (mesurée sur biopsie musculaire du vaste latéral) et sanguin (mesuré à partir d'un échantillon de sang capillaire) sont des indicateurs du métabolisme anaérobie.

Chez les skieurs entraînés, la concentration d'acide lactique peut dépasser 20 mmol.L<sup>-1</sup> dans le sang et 30 mmol.kg<sup>1</sup> dans le muscle lors d'exercice intense (Karlsson, et al., 1978)(Tesch, et al., 1978)(Andersen, et al., 1990)(Hintermeister, et al., 2000). Par ailleurs, les mesures effectuées sur le terrain (Tableau 6) reflètent une large participation anaérobie en ski. Différents facteurs seraient en relation avec de telles concentrations de lactate :

- le pourcentage de fibres rapides élevée : en effet, Tesch (Tesch, et al., 1978) qu'il était corrélé aux taux de lactate ( $r = 0,66$ ) ;
- les contractions musculaires isométriques intenses (supérieure à 30-50% de la MVC) : elles feraient obstacle à la perfusion des tissus (Hintermeister, et al., 2000) ; ce mode de contraction est encore plus prédominant chez les skieurs de loisir peu entraînés (Karlsson, et al., 1978) (Karlsson, 1984)(Hintermeister, et al., 2000).
- la position : Tesch a remarqué que la concentration de lactate était influencée par l'inclinaison des chaussures de ski et l'angle de flexion des genoux (Tesch, et al., 1978).

Après une manche de ski ou après une épreuve d'effort maximal réalisé jusqu'à épuisement, le taux de lactate mesuré n'est pas en rapport avec la performance ou avec le niveau des athlètes (Karlsson, et al., 1978). Toutefois, avec des tests évaluant plus le métabolisme anaérobies (Wingate de 60 secondes...) les skieurs de niveau régional (19 mmol.L<sup>-1</sup>) accumulaient plus de lactate que ceux de niveau district (14 mmol.L<sup>-1</sup>) ou club (11 mmol.L<sup>-1</sup>) (Andersen, et al., 1990).

#### **1.3.2.3. Intérêt du métabolisme aérobie en ski alpin :**

Beaucoup d'auteurs ont décrit l'influence des capacités aérobies en ski alpin de compétition mais il persiste un désaccord sur son importance [(Karlsson, 1984)(Karlsson, et al., 1978)(Song, 1982)(Steadman, et al., 1987)(Andersen, et al., 1988)(Plisk, 1988)(White, et al., 1993)(Bosco, et al., 1994)(Tesch, 1995)(Turnbull, et al., 2009)].

La domination de Ingemar Stenmark associée à une très forte valeur de  $\dot{V}O_2 \max$  (71 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) relevée à la fin des années 70, a suscité l'intérêt de la filière aérobie en ski alpin. Le peu d'études traitant du rapport entre la performance en ski et la filière aérobie ont montré une implication très variable de cette filière métabolique. Cependant, il faut souligner que la notion de performance n'est pas unanime dans les études : certains auteurs ont pris en compte des groupes de niveau différent (national, régional, club...) et d'autres les points ou rangs de classement FIS. Plusieurs auteurs

(Haymes, et al., 1980)(Song, 1982)(Neumayr, et al., 2003) ont rapporté une corrélation modérée avec les points FIS alors que d'autres (Brown, et al., 1983)(White, et al., 1991) ont conclu que des skieurs de niveaux différents présentaient des facultés aérobies similaires.

Les valeurs moyennes de  $\dot{V}O_2 \max$ , mesurées sur tapis roulants dans les équipes nationale de ski varient de 52,7 à 68 ml.min.kg<sup>-1</sup> chez les hommes et 53,1 ml.min.kg<sup>-1</sup> chez les femmes [(Karlsson, et al., 1978)(Haymes, et al., 1980)(Veicsteinas, et al., 1984)(Andersen, et al., 1988)(Rusko, et al., 1978)]. Ces résultats placent les skieurs alpins à un niveau intermédiaire sur une échelle d'aptitudes aérobies dont les sportifs situés aux extrêmes pourraient être les sprinters et les skieurs de fond (respectivement 55 et 80 ml.min.kg<sup>-1</sup> chez les hommes). Bien que ces valeurs soient respectables, les capacités aérobies seraient moins importantes chez les skieurs que chez les sportifs d'endurance.

Plusieurs auteurs ont mesuré la consommation d'oxygène au cours du ski en utilisant des sacs de Douglas. Les chercheurs suédois ont mesuré, sur plusieurs manches, la  $\dot{V}O_2$  chez trois skieurs de sexe masculin pendant la seconde moitié d'un GS de 85 secondes. Ils ont rapporté des valeurs allant de 75 à 100 % de  $\dot{V}O_2 \max$ . (Karlsson, et al., 1978) (Eriksson, et al., 1978). La  $\dot{V}O_2$  moyenne des différentes manches représentait de 88 % de leur  $\dot{V}O_2 \max$  (mesurée sur tapis roulant). Pour la dernière manche, où les skieurs devaient « tout donner », la  $\dot{V}O_2$  moyenne représentait 95 % de  $\dot{V}O_2 \max$ .

Deux études italiennes ont examiné le coût énergétique global chez des skieurs internationaux en s'intéressant à la consommation d'oxygène (pendant l'effort et remboursement de la dette d'oxygène) et à la production de lactate sanguin [(Veicsteinas, et al., 1984) ; (Saibene, et al., 1985)]. La contribution aérobie globale représentait de environ de 35 % de la dépense énergétique totale.

Saibene (Saibene, et al., 1985) a montré que la dépense énergétique globale était en GS d'environ 89,4 ml.min.kg<sup>-1</sup>, soit à 120 % de la  $\dot{V}O_2 \max$ . Le métabolisme aérobie représentait 46,4 % du coût énergétique total. Pendant qu'ils skiaient, la  $\dot{V}O_2$  des coureurs atteignait au plus 82 % de  $\dot{V}O_2 \max$ . Les auteurs ont suggéré qu'il serait plus utile aux skieurs alpins d'orienter leur préparation sur la force et la coordination neuromusculaire plutôt que le travail aérobie.

Ainsi, bien que les facultés aérobies aient été à un moment vanté comme un facteur essentiel dans le ski alpin de haut niveau (Karlsson, et al., 1978), depuis le milieu des années 80, l'intérêt qui lui a été porté est retombé. En effet, il a été suggéré que les capacités aérobies les plus élevées rapportées pour quelques compétiteurs pourraient en réalité être le reflet d'adaptation à l'entraînement plutôt qu'en rapport avec la demande réelle de ce sport (Karlsson, 1984).

La relative importance de  $\dot{V}O_2$  mesuré en GS suggère toutefois un effet bénéfique de certains entraînements d'endurance (Hintermeister, et al., 2000). De bonnes capacités aérobies seraient une base essentielle pour satisfaire aux exigences du ski auxquelles s'ajoute le travail en conditions hypoxiques lié à l'altitude. L'amélioration de ces capacités pourrait limiter le risque de blessures liées à la fatigue. Toutefois, prises isolément, elles ne seraient qu'un facteur peu déterminant du succès en ski alpin de compétition (Tesch, 1995).

#### **1.3.2.3.1. Fréquence cardiaque :**

Contrairement au sport d'endurance où la fréquence cardiaque est un bon reflet de la consommation d'oxygène, cette relation ne peut être appliquée aux sports anaérobies comme le ski. L'atteinte de fréquence cardiaque élevée traduirait surtout l'implication de forces importantes (Hintermeister, et al., 2000).

D'autre part, chez les compétiteurs, la fréquence cardiaque au niveau du portillon de départ a été enregistrée entre 130 et 160.min<sup>-1</sup>(Karlsson, et al., 1978) et serait plus vraisemblablement liés à l'anticipation, à l'anxiété et au stress psychologique (Hintermeister, et al., 2000). Plusieurs auteurs ont mesuré la fréquence cardiaque à la fin d'une manche d'entraînement de GS (Karlsson, et al., 1978)(Veicsteinas, et al., 1984) et de DH (Richardson, et al., 1993). Celles-ci étaient situées entre 180–190.min<sup>-1</sup> soit 95 % de la FCmax.

**Tableau 6 : Contribution des métabolismes énergétique lors d'une manche de ski alpin**

Auteurs	effectifs	Genre Niveau	épreuve	$\bar{t}$ en s	$\Delta$ [lact] en mmol.L <sup>-1</sup>	Aérobic %	Anaérobic Lactique %	Anaérobic Alactique %	Dépense énergétique totale en % de $\dot{V}O_2$ max
(Karlsson, et al., 1978)	13	Femmes N	GS	NC	10,1	--	--	--	
	50	Hommes N	GS	NC	13,0	--	--	--	
(Veicsteinas, et al., 1984)	6	Hommes I	SL	55,46 ± 1,17	11,7 ± 2,7	36 ± 5	40 ± 9	24 ± 2	200
	5	Hommes I	GS	70,03 ± 0,74	12,4 ± 1,9	30 ± 5.29	41 ± 8	29 ± 3	160
	5	Hommes C	GS	77,74 ± 3,96	8,8 ± 3,3	38 ± 5.3	32 ± 7	30 ± 4	130
(Saibene, et al., 1985)	8	Hommes I	GS	81,6 ± 3,08	6,8 ± 0,9	46,4	25,3	28,3	120
(Richardson, et al., 1993)	5	Hommes I	DH	90-120	6,0 ± 1,87				
(Grenier, et al.)	3	Fille 14,4 ans	GS	80,7 ± 12,9	5,0 ± 1,4	58	41	Non étudiée	83
	4	Garçon 13,8 ans	GS	73,3 ± 9,9	2,2 ± 1,7	81,7	18,3	Non étudiée	56,6

I = International ; N = National ; T = Témoins (entraîneurs) ; SS = Slalom ; GS = Géant Slalom ;  $\bar{t}$  = temps moyen d'une manche ; NC = non connu

N.B. : dans l'étude de Richardson, le taux de lactate était mesuré 1 minute seulement après l'effort

#### **1.3.2.4. Contributions relatives des systèmes énergétiques :**

Les différents auteurs ne sont pas toujours d'accord sur l'implication relative de filières métaboliques chez le skieur alpin : certains ont soutenu la prédominance du système **anaérobic** [(Andersen, et al., 1987)(Brown, et al., 1983)(Veicsteinas, et al., 1984)(Saibene, et al., 1985)(Stark, et al., 1987)] et d'autres ont soutenue l'intérêt primordial de la filière **aérobic** [(Rusko, et al., 1978)(Haymes, et al., 1980)(Song, 1982)(Andersen, et al., 1987)(Steadman, et al., 1987)(Plisk, 1988)].

En réalité, la quasi-totalité des études physiologiques se rapportant aux skieurs alpins ont été réalisées en laboratoire ; extrêmement peu d'études sur la contribution relatives des différents filières métaboliques en ski ont été réalisées « *in situ* » (Veicsteinas, et al., 1984)(Saibene, et al., 1985)(Grenier, et al.). Nous allons en décrire les principaux résultats ici.

En 1984, Veicsteinas (Veicsteinas, et al., 1984) a étudié 8 skieurs de l'équipe d'Italie (concourant en coupe du monde en GS et SL) et 5 skieurs témoins (entraîneurs) et en 1985, Saibene (Saibene, et al., 1985) a étudié la consommation énergétique en GS chez 8 skieurs italiens de niveau international. Leurs résultats sont synthétisés dans le Tableau 6.

La dépense énergétique totale (aérobic et anaérobic) en GS représente 120% à 160%

de  $\dot{V}O_2 \max$  avec une participation plus importante de la filière anaérobie (alactique et lactique) variant selon les auteurs de 55% à 65%. Chez l'adulte. La forte contribution anaérobie lactique serait en partie liée au travail statique (isométrique) intense de quelques groupes musculaires (Eriksson, et al., 1978)(Veicsteinas, et al., 1984). Le pic de consommation d'oxygène, se produirait dans le dernier tiers d'un parcours de GS (Saibene, et al., 1985) et elle atteindrait des valeurs comprise entre 80% (Saibene, et al., 1985) à 95 % (Karlsson, et al., 1978) de la  $\dot{V}O_2 \max$ .

L'étude de Grenier menée chez l'enfant montre une dépense énergétique moindre qu'au cours d'un GS, ainsi qu'une plus grande implication de la filière aérobie, en rapport avec l'imaturité de la filière anaérobie lactique (Grenier, et al.). Malgré l'absence d'étude similaire sur les autres épreuves, Bacharach et Van Duvillard émettent l'hypothèse que les épreuves techniques – plus courtes – solliciteraient plus le métabolisme anaérobie que les épreuves de vitesse – plus longues – qui demanderaient une contribution aérobie plus importante.(Bacharach, et al., 1995) (Von Duvillard, 1995). Par ailleurs, les travaux de Tesch (Tesch, et al., 1978) suggèrent une implication plus prononcé du métabolisme aérobie chez les skieurs expérimentés par rapport aux non expérimentés.

### 1.3.3. Facteurs affectant le métabolisme:

#### 1.3.3.1. L'influence des types d'épreuves sur le métabolisme :

La plupart des études ont été effectuée en prenant comme référence le GS, afin de tirer des conclusions sur le ski alpin en général. En effet, cette épreuve est un juste milieu entre le SL et la DH (Turnbull, et al., 2009) (Saibene, et al., 1985). Quelques auteurs ont comparés les épreuves entre-elles :

- le GS et le SL (Veicsteinas, et al., 1984)
- le SL à la DH (Bacharach, et al., 1995).

Peu d'études concernent les épreuves apparues plus récemment comme le SG et le SC.

Veicsteinas a estimé que le coût énergétique total était similaire en SL et en GS (Tableau 7). Cependant, le débit énergétique moyen (coût rapporté à la durée) en SL est plus important de 23% qu'en GS, puisque le SL est plus court. Cette différence, certes importante, n'est statistiquement pas significative, probablement en raison de la petite taille de l'échantillon (5 athlètes par épreuve)(Veicsteinas, et al., 1984).

**Tableau 7 : Résultats de l'étude de Veicsteinas (Veicsteinas, et al., 1984).**

	Athlète en SL	Athlète en GS	Témoin en GS
Cout énergétique global (en litre d'O <sub>2</sub> )	7,28 +/- 1,14	7,47 +/- 0,89	6,12 +/-1,45
Durée manche (en s)	55	70	77
Débit énergétique moyen (en litre d'O <sub>2</sub> .min <sup>-1</sup> )	7,87 +/- 1,16	6,4 +/- 0,78	4,72 +/- 1,01
Débit énergétique moyen (en litre d'O <sub>2</sub> .min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	99,2	82,9	66,3
Débit énergétique moyen relatif (en % $\dot{V}O_2 \max$ )	200 %	160 %	130 %

Pour Saibene, la demande énergétique du GS semble peu moins importante que pour Veicsteinas (120% vs 160% de  $\dot{V}O_2 \max$ ), mais il relativise en signalant que les taux de lactate retrouvés (servant au calcul de la dépense énergétique globale) étaient moindres que ceux relevés en compétition (Saibene, et al., 1985)

### **1.3.3.2. Effet de la position et du tonus musculaire :**

Les fortes contractions isométriques en ski, ainsi que la position (flexion des chevilles et de genoux) s'opposeraient à une bonne perfusion tissulaire et limiteraient l'utilisation de la voie métabolique aérobie (Tesch, et al., 1978) (Foster, et al., 1999).

### **1.3.3.3. Effet de l'hypoxie sur le métabolisme aérobie :**

Gladden & Welch en 1978 ont montré que lors d'un effort bref (2 minutes) à intensité maximale, le rendement énergétique était identique en situation d'hypoxie et de normoxie. Concernant les contributions relatives des voies métabolique, la voie anaérobie alactique n'est pas affectée par la baisse de la  $PiO_2$  (Pression partielle en oxygène de l'air inspiré), alors que la voie aérobie et la voie anaérobie lactique le sont de façon linéaire à la  $PiO_2$  : la baisse de la  $PiO_2$  se traduit par une diminution de la  $\dot{V}O_2$  qui est compensée par une augmentation du métabolisme anaérobie lactique (Gladden, et al., 1978).

### **1.3.3.4. Effet combiné d'un environnement froid, hypoxique et hypobare :**

Un tel environnement réduit la pression partielle en oxygène alvéolaire et artériel, entraînant une augmentation du taux de glycolyse et réduisant les stocks de glycogène. Ainsi, ces conditions sollicitent plus significativement le système anaérobie par rapport aux conditions environnementales plus « standard » en termes de pression et de température (Kuno, et al., 1994)(Haman, et al., 2002)(Martin, et al., 1993)(Koistinen, et al., 1995)

Martin a montré que lors de l'inhalation d'un mélange gazeux hypoxique, un athlète entraîné présente une réduction de sa  $\dot{V}O_2 max$  et une désaturation artérielle de l'hémoglobine en  $O_2$  plus importante en proportion qu'un sujets non entraîné lors de l'inhalation d'un gaz hypoxique (Martin, et al., 1993).

Koistinen a mis en évidence une corrélation linéaire entre la  $\dot{V}O_2 max$  et la  $\dot{V}O_2$  au deuxième seuil et la réduction de celle-ci en condition hypobare et hypoxique : plus un athlète présente des capacités aérobies importantes en condition normoxique, plus celle-ci se réduise dans les conditions hypobare et hypoxique (Koistinen, et al., 1995). Ainsi, plus une personne est entraînée, plus son pourcentage de baisse de la  $\dot{V}O_2 max$  augmente avec l'altitude.

Astrand a montré qu'en altitude le  $\dot{V}E max$  augmente, alors que l'extraction d'oxygène et la fréquence cardiaque diminue (Astrand, et al., 1977).

Turnbull synthétise les effets des conditions environnementales sur le métabolisme énergétique ainsi (Turnbull, et al., 2009) :

Altitude

- ⇒ Hypoxie + Hypothermie + Pression hypobare
- ⇒ réduction de l'oxygène disponible
- ⇒ augmentation du débit cardiaque pour répondre à la demande de  $\dot{V}O_2$ .
- ⇒ diminution du temps de contact et de diffusion de l' $O_2$  à travers la membrane des hématies
- ⇒ diminution des pressions partielles alvéolaire et artérielles
- ⇒ désaturation de l'hémoglobine
- ⇒ augmentation de la glycolyse
- ⇒ accumulation de lactate
- ⇒ réduction du seuil lactique

## **1.4. Performance :**

### **1.4.1. Méthodes d'évaluation :**

Selon les auteurs, la performance est évaluée à partir de nombreux paramètres. Ils peuvent-être :

- qualitatifs :
  - o réalisation de course prédéfinie, mais qualitative ;
  - o appartenance à un groupe de niveau :
    - élite / équipe nationale / régionale (ou comité) / district / club
    - entraîné / non entraîné
    - ...

Attention, bien que certaines nations qualifient d'« élites » les athlètes appartenant à leurs équipes nationales, cela ne signifie pas qu'ils soient des skieurs très performants sur la scène internationale. Par exemple Koutedakis (Koutedakis, et al., 1992), Bosco (Bosco, et al., 1994) et Haymes (Haymes, et al., 1980) ont tous étudié des athlètes « élites/internationaux », mais Koutedakis concède que les internationaux grecs étaient de niveau inférieur à ceux des autres études (Koutedakis, et al., 1992).

- quantitatifs :
  - o Chrono sur une épreuve ;
  - o point FIS ou point d'une Fédération Nationale ;
  - o rang de classement FIS ou rang d'une Fédération Nationale ;
  - o nombre de podium ;
  - o ...

### **1.4.2. Performance et facteurs l'influençant dans la littérature :**

Nous allons présenter ici les principales études menées chez les skieurs.

#### **1.4.2.1. Facteurs anthropométriques :**

Certains auteurs ont noté des relations entre la performance et des paramètres anthropométriques.

Haymes (Haymes, et al., 1980) trouve des corrélations significatives entre performance et certains facteurs anthropométriques :

- chez l'homme seulement, entre les points FIS en **SL** et :
  - o %MG ( $r = 0,78$ ) ;
  - o le poids ( $r = 0,76$ ) ;
  - o la MM ( $r = 0,64$ ) ;
- entre les points FIS en **DH** et :
  - o %MG chez les skieuses ( $r = -0,74$ ) et chez les skieurs ( $r = -0,67$ ) ;

Brown (Brown, et al., 1983) a constaté que les athlètes en équipe nationale Canadienne étaient significativement plus lourds ( $77,6 \pm 1,3$  kg) et plus âgés ( $21,9 \pm 0,6$ ) que les athlètes en comité régional ( $71,5 \pm 5,3$  kg ;  $18,6 \pm 0,4$ ) ou en club ( $69,8 \pm 1,0$  kg ;  $17,1 \pm 0,2$ ), alors qu'il n'y avait aucune différence de taille ou de somme de plis cutanés.

White and Johnson (White, et al., 1993) ont également rapporté une corrélation significative ( $r \geq 0,85$ ) entre performance en ski (niveaux international / national / régional) et MM chez les dames et chez les hommes.

A l'inverse, Neumayr (Neumayr, et al., 2003) n'a trouvé aucune corrélation entre les données anthropométriques et les performances. Il explique ce résultat surprenant par

l'existence de facteurs multiples contribuant à la performance.

#### 1.4.2.2. Tests physiologiques :

De nombreux auteurs se sont penchés sur la relation entre la performance en ski et les résultats de certains tests.

Haymes (Haymes, et al., 1980) a montré des corrélations significative entre :

- les points FIS en **SL** et :
  - la puissance évalué par le test de Margaria-Kalamen chez les hommes uniquement ( $r = 0,64$ ) ;
  - le nombre de contraction effectué jusqu'à la perte de 50% du couple de crête (à  $180^{\circ}.s^{-1}$ ) chez les skieuses ( $r=-0,78$ ) et les skieurs ( $r=-0,80$ ) lors de tests isocinétiques ;
- les points FIS en **GS** et :
  - la puissance évalué par le test de Margaria-Kalamen ( $r = 0,80$ ) ;
  - la force développée au cours des tests de détente vertical chez les hommes ( $r = 0,64$ ).
  - le nombre de contraction effectué jusqu'à la perte de 50% du couple de crête (à  $180^{\circ}.s^{-1}$ ) chez les hommes ( $r=-0,75$ ) lors de tests isocinétiques.
- les points FIS en **DH** et la  $\dot{V}O_2max$  (exprimé en  $L.min^{-1}$ ) chez les skieuses seulement ( $r=-0,66$ ).

Song a rapporté une corrélation significative entre la puissance anaérobie mesuré par un test de Wingate de 30 secondes (résistance de  $2,5 kg.m.min^{-1}$ ) et la performance en **DH** ( $r=-0,63$ ) mais pas de corrélation avec les performances en **GS** (Song, 1982).

Brown (Brown, et al., 1983) dans sa comparaison de skieurs de niveaux différents (international, comité et club) a constaté qu'il n'y avait pas de différence entre les skieurs en équipe nationale ou régionale, les skieurs en clubs présentaient des résultats moins importants lors des tests suivants :

- Test de détente vertical (VJ) ;
- *high box test* ou *big-box test* [sauts verticaux latéraux sur des boites de 40 cm de hauteur, le résultat étant le nombre de sauts effectués pendant 90 secondes], le test ayant été réalisé avec les chaussures de ski ;
- test anaérobie sur tapis [course sur un tapis à  $12,9 km.h^{-1}$  avec une pente de 20% ; le résultat étant le temps d'épuisement]
- sur les tests de force isocinétique des membres inférieurs :
  - pic de couple à  $30^{\circ}.s^{-1}$  seulement (pas de différence à  $180^{\circ}.s^{-1}$ )
  - ratio ischio-jambier/quadriceps

Concernant les épreuves d'effort réalisé sur tapis roulant, il a constaté entre les skieurs en équipe nationale et en club [les skieurs en comité n'ont pas réalisé ces EFX] :

- aucune différence de :
  - $\dot{V}O_2 max$  ;
  - $\dot{V}E max$  ;
  - Lactatémie maximale ;
- une FCmax plus basse pour les skieurs en équipe ( $195 vs 204.min^{-1}$ ), mais à relativiser en raison de leur âge plus avancé ( $21,9 vs 17,1$  ans).

Andersen (Andersen, et al., 1990) a rapporté des corrélations entre les « chronos » en **GS** et :

- *high box test* ( $r = -0,80$ ) ;
- *Five double leg jump test* [5 bondissements en avant, le résultat étant la distance parcourues] ( $r = -0,86$ ) ;

- *Hexagonal obstacle test* [6 obstacles de hauteur différente disposés en hexagone, l'athlète saute au dessus de chacun des obstacles en sortant puis en réentrant dans l'hexagone. Le résultat étant le temps mis pour effectuer 3 révolutions dans le sens horaire puis 3 révolutions dans le sens antihoraire] ( $r = 0,82$ ). Mais pour Jasmine, ce test ne serait pas spécifique pour évaluer l'endurance anaérobie des skieurs alpins, mais il serait un bon test d'agilité (Jasmin, et al., 1989).
- Test de détente verticale [*Vertical Jump*] ( $r = -0,57$ )
- Puissance moyenne ( $r = -0,73$ ) lors d'un test de Wingate de 60 secondes (résistance 75 g.kg<sup>-1</sup>).

White and Johnson ont rapporté une corrélation significative ( $r \geq 0,85$ ) entre le niveau de performance en ski (White, et al., 1993) :

- chez les dames et
  - o travail (absolu et rapporté au poids) pendant un test de détente verticale répétées pendant 60 secondes ;
  - o puissance (absolue et rapportée au poids) pendant un test de détente verticale ;
  - o puissance de crête (puissance maximale anaérobie) pendant un test de Wingate de 30 secondes (résistance de 75 g/kg<sup>-1</sup>) ;
- chez les hommes et :
  - o travail moyen pendant un test de détente verticale répétées pendant 60 secondes ;
  - o puissance absolue pendant un test de détente verticale ;
  - o baisse de puissance (indice de fatigabilité) au cours d'un test de Wingate (résistance de 75 g/kg<sup>-1</sup>) de 30 secondes.

Neumayr a mis en évidence plus récemment, une corrélation entre les paramètres aérobie et la performance, dans les deux sexes. Mais cette différence n'a pas trouvé dans le groupe des skieurs polyvalents, mais seulement dans les groupes vitesses et techniques. Par ailleurs, c'est dans le groupe de vitesse – hommes que la corrélation est la plus forte entre le rang de classement en coupe du monde et

- la PMA ( $r = 0,964$  ;  $p = 0,001$ ) ;
- la  $\dot{V}O_2max$  ( $r = 0,964$  ;  $p < 0,001$ ) (Neumayr, et al., 2003).

#### **1.4.2.3. Autres facteurs :**

Beaucoup d'autres facteurs ont été décrits dans la littérature :

- habilités motrices complexes :
  - o de coordination (Karlsson, et al., 1978)(Haymes, et al., 1980)(Brown, et al., 1983)(Atkins, et al., 1984)(Piper, et al., 1987) (Jasmin, et al., 1989) (Andersen, et al., 1990)(Bacharach, et al., 1995)(Neumayr, et al., 2003) ;
  - o de gestion des déséquilibres (Atkins, et al., 1984)(Brown, et al., 1983) (Bacharach, et al., 1995) (Turnbull, et al., 2009) ;
- de souplesse (Brown, et al., 1983) (Atkins, et al., 1984)(Bacharach, et al., 1995) (Neumayr, et al., 2003) (Turnbull, et al., 2009).
  - o d'agilité (Bacharach, et al., 1995) ;
  - o de vélocité (Neumayr, et al., 2003) ;
- Facteurs psychologiques :
  - o Motivation (Neumayr, et al., 2003)
  - o Concentration (Neumayr, et al., 2003)
  - o Gestion du stress (Neumayr, et al., 2003)

## **1.5. L'entraînement des athlètes :**

### **1.5.1. Préparation des athlètes en équipe de France :**

La préparation des athlètes (groupes Coupe du Monde) commence fin avril – début mai, avec du travail foncier (vélo...).

Au cours des mois de juin et juillet, ils poursuivent la préparation physique (travail foncier d'abord, puis musculation) en alternant avec de stages de ski sur glacier en France ou en Europe.

Les deux premières semaines du mois d'août, ils poursuivent leur préparation physique, avant de partir pendant près d'un mois s'entraîner en hémisphère Sud (principalement le Chili pour les groupes « vitesse » [DH et SG] ou Ushuaia en Argentine pour les groupes « techniques » [SL et GS]). Ce stage est très important pour les skieurs, car à la différence des conditions de neige rencontrées en été sur les glaciers, celle-ci sont proches de celle qu'ils retrouveront au cours de la saison en Europe.

A leur retour autour du 20 septembre, ils bénéficient d'une semaine de repos, avant de repartir en octobre pour des stages sur glacier (souvent à Tignes) de 4-5 jours. Le matin, et dédié à l'entraînement de ski et l'après-midi est consacré à la préparation physique. Entre les stages, des rappels de préparation physique sont également organisés (Dechavanne, 2009). Un calendrier d'entraînement et de compétition est présenté en Tableau 8

### **1.5.2. La saison de Coupe du Monde :**

L'ouverture de la Coupe du Monde débute fin octobre- début novembre, ensuite le calendrier des courses est fixé par la FIS (cf. Tableau 9). Généralement, pour limiter les inconvénients des décalages horaires, la FIS rassemble sur une même période les courses se déroulant en Amérique du nord.

En général, chaque site n'accueille que deux épreuves. L'ouverture et les finales de la Coupe du Monde, rassemble en même temps et sur un même lieu des compétitions hommes et dames. Les championnats du monde qui se tiennent tous les deux ans (en 2011 à Garmisch-Partenkirchen, Allemagne) et les JO d'hivers (en 2010 à Vancouver, Canada) accueillent l'ensemble des épreuves masculines et féminines.

La saison internationale se termine mi mars par la finale de Coupe du Monde. Mais la saison de l'athlète n'est pas finie pour autant, car il enchaîne généralement avec ses championnats Nationaux qui se terminent en France début avril.

Tableau 8 : Exemple de calendrier d'une saison d'un skieur en équipe de France

AVRIL		MAI		JUIN		JUILLET		AOÛT		SEPTEMBRE		OCTOBRE	
Je 1		Sa 1		Ma 1		Je 1		Di 1		Me 1	Ushuaia	Ve 1	
Ve 2		Di 2		Me 2	Boulouris	Ve 2		Lu 2		Je 2		Sa 2	
Sa 3		Lu 3		Je 3		Sa 3		Ma 3		Ve 3		Di 3	
Di 4		Ma 4		Ve 4		Di 4		Me 4		Sa 4		Lu 4	
Lu 5		Me 5		Sa 5		Lu 5		Je 5		Di 5		Ma 5	
Ma 6		Je 6		Di 6		Ma 6		Ve 6		Lu 6		Me 6	
Me 7		Ve 7		Lu 7		Me 7		Sa 7		Ma 7		Je 7	
Je 8		Sa 8		Ma 8		Je 8		Di 8		Me 8		Ve 8	
Ve 9		Di 9		Me 9		Ve 9		Lu 9		Je 9		Sa 9	
Sa 10		Lu 10		Je 10		Sa 10	Prep Garm.	Ma 10		Ve 10		Di 10	
Di 11		Ma 11		Ve 11		Di 11	Prep Garm.	Me 11		Sa 11		Lu 11	
Lu 12		Me 12		Sa 12		Lu 12		Je 12		Di 12		Ma 12	
Ma 13		Je 13		Di 13		Ma 13		Ve 13		Lu 13		Me 13	
Me 14		Ve 14		Lu 14		Me 14		Sa 14		Ma 14		Je 14	
Je 15	Zinal	Sa 15		Ma 15		Je 15		Di 15		Me 15		Ve 15	
Ve 16		Di 16		Me 16		Ve 16		Lu 16		Je 16		Sa 16	
Sa 17		Lu 17		Je 17		Sa 17		Ma 17		Ve 17		Di 17	
Di 18		Ma 18		Ve 18		Di 18		Me 18		Sa 18		Lu 18	
Lu 19		Me 19		Sa 19		Lu 19		Je 19		Di 19		Ma 19	
Ma 20		Ve 20		Di 20		Ma 20		Ve 20		Lu 20		Me 20	
Me 21		Je 21		Lu 21		Me 21		Sa 21		Ma 21		Je 21	
Je 22		Sa 22		Ma 22		Je 22		Di 22		Me 22		Ve 22	
Ve 23		Di 23		Me 23		Ve 23		Lu 23		Je 23		Sa 23	
Sa 24		Lu 24		Je 24		Sa 24		Ma 24		Ve 24		Di 24	
Di 25		Ma 25		Ve 25		Di 25	Zermatt	Me 25	Ushuaia	Sa 25	Ouv. Tignes	Lu 25	
Lu 26		Me 26	Majorque	Sa 26		Lu 26		Je 26		Di 26		Ma 26	
Ma 27		Je 27		Di 27		Ma 27		Ve 27		Lu 27		Me 27	
Me 28		Ve 28		Lu 28		Me 28		Sa 28		Ma 28		Je 28	
Je 29		Sa 29		Ma 29	Séminaire DH Val d'Isère	Je 29		Di 29		Me 29		Ve 29	
Ve 30		Di 30		Me 30		Ve 30		Lu 30		Je 30		Sa 30	
		Lu 31				Sa 31		Ma 31				Di 31	

DH = Descente ; EDH = Entraînement descente ; SG= Super-Géant ; GS = Géant-Slalom ; SL = Slalom ; Team : épreuve par équipe SC = Super-Combiné ; Ent = entraînement  
Prep Garm = Préparation Garmisch Partenkirchen

Tableau 8 : Exemple de calendrier d'une saison d'un skieur en équipe de France (suite)

NOVEMBRE		DECEMBRE		JANVIER		FEVRIER		MARS	
Lu	1	Me	1	Sa	1	Ma	1	Ma	1
Ma	2	Je	2	Di	2	Me	2	Me	2
Me	3	Ve	3	Lu	3	Je	3	Je	3
Je	4	Sa	4	Ma	4	Ve	4	Ve	4
Ve	5	Di	5	Me	5	Sa	5	Sa	5
Sa	6	Lu	6	Je	6	Di	6	Di	6
Di	7	Ma	7	Ve	7	Lu	7	Lu	7
Lu	8	Me	8	Sa	8	Ma	8	Ma	8
Ma	9	Je	9	Di	9	Me	9	Me	9
Me	10	Ve	10	Lu	10	Je	10	Je	10
Je	11	Sa	11	Ma	11	Ve	11	Ve	11
Ve	12	Di	12	Me	12	Sa	12	Sa	12
Sa	13	Lu	13	Je	13	Di	13	Di	13
Di	14	Ma	14	Ve	14	Lu	14	Lu	14
Lu	15	Me	15	Sa	15	Ma	15	Ma	15
Ma	16	Je	16	Di	16	Me	16	Me	16
Me	17	Ve	17	Lu	17	Je	17	Je	17
Je	18	Sa	18	Ma	18	Ve	18	Ve	18
Ve	19	Di	19	Me	19	Sa	19	Sa	19
Sa	20	Lu	20	Je	20	Di	20	Di	20
Di	21	Ma	21	Ve	21	Lu	21	Lu	21
Lu	22	Me	22	Sa	22	Ma	22	Ma	22
Ma	23	Je	23	Di	23	Me	23	Me	23
Me	24	Ve	24	Lu	24	Je	24	Je	24
Je	25	Sa	25	Ma	25	Ve	25	Ve	25
Ve	26	Di	26	Me	26	Sa	26	Sa	26
Sa	27	Lu	27	Je	27	Di	27	Di	27
Di	28	Ma	28	Ve	28	Lu	28	Lu	28
Lu	29	Me	29	Sa	29	Ma	29	Ma	29
Ma	30	Je	30	Di	30	Me	30	Me	30
		Ve	31	Lu	31	Je	31	Je	31

DH = Descente ; EDH = Entraînement descente ; SG= Super-Géant ; GS = Géant-Slalom ; SL = Slalom ;  
Team : épreuve par équipe SC = Super-Combiné. ; Ent = entraînement

**Tableau 9 : Calendrier de la Coupe du Monde Homme de Ski Alpin 2010-2011**

Date	Site	Nation	DH	SG	GS	SL	SC	épreuve par équipe	Remarques
Octobre 2010									
24	Sölden	FIS/AUT			X				Ouverture - H&D
Novembre 2010									
14	Levi	FIN				X			H&D
27-28	Lake Louise	CAN	X	X					
Décembre 2010									
03-05	Beaver Creek	USA	X	X	X				
11-12	Val d'Isère	FRA			X	X			
17-18	Val Gardena-Gröden	ITA	X	X					
19	Alta Badia	ITA			X				
29	Bormio	ITA	X						
Janvier 2011									
02	München	GER							épreuve parallèle
06	Zagreb	CRO				X			
08-09	Adelboden	SUI			X	X			
14-16	Wengen	SUI	X			X	X		DH/SL
21-23	Kitzbühel	AUT	X	X		X	K		
25	Schladming	AUT				X			
29-30	Chamonix	FRA	X					X	DH/SL
Février 2011									
05-06	Hinterstoder	AUT		X	X				
08-20	Garmisch-Partenkirchen	GER	X	X	X	X	X	X	WSC
26-27	Bansko	BUL				X	X		SG/SL
Mars 2011									
05-06	Kranjska Gora	SLO			X	X			
12-13	Kvitfjell	NOR	X	X					
16-20	Lenzerheide	FIS/SUI	X	X	X	X		X	Finale H&D
<b>Total</b>	<b>20 sites pour 40 épreuves</b>		<b>9</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>3+K</b>	<b>2</b>	<b>+1 épreuve parallèle</b>

DH = Descente ; SG = Super-Géant ; GS = Géant Slalom ; SL = Slalom ; H&D = homme et dame

## 1.6. Objectifs et justifications :

Le ski alpin est un sport connu pour solliciter la filière anaérobie. L'impact de la filière aérobie sur les performances des skieurs alpins a très peu été étudié. Les rares études ont été faites sur de faibles échantillons, avec des résultats contradictoires.

Notre étude a pour but principal de mettre en évidence, chez les skieurs alpins, l'existence de facteurs physiologiques aérobie prédictifs de la performance globale de la saison où a été réalisée l'épreuve d'effort. L'objectif secondaire de cette étude est d'évaluer l'évolution des paramètres aérobie au cours des saisons.

Beaucoup d'auteurs ont décrits ce sport comme étant de nature multifactorielle (Tesch, et al., 1978)(Veicsteinas, et al., 1984)(Saibene, et al., 1985)(White, et al., 1991)(White, et al., 1993)(Tesch, 1995)(Turnbull, et al., 2009).

Ainsi, une compréhension approfondie des exigences physiologiques spécifiques, de leurs impacts sur l'entraînement, la compétition et la récupération est essentielle pour cibler et optimiser la préparation des athlètes, sans perdre de temps ou d'effort. D'autant plus qu'en période de compétition, les possibilités d'entraînements physique ou technique deviennent limitées par manque de facilité (déplacements nombreux) ou de temps (enchaînement rapide des compétitions).

Cette étude est justifiée par la volonté de la FFS (Fédération Française de Ski) de reformuler ses directives d'entraînement, afin de prêter une attention plus particulière dans la préparation des athlètes sur les qualités qui seraient impliquées dans la performance globale.

## **2. MATERIELS ET METHODES :**

### **2.1. Population :**

#### **2.1.1. Critères d'inclusion :**

Toutes les skieurs alpins inscrits en club et ayant passé une épreuve d'effort triangulaire d'intensité maximale avec mesure des échanges gazeux au centre de Médecine du Sport de Haut Niveau d'Albertville entre 1995 et juillet 2010, ont été inclus dans l'étude.

#### **2.1.2. Critère d'exclusion :**

Ont été exclues de l'étude toutes personnes incluses n'ayant à la même époque :

- ni de point FIS dans au moins une des quatre épreuves de ski alpin (DH, SG, GS, SL ou SC),
- ni de point FFS en alpin.

Au total, 1166 épreuves ont été réalisées, 44 % par des femmes, 56% par des hommes. En moyenne, la skieuse a 19,4 ans, pèse 62,2 kg et mesure 165,8 cm ; le skieur a 20 ans, pèse 75,4 kg et mesure 177,2 cm.

#### **2.1.3. Sous-population :**

La population générale a été répartie en huit sous-populations, selon :

- le genre (skieuses / skieurs),
- l'ergomètre employé lors de l'EFX (tapis-roulant / ergocycle)
- l'appartenance ou non aux équipes de France de ski alpin.

Ainsi huit sous-populations pourront être formées :

- Sous-population F-TR-Eq :
  - Genre : féminin (skieuses)
  - Ergomètre : tapis-roulant
  - Athlètes ayant intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population F-TR-HEq :
  - Genre : féminin (skieuses)
  - Ergomètre : tapis-roulant
  - Athlètes n'ayant jamais intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population F-V-Eq :
  - Genre : féminin (skieuses)
  - Ergomètre : ergocycle
  - Athlètes ayant intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population F-V-HEq :
  - Genre : féminin (skieuses)
  - Ergomètre : ergocycle
  - Athlètes n'ayant jamais intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population H-TR-Eq :
  - Genre : Masculin (skieurs)
  - Ergomètre : tapis-roulant
  - Athlètes ayant intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population H-TR-HEq :
  - Genre : Masculin (skieurs)
  - Ergomètre : tapis-roulant
  - Athlètes n'ayant jamais intégré les équipes de France de Ski

- Sous-population H-V-Eq) :
  - Genre : Masculin (skieurs)
  - Ergomètre : ergocycle
  - Athlètes ayant intégré les équipes de France de Ski
- Sous-population H-V-HEq :
  - Genre : Masculin (skieurs)
  - Ergomètre : ergocycle
  - Athlètes n'ayant jamais intégré les équipes de France de Ski

## **2.2. Type d'étude :**

Il s'agit d'une étude analytique rétrospective, couvrant une période s'étalant sur une quinzaine d'années (de 1994 à 2010).

## **2.3. Matériels utilisés lors des épreuves d'effort :**

### **2.3.1. Mesure des échanges gazeux :**

La mesure des échanges gazeux était assurée à l'aide de l'appareillage METASYS® (modèle TR-M) de BRAINWARE® composé :

- d'un pneumotachographe (mesure instantanée de débit gazeux)
- d'une chaîne d'analyse de l'oxygène et du gaz carbonique
- d'un logiciel informatique dédié permettant spécifiquement le traitement et l'affichage instantané des données recueillies (sous forme de valeur chiffrée et de courbe).

Cet appareil était calibré par un personnel compétent avant chaque EFX

Il permettait de mesurer en temps réel, avec une précision de 1%, les paramètres suivant :

- VT : le volume courant (exprimé en L) ;
- FR : Fréquence respiratoire (exprimé en  $\text{min}^{-1}$ ) ;
- $\text{FeO}_2$  (Fraction expirée d' $\text{O}_2$ ) ;
- $\text{FeCO}_2$  (Fraction expirée de  $\text{CO}_2$ ) ;

A partir de ces mesures, il était alors calculé tous les autres paramètres, dont :

- $\dot{V}\text{O}_2$  : la consommation instantanée d'oxygène (exprimé en  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ;
- $\dot{V}\text{CO}_2$  : la production instantanée de dioxyde de carbone (exprimé en  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ;
- $\dot{V}\text{E}$  : le volume d'air expiré par unité de temps (exprimé en  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ;
- QR : le quotient respiratoire (rapport entre  $\dot{V}\text{O}_2$  et  $\dot{V}\text{CO}_2$ ) ;
- ...

Les données étaient ensuite exportées vers le logiciel TEAM-SANTE® (permettant la gestion de la totalité du dossier médical de chaque athlète).

### **2.3.2. Enregistrement continue de l'ECG 12 dérivations :**

L'enregistrement est assuré par un appareillage CARDIOLINE® (modèle ECT WS 2000) comprenant :

- un électrocardiographe
- un logiciel informatique dédié (WS 2000 Laser version 1.1)

Malheureusement, les données du logiciel CARDIOLINE® ne pouvaient être exportées ni vers le logiciel METASYS® ni vers le logiciel TEAM-SANTE®.

### **2.3.3. Cardio-fréquencemètre :**

Lors des EFX réalisées sur TAPIS ROULANT, un cardio-fréquencemètre (marque POLAR ELECTO OY® modèle T61-CODED) était également utilisé.

Comme pour l'enregistrement électrocardiographique, cet outil nous informait sur la FC en temps réel, mais il avait l'avantage d'être compatible avec le logiciel METASYS® et

ainsi de suivre sur un même tracé les paramètres ventilatoires et la FC.

#### **2.3.4. Mesure de la concentration de lactate**

La concentration d'acide lactique pouvait être mesurée à partir d'une goutte de sang capillaire prélevé au niveau de la pulpe d'un doigt. L'analyse était faite sur place à l'aide de l'appareil MICROZYM® de BIOSENTEC ® ré-étalonné toutes les 2 heures par un personnel aguerri et soumis à un contrôle de qualité tous les 2 ans.

Les résultats étaient ensuite saisis manuellement dans le logiciel TEAM-SANTE®.

#### **2.3.5. Les ergomètres :**

##### **2.3.5.1. Tapis roulant :**

Les tapis roulants étaient :

- de marque Power Job® avant 2005 ;
- de marque h/p/Cosmos® pulsar®. après 2005.

Les données collectées étaient la vitesse et la pente. La vitesse corrigée était calculée en considérant que 1,5% de pente correspond à une élévation de la vitesse de 1km.h<sup>-1</sup>.

##### **2.3.5.2. Ergocycle :**

Les ergocycle utilisés étaient :

- à poids de marque MONARK® 814 E avant 2002 ;
- à frein électromagnétique :
  - o de marque TMmédical® type 4550s entre 2002 et 2009 ;
  - o de marque CYCLUS® après 2009.

Les données collectées étaient la puissance.

#### **2.3.6. Logiciel de suivi des athlètes :**

Le logiciel TEAM-SANTE® était utilisé pour le suivi médical des athlètes.

Il permet de collecter toutes les données médicales concernant les athlètes :

- Données recueillis lors de l'examen médical : (anthropométrique, locomoteur, cardiologique ...)
- Données recueillies lors des épreuves d'effort qu'elles soient aérobies ou anaérobies. Concernant les EFX, une manipulation permettait l'import informatique des données collectées par le logiciel METASYS®. La FC (en l'absence d'utilisation du cardio-fréquence-mètre), la tension artérielle ou la concentration de lactate devaient être saisies manuellement.
- ...

#### **2.4. Protocoles d'EFX :**

Toutes les épreuves étaient réalisés après une visite médicale, cherchant entre-autres à éliminer toute contre-indication. L'encadrement de l'EFX était assuré par une infirmière formée et d'un médecin du sport.

A l'issue de la visite médicale et en fonction des choix de l'athlète, se décidait le protocole à suivre. Les protocoles standards pouvaient être modulés en fonction du sexe, de l'âge, du gabarit de l'athlète

Avant de démarrer l'épreuve, les paramètres de repos étaient enregistrés sur une période de 2 minutes, suivi d'une période d'échauffement.

La durée des paliers était soit de 1,5 minutes si les lactates n'étaient mesurés qu'au moment des seuils, soit de 2 minutes si une cinétique lactique était effectuée (ceux-ci étaient mesurés à chaque palier jusqu'au deuxième seuil ventilatoire).

Une fois le deuxième seuil dépassé, la durée des paliers étaient réduits à 1 minutes, afin d'accéder le plus vite possible aux valeurs maximales et obtenir la VMA ou la PMA

### 2.4.1. Protocole EFX réalisé sur tapis roulant :

Aux premiers paliers, la pente était nulle, la vitesse initiale variait selon l'âge et le sexe : 7km/h chez les jeunes, à 8 km/h chez les femmes et 9 km/h chez les hommes.

L'augmentation de l'effort se faisait d'abord en augmentant la vitesse de 1 km/h par palier jusqu'à atteindre 17 km/h, puis ensuite sur la pente (par incrément de 2 %), comme présenté dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Exemple de protocole d'épreuve d'effort sur tapis roulant.

Durée du Palier (min)	Vitesse (km/h)	Pente (%)	Vitesse corrigée (km/h)	Début de l'épreuve (catégorie)
2	7	0	7	Jeunes
2	8	0	8	Femmes
2	9	0	9	Hommes
2	10	0	10	
2	11	0	11	
2	12	0	12	
2	13	0	13	
2	14	0	14	
2	15	0	15	
2	16	0	16	
2	17	0	17	
2	17	2	18,33	
2	17	4	19,67	
2	17	6	21	
2	17	8	22,33	
2	...	...	...	

### 2.4.2. Protocole EFX réalisé sur ergocycle :

Chez un adulte quel que soit son genre, la puissance initiale était de 90 Watts, et l'incrément de 30 Watts.

Chez les sujets jeunes, la puissance initiale était de 60 Watts et l'incrément de 20 Watts ou 30°Watt selon le gabarit.

### 2.4.3. Critères de maximalité de l'EFX :

Une EFX était considéré comme maximale si elle répondait aux critères suivants :

- Epuisement du sujet ;
- Présence d'au moins deux des critères suivants :
  - o Obtention d'un plateau de  $\dot{V}O_2$  ;
  - o QR supérieur à 1,1
  - o Lactatémie maximale supérieure à 8 mmol.L<sup>-1</sup> ;
  - o Atteinte de la FC maximale théorique (FCMT) :  $FCMT = 220 - \text{âge}$  ;
  - o Epuisement des réserves ventilatoires.

### 2.4.4. Détermination du seuil (deuxième seuil) :

Lorsqu'une cinétique lactique était effectuée au cours de l'EFX, le deuxième seuil correspondait au palier où la lactatémie atteignait 4 mmol.L<sup>-1</sup>.

A défaut de cinétique lactique, il était déterminé à l'aide de la cinétique du QR, éventuellement aidé de la cinétique de  $\dot{V}E$ , de la  $\dot{V}O_2$  et de la  $\dot{V}CO_2$ . Le seuil correspond au palier où le QR=1.

## **2.5. Données recueillies :**

### **2.5.1. Paramètres de performance sportive :**

La performance sportive est jugée sur l'ensemble d'une saison, en prenant en compte les points FIS et le rang de classement pour chacun type d'épreuve de ski alpin.

Les points FIS sont le résultat d'un calcul qui prend en compte le classement du coureur à chacune des courses, ainsi que la difficulté des courses (FIS, 2010). Ainsi, plus les points FIS sont proches de zéro, meilleur est la performance d'un athlète. Cette cotation en point FIS ne débute qu'à partir du niveau cadet, soit l'année des 15 ans.

Ces paramètres ont pu être récupérés directement depuis le site internet de la FIS.

Les épreuves d'effort pouvant être réalisées tout au long de l'année, nous avons décidé de prendre le 15 juillet comme date de bascule entre deux saisons. Ainsi, une épreuve réalisée avant le 15 juillet (inclus) de l'année  $n$  s'est vue attribuer les points de la fin de saison  $(n-1) / n$  ; à l'opposée, une épreuve réalisée après le 15 juillet (inclus) de l'année  $n$  s'est vue attribuer les points de la fin de saison  $n / (n+1)$ .

### **2.5.2. Paramètres sportifs autres :**

Outre les performances, nous avons collecté :

- La spécialité d'un athlète :
  - o Technicien : skieur spécialisé dans les épreuves de slalom et de géant ;
  - o Vitesse : skieur spécialisé dans les épreuves de super-géant et de descente ;
  - o Polyvalent : skieur qui concourt dans tous les types d'épreuves ;
  - o Indéterminé : skieur jeune qui n'a pas encore de spécialisation.
- La sous-spécialisation :
  - o Slalomeur
  - o Géantiste ;
  - o Super-géantiste ;
  - o Descendeur
  - o Technicien sans prédominance pour le slalom ou le géant
  - o Vitesse sans prédominance pour la descente ou le super-géant.
- L'appartenance ou non aux équipes de France (coupe du monde, coupe d'Europe ou relève).

### **2.5.3. Âges et paramètres biométriques :**

Pour cette étude, nous avons analysé pour chaque visite :

- **L'âge**, et la catégorie ;
- **Le genre** (ou le sexe) ;
- **Le poids (P)**, mesuré à l'aide d'un pèse personne avec une précision de 0,2 kg ;
- **La taille (T)**, mesurée à l'aide d'une toise avec une précision de 0,1 cm ;
- **L'indice de masse corporel (IMC) :**

$$IMC = \frac{P \text{ (en Kg)}}{T^2 \text{ (en m)}}$$

- **Le pourcentage d'adiposité (%MG)** obtenu à partir de la mesure des quatre **plis cutanés** (bicipital, tricipital, sous-scapulaire, supra-iliaque selon Heath et Carter) à l'aide d'un adipomètre (pince de Holtain) d'après l'équation de Durnin et Womersley [(Durnin, et al., 1974) et Tableau 11]. Cependant cette méthode surestime légèrement le %MG par rapport à la méthode hydrostatique (Garcia, et al., 2006). Cette méthode est de réalisation simple en pratique courante et elle a été validée dans les deux sexes (Peterson, et al., 2003) et chez les jeunes sportifs (Hodgdon, et al., 1996). L'utilisation du pli supra-iliaque selon la

description de Heath et Carter n'entraînerait pas cette surestimation (Rousseaux-Blanchi, 1991)

- Le **pourcentage de masse maigre (%MM)** et la masse maigre (kgMM) calculée à partir du %MG :

$$\%MM = 1 - \%MG$$

$$kgMM = P \times \%MM$$

**Tableau 11 : Equation de DURNIN et WOMERSLEY**

$\%MG = C - M \times \log_{10} \Sigma_{4\text{plis}}$					
<p>%MG : pourcentage d'adiposité (masse grasse)            C et M : constante dépendante de l'âge et du sexe  <math>\Sigma_{4\text{plis}}</math> : sommes des 4 plis (bicipital + tricipital            + sous-scapulaire + supra-iliaque [selon Heath et carter])</p>					
<b>Hommes</b>	<b>17-19 ans</b>	<b>20-29 ans</b>	<b>30-39 ans</b>	<b>40-49 ans</b>	<b>&gt;50 ans</b>
<b>C</b>	1,620	1,1631	1,1422	1,1620	1,1715
<b>M</b>	0,0678	0,0632	0,0544	0,0700	0,0779
<b>Femmes</b>	<b>17-19 ans</b>	<b>20-29 ans</b>	<b>30-39 ans</b>	<b>40-49 ans</b>	<b>&gt;50 ans</b>
<b>C</b>	1,1549	1,1599	1,1423	1,1333	1,1339
<b>M</b>	0,0678	0,0717	0,0632	0,0612	0,0645

#### 2.5.4. Paramètres physiologiques recueillis au cours des épreuves d'effort :

Au cours des épreuves d'effort, les paramètres suivants ont été recueillis :

##### 2.5.4.1. Paramètres recueillis à intensité maximale :

- $\dot{V}O_2\text{max}$  : consommation maximale d'oxygène, exprimée de trois façons :
  - o brute (en L.min<sup>-1</sup>)
  - o rapporté au poids (en L.min<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup>)
  - o rapporté à la masse maigre (en L.min<sup>-1</sup>.kgMM<sup>-1</sup>)
- $\dot{V}E\text{max}$  (L.min<sup>-1</sup>)
- Lactate maximal (en mmol.L<sup>-1</sup>) : concentration d'acide lactique mesurée à partir d'une goutte de sang capillaire prélevé au niveau de la pulpe d'un doigt 3 minutes après la fin de l'effort.
- FC Max = FC maximale (en bat.min<sup>-1</sup>) atteinte au cours de l'EFX.

- ERCO<sub>2</sub> max (Equivalent respiratoire en oxygène) :

$$ERCO_2\text{max} = \frac{\dot{V}O_2\text{max}}{\dot{V}E\text{max}}$$

- ERO<sub>2</sub> max (Equivalent respiratoire en oxygène) :

$$ERCO_2\text{max} = \frac{\dot{V}CO_2\text{max}}{\dot{V}E\text{max}}$$

- QRmax (Quotient respiratoire) :

$$QR\text{max} = \frac{\dot{V}CO_2\text{max}}{\dot{V}O_2\text{max}}$$

- VMA ou Vitesse corrigée maximale (si EFX faite sur tapis roulant)
- Puissance maximale (si EFX faite sur ergocycle)

#### **2.5.4.2. Paramètres recueillis aux seuils :**

Les mêmes paramètres que ceux cités ci-dessus ont été recueillis au seuil. Ils ont été exprimés de façon « brute » et de façon relative (rapportée à la valeur obtenue à  $\dot{V}O_2max$ ) :

$$\%paramètre = \frac{valeur\ du\ paramètre\ au\ seuil}{valeur\ du\ paramètre\ à\ \dot{V}O_2max}$$

#### **2.5.5. Recueil des données :**

Avant 2005, chaque athlète avait un classeur Excel® contenant plusieurs feuilles qui collectaient les données de chaque visite et de chaque épreuve d'effort réalisée.

Pour récupérer bon nombre de données souhaitées, il a été nécessaire de comparer les fichiers en double voir triple exemplaire, puis de copier les informations souhaitées dans le tableur servant à notre étude.

A compter de 2005, le centre de médecine du sport d'Albertville s'est équipé du logiciel TEAM-SANTE®, facilitant l'exploitation des données : en effet, la société ENORA® qui commercialise le logiciel a mis en place un système d'export automatisé des données vers le tableur servant à notre étude.

### **2.6. Analyses statistiques et traitement des données :**

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (package FactoMineR, dédié à l'analyse factorielle).

#### **2.6.1. Modélisation de la $\dot{V}O_2 max$ selon l'âge par *spline* :**

Pour modéliser la  $\dot{V}O_2 max$  selon l'âge, nous faisons l'hypothèse suivante :

$$\dot{V}O_2 max = f(\text{âge}) + \varepsilon$$

Où « f » désigne une fonction polynomiale et «  $\varepsilon$  » désigne les erreurs (erreurs de mesures, erreurs de modélisation...).

Afin de pouvoir estimer cette fonction polynomiale, un premier lissage par *spline* sera effectué et si nécessaire un *spline* de régression sera effectué pour mieux décrire le modèle.

#### **2.6.2. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques :**

Pour modéliser la relation entre les spécialités (Technique / Polyvalent / Vitesse) en fonction de l'âge, des paramètres anthropométriques (poids, IMC et taille) et physiologiques ( $\dot{V}O_2 max$ , VMA ou PMA...), la méthode CART (ou arbres décisionnels de classification et de régression [*Classification and Regression Tree*]) sera utilisée.

#### **2.6.3. Analyses statistiques multi-variées :**

##### **2.6.3.1. Recodage des performances :**

Les athlètes n'étant pas tous polyvalents, ils n'ont pas obligatoirement de points FIS dans toutes les épreuves. Par exemple, un slalomeur ne faisant pas jamais de descente aura des points en slalom, mais pas en descente.

Cela pouvant poser problème pour des analyses statistiques,

Afin de s'affranchir du problème que peut poser de nombreuses absences de données pour une variable (dans notre exemple, les points en descente), le choix a donc été fait de recoder les paramètres de performances en variables qualitatives.

Ainsi, pour chaque sous-population, le nombre de points d'une épreuve considérée sera découpé en classe de la manière suivante (cf. Tableau 12) :

##### **2.6.3.1.1. « très performants » :**

Cette classe regroupe les 10% des athlètes ayant le moins de point dans le type d'épreuve considéré.

Cette modalité apparaîtra dans les graphiques ou tableaux sous la forme :

SL.point.1 : pour les slalomeurs « très performant » ;

GS.point.1 : pour les géantistes ;

SG.point.1 : pour les super-géantistes ;

DH.point.1 : pour les descendeurs.

#### **2.6.3.1.2. « performants » :**

Cette classe regroupe les 10% suivants, soit le quantile compris entre 10% (exclus) et 20%(inclus) des athlètes classés dans l'ordre croissant de point de l'épreuve considéré. Cette modalité apparaîtra dans les graphiques ou tableaux sous la forme XX.point.2 (où XX correspond à une épreuve)

#### **2.6.3.1.3. « peu performant » :**

Cette classe regroupe le quantile compris entre 20% (exclus) et 60%(inclus) des athlètes classés dans l'ordre croissant de point de l'épreuve considéré.

Cette modalité apparaîtra dans les graphiques ou tableaux sous la forme XX.point.3 (où XX correspond à une épreuve)

#### **2.6.3.1.4. « très peu performants » :**

Cette classe regroupe le quantile strictement supérieur à 60% des athlètes classés dans l'ordre croissant de point de l'épreuve considéré. Il s'agira donc des 40% d'athlète ayant le plus de points dans l'épreuve.

Cette modalité apparaîtra dans les graphiques ou tableaux sous la forme XX.point.4 (où XX correspond à une épreuve)

#### **2.6.3.1.5. « non concernés » :**

Cette classe regroupe les athlètes n'ayant aucun point dans l'épreuve considérée.

Cette modalité apparaîtra dans les graphiques ou tableaux sous la forme XX.point.NC (où XX correspond à une épreuve)

**Tableau 12 : Tableau explicatif du recodage des points FIS en modalité de niveau et points**

modalité	Correspondance points FIS et quantile	Notation dans les tableaux et graphiques
« très performants »	< 10%	XX.point.1
« performants »	]10 ; 20] %	XX.point.2
« peu performants »	]20 ; 60] %	XX.point.3
« très peu performants »	> 60 %	XX.point.4
« Non concernés »	Pas de point	XX.point.NC

Où XX sera SL pour le slalom ; GS pour le Géant ;  
SG pour le Super-Géant et DH pour la descente

#### **2.6.3.2. Analyse en composantes principales (ACP) :**

Cette analyse statistique permet de mettre en évidence des liens statistiques linéaires parmi un grand nombre de variables.

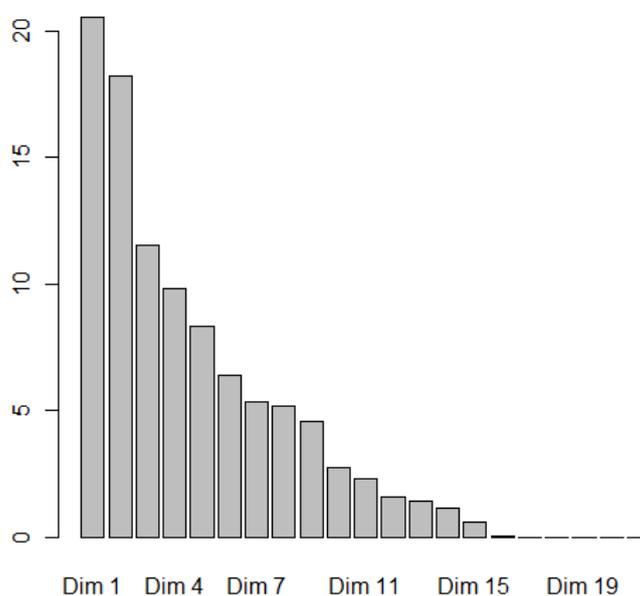
En effet, cette analyse transforme des variables corrélées entre elles en de nouvelles « composantes principales » (ou dimensions ou axes factoriels). Cela permet ainsi de réduire un nombre important de variables en un nombre plus réduit de dimensions restituant le maximum de l'information initiale.

Les variables servant à construire les dimensions sont dites « actives ». Il s'agira dans notre étude des variables physiologiques.

D'autres variables dites supplémentaires (ou illustratives ou explicatives) serviront éventuellement à interpréter les dimensions créées, mais ne serviront pas à leur construction. Dans les ACP de notre étude, toutes les *variables de performances* seront introduites en tant que variables supplémentaires. Elles peuvent être quantitatives (par exemple le rang de classement) ou qualitatives (modalité de performance)

Afin de déterminer ensuite le nombre de composante principale à interpréter, il faut représenter le diagramme en barre (cf. Tableau 13) de l'inertie – proportion de l'information initiale – restitué par chaque composante. Un décrochage sur ce diagramme permet de sélectionner le nombre de dimensions à analyser. Plus celui-ci sera faible, plus les résultats de l'analyse seront pertinents. Dans l'exemple (Tableau 13) il existe un décrochage entre la deuxième et la troisième dimension ainsi qu'entre la cinquième et la sixième.

**Tableau 13 : Exemple de diagramme des inerties**



Cette méthode statistique permet également des représentations graphiques, dont les dimensions serviront d'axes. La première (en abscisse) et la deuxième dimension (en ordonnée) forment le « premier plan factoriel ». Ainsi, l'ensemble des individus représenté initialement dans un espace de grande envergure pourra être représenté dans un espace plus réduit, tout en conservant un maximum d'information.

Il sera possible de visualiser grâce à des cercles de corrélations, les liaisons linéaires existantes entre les différentes variables.

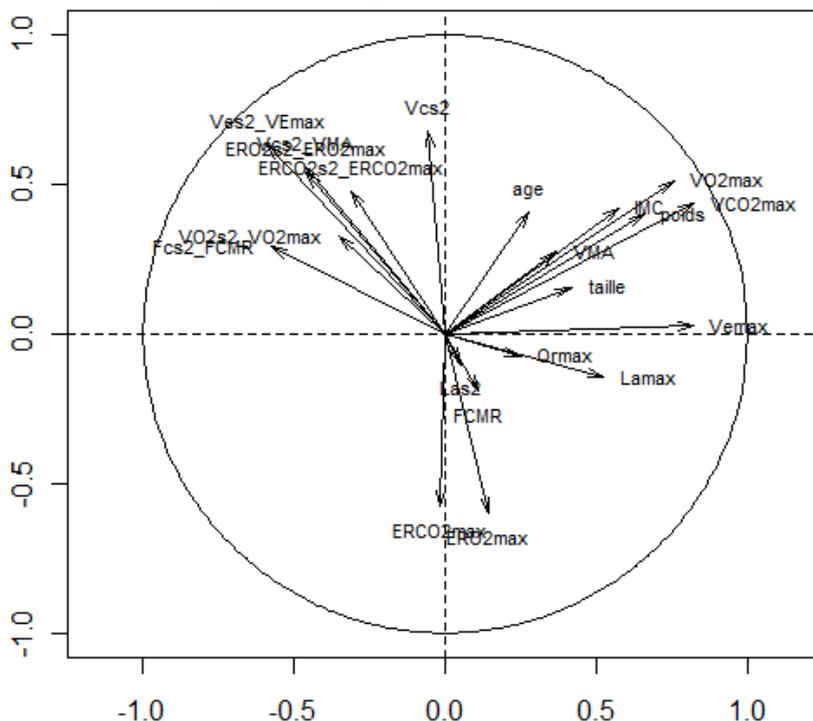
Par exemple, sur la Figure 3, la première dimension (abscisse) est corrélée :

- fortement et positivement à  $\dot{V}E_{max}$  (il faut regarder la projection sur les dimensions)
- très faiblement et négativement à  $ERCO_2$

Par ailleurs, la deuxième dimension est peu corrélée à  $\dot{V}E_{max}$ , et beaucoup plus à  $ERCO_2$  (mais négativement).

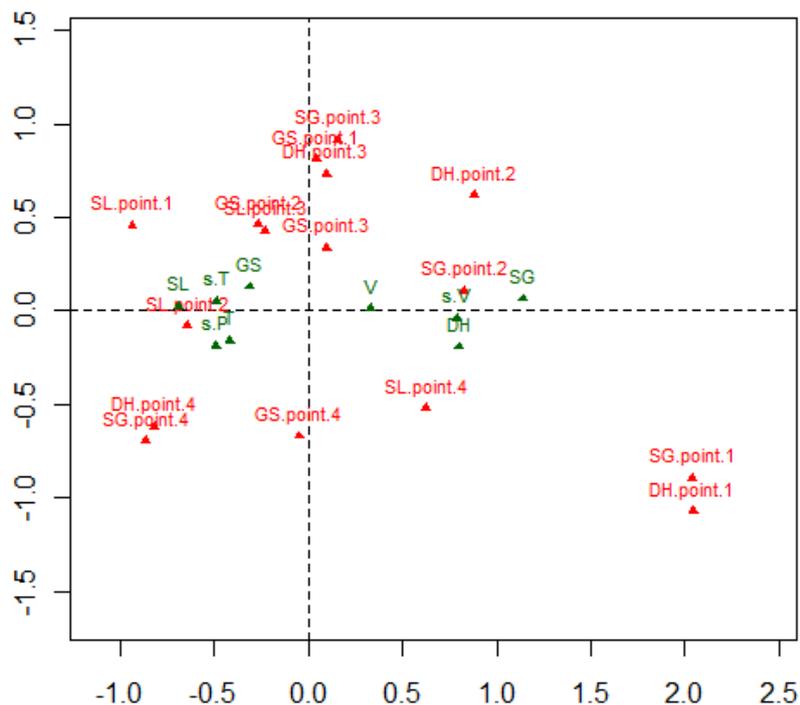
D'une manière plus globale, la première dimension est principalement liée aux facteurs physiologiques maximaux et la deuxième aux valeurs relatives au seuil.

Figure 3 : Exemple de cercle de corrélation



Il est aussi possible de visualiser dans les différents plans factoriels soit chacun des individus ou encore les moyennes de groupes d'individus (par exemple les descendeurs « très performants »...). Par exemple, la Figure 4 situe les groupes d'athlètes dans un plan factoriel. Les modalités « très performants » en descente et en super-géant apparaissent mieux corrélées à la dimension correspondant à l'abscisse.

Figure 4 : Exemple de distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge)



Pour aiguiller l'interprétation des axes de l'ACP, nous disposons :

- du coefficient de corrélation linéaire «  $\rho$  » entre les variables et les dimensions. Compris entre -1 et 1, il est d'autant plus intéressant que sa valeur absolue est proche de 1. Plus sa valeur est proche de 0, plus la corrélation est faible.
- du cosinus carré «  $r^2$  », mesurant la qualité de l'ajustement d'une variable modale à une dimension. Il est compris entre 0 et 1, une valeur proche 0 signifiant une mauvaise qualité d'ajustement, et une valeur proche de 1 une bonne qualité.

Les relations entre les variables supplémentaires quantitatives et les dimensions sont caractérisées par leur coefficient de corrélation «  $\rho$  ».

Pour les variables supplémentaires qualitatives, une analyse de la variance à une dimension sera effectuée : la variable à expliquer correspondant à la dimension concernée (ou plus précisément la moyenne des coordonnées des individus) et la variable explicatives étant la modalité. Un résultat au test (« v.test ») supérieur à 2 en valeur absolue signe une bonne association.

#### **2.6.3.3. Analyse des Correspondances Multiples (ACM) :**

L'ACM permet d'utiliser des variables de type qualitatif pour construire des axes.

Le but est également de résumer un ensemble de données, de détecter des associations entre variables et modalités de ces variables, et de dégager des profils d'individus.

Dans toutes les ACM de notre étude, nous aurons pour variables actives les performances des athlètes découpées en classes (cf. paragraphe 2.6.3.1) et pour variables illustratives seront les capacités aérobies.

En présence de modalités rare (i.e. à faible effectif), les individus correspondant à cette modalité seront répartis aléatoirement dans les autres modalités de la variable. En effet, il est important de ne pas avoir de modalités à trop faible effectif en ACM.

#### **2.6.3.4. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :**

La CAH a pour but de construire des groupes d'individus de sorte que :

- Les différences intra-groupes soient les plus faibles possible, que chaque classe rassemble des individus les plus homogènes possibles vis-à-vis de certaines caractéristiques.
- Les différences inter-groupes soient les plus grandes.

Les différentes CAH effectuées seront effectuées sur les coordonnées des individus déterminés par l'ACP ou par l'ACM, en ne retenant que les dimensions qui restituent 95% de l'information (de l'inertie) initiale, afin de s'affranchir du « bruit statistique ».

La CAH est un moyen de résumer l'information disponible, et de voir des liaisons entre capacités aérobies et performances, en caractérisant les groupes obtenus via ces différents paramètres.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Description de la population :

L'ensemble des résultats est disponible dans l'Annexe 2, nous présenterons donc ici les plus pertinents.

##### 3.1.1. Nombre d'épreuves recueillies :

Il a été recueilli 1166 épreuves d'effort (cf. Tableau 14) :

- 513 (44%) ont été effectuées par des femmes et 653 (56%) par des hommes ;
- 483 (41%) ont été effectués sur ergocycle et 683(59%) sur tapis roulant.

**Tableau 14 : Effectifs par genre, ergomètre et saison**

	Féminin			Masculin			TOTAL
	Ergocycle	Tapis Roulant	Total Femmes	Ergocycle	Tapis Roulant	Total Hommes	
1994/1995	12	23	35	17	38	55	90
1995/1996	8	20	28	7	37	44	72
1996/1997	4	40	44	13	45	58	102
1997/1998	11	37	48	5	36	41	89
1998/1999	5	19	24	5	14	19	43
1999/2000	7	19	26	10	30	40	66
2000/2001	12	24	36	25	29	54	90
2001/2002	2	29	31	11	39	50	81
2002/2003	0	37	37	5	39	44	81
2003/2004	2	31	33	5	23	28	61
2004/2005	18	14	32	20	12	32	64
2005/2006	33	0	33	40	17	57	90
2006/2007	27	4	31	40	7	47	78
2007/2008	28	9	37	23	2	25	62
2008/2009	16	2	18	35	2	37	55
2009/2010	17	3	20	20	2	22	42
<b>Toutes saisons</b>	<b>202</b>	<b>311</b>	<b>513</b>	<b>281</b>	<b>372</b>	<b>653</b>	<b>1166</b>

##### 3.1.2. Age et paramètres anthropométriques :

Le Tableau 15 résume l'âge et les caractéristiques anthropométriques.

**Tableau 15 : âge et données anthropométriques selon le genre**

	FEMMES		HOMMES	
	n = 513		n = 653	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
<b>Age (en année)</b>	19,4	3,8	20,0	4,3
<b>Poids (en kg)</b>	62,2	7,8	75,4	10,4
<b>Taille (en cm)</b>	165,8	5,6	177,2	6,3
<b>IMC</b>	22,6	2,5	23,9	2,5
<b>% MG</b>	21,3	3,8	11,5	2,9
<b>MM</b>	49,1	6,0	67,1	10,0

$\bar{x}$  = moyenne ;  $\sigma$  = écart type ;

%MG = pourcentage de masse grasse ; MM =masse maigre

Nous allons maintenant les détailler, en nous intéressant au genre et aux spécialités des skieurs. Leur évolution par saison sera présentée dans l'Annexe 2.

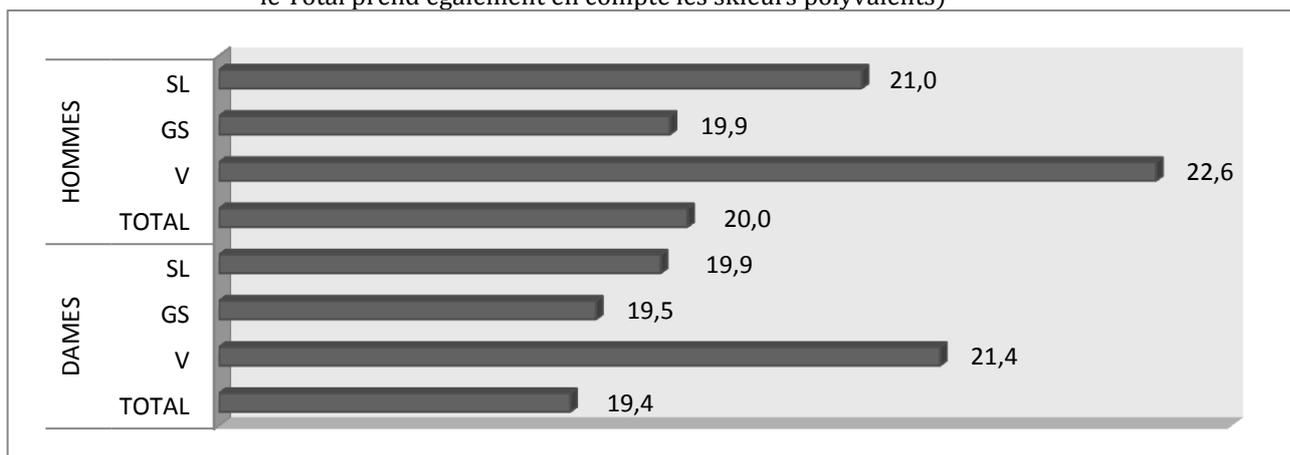
### 3.1.2.1. Age :

La moyenne d'âge est de 20 ans environ quel que soit le genre considéré (Tableau 15 et Figure 5).

Les skieurs spécialisés en vitesse sont plus âgés que les slalomeurs. Les géantistes sont les plus jeunes.

Les différences inter-spécialités observées sont plus discrètes chez les femmes que chez les hommes.

**Figure 5: Âge selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



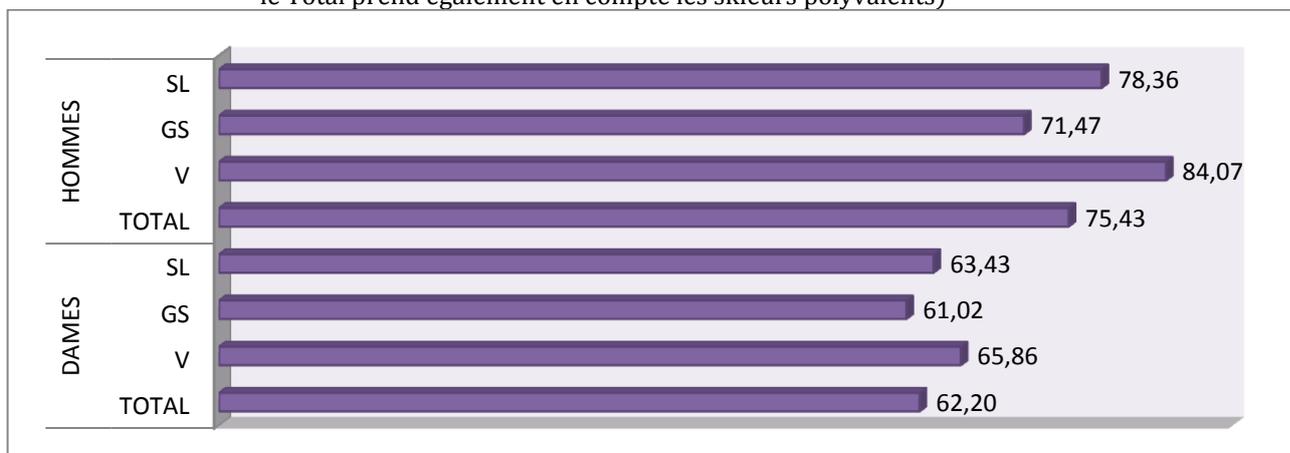
### 3.1.2.2. Poids :

Les hommes sont plus lourds (75.4 vs 62.2 kg) que les dames (Figure 6).

Les skieurs spécialisés en vitesse sont plus lourds que les slalomeurs. Les géantistes sont les plus légers.

Les différences inter-spécialités observées sont moins importantes chez les femmes que chez les hommes.

**Figure 6: Poids selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



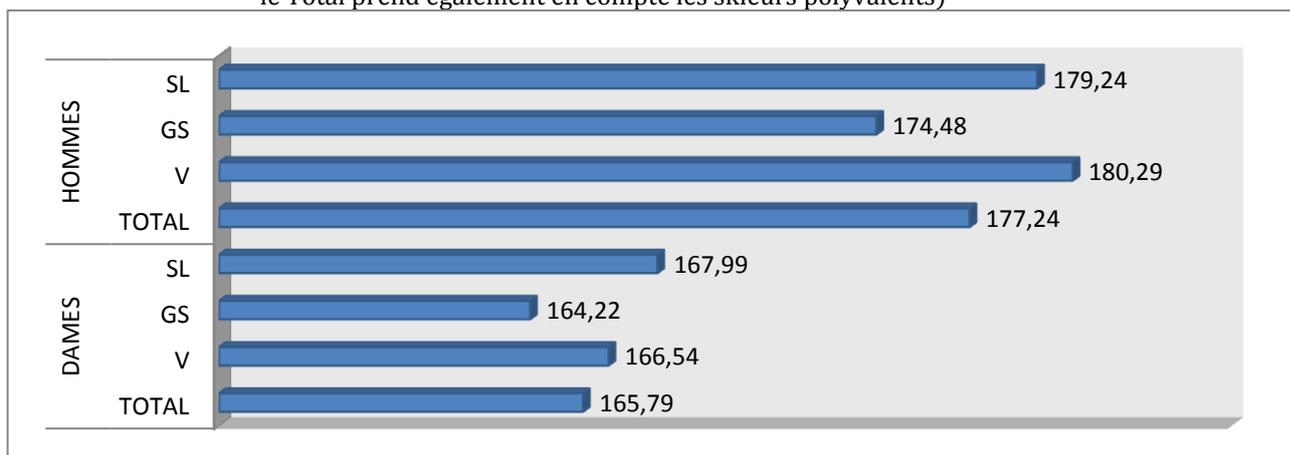
### 3.1.2.3. Taille :

Les hommes sont plus grands (177,2 vs 165,8 cm) que les dames (Figure 7).

Les slalomeuses sont les plus grandes parmi les dames, alors que chez les hommes ce sont les skieurs spécialisés en vitesse. Les géantistes sont plus petits quel que soit le genre considéré.

Les différences inter-spécialités observées sont encore une fois, moins évidentes chez les femmes que chez les hommes.

**Figure 7 : Taille selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



### 3.1.2.4. IMC :

Les hommes ont un IMC plus important (23,9 vs 22,6) que les dames (Figure 8).

Les skieurs spécialisés en vitesse ont l'IMC le plus important quel que soit le genre. Les skieurs ayant l'IMC le plus petit sont les slalomeurs chez les dames et les géantistes chez les hommes.

Les différences inter-spécialités observées sont là encore moins évidentes chez les femmes que chez les hommes.

**Figure 8 : IMC selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



### 3.1.2.5. Masse grasse :

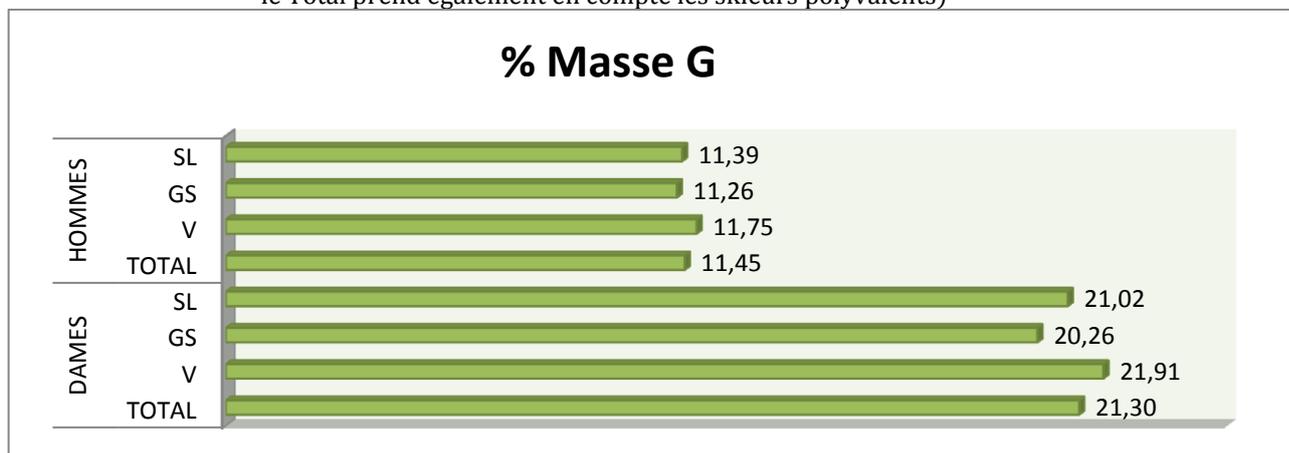
Les hommes possèdent un pourcentage de masse grasse plus bas (11,5 vs 21,3 %) que les dames (Figure 9).

Les différences inter-spécialités sont très faibles et elles sont beaucoup moins évidentes chez les hommes que chez les femmes.

Figure 9 : Pourcentage de masse grasse selon le genre et la spécialité

(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;

le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



### 3.1.2.6. Masse maigre :

Les hommes possèdent une masse maigre plus importante (67,1 vs 49,6 kg) que les dames (Figure 10).

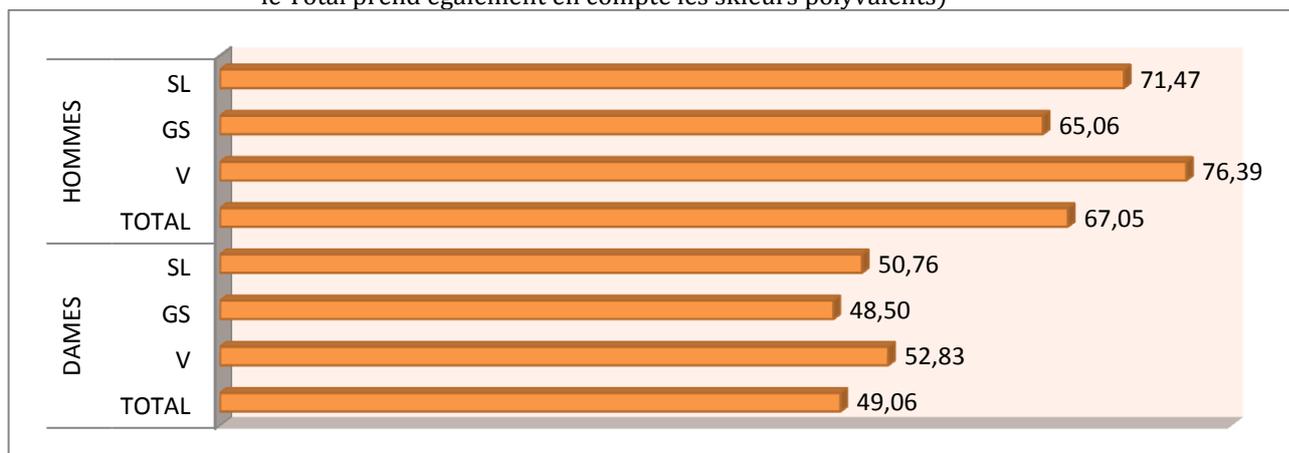
Les skieurs spécialisés en vitesse ont la masse maigre la plus importante ; les géantistes ont la plus faible.

Les différences inter-spécialités observées sont ici aussi moins importantes chez les femmes que chez les hommes

Figure 10 : Masse maigre selon le genre et la spécialité

(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeur ;

le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



### 3.1.3. $\dot{V}O_2 \text{ max}$ :

#### 3.1.3.1. Différences inter-genres :

Les hommes ont une  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  de 30% plus haute (4,50 vs 3,11 m.min<sup>-1</sup>) que les dames (Figure 11). La différence entre les genres s'atténue si l'on prend en compte le poids (16%) ou la masse maigre (5%) [Figure 12].

Sur les Figure 13 et Figure 14, les valeurs des médianes des  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  sont plus élevées chez les hommes que chez les dames.

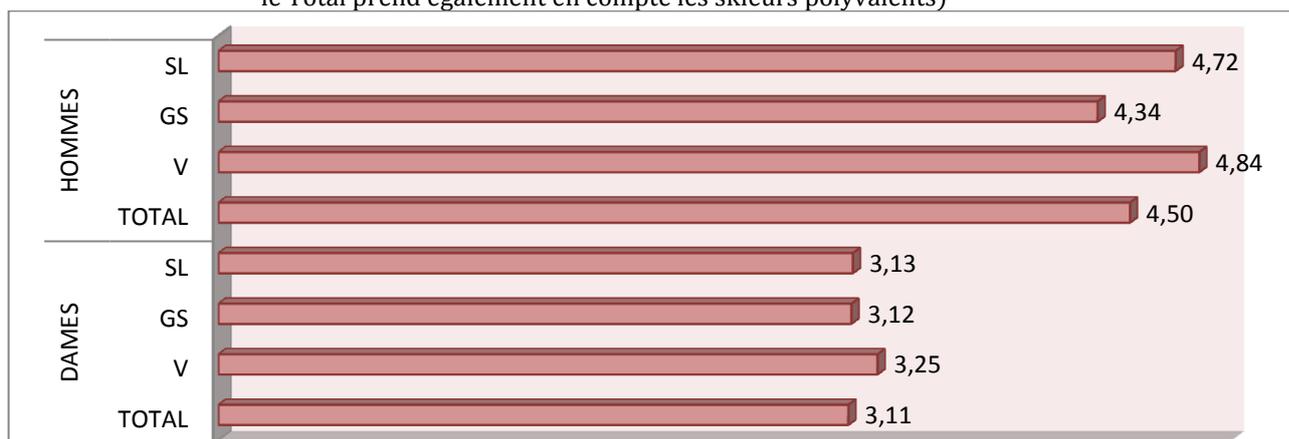
#### 3.1.3.2. Différences inter-spécialités :

Les skieurs spécialisés en vitesse ont la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  brute la plus importante ; les géantistes ont la plus faible. Les différences inter-spécialités observées sont ici aussi beaucoup moins importantes chez les femmes que chez les hommes

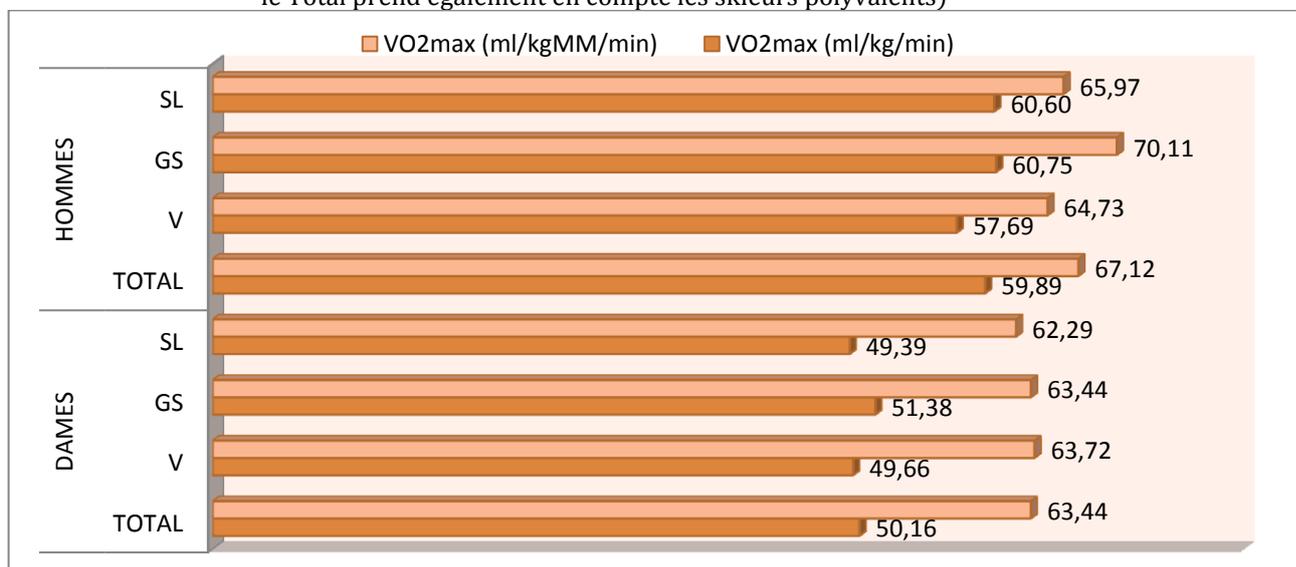
Si la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  est rapportée au poids ou à la masse grasse, les tendances s'inversent chez les hommes : les géantistes ont des valeurs plus importantes. Les spécialistes de vitesse ont les valeurs les plus faibles.

Chez les dames, les plus fortes valeurs de  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  au poids sont observées chez les géantiste. Rapporté à la masse maigre, ce sont de nouveau les spécialistes de vitesse qui présentent les meilleures valeurs.

**Figure 11 :  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  brute selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slaloueur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)



**Figure 12 :  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  en fonction du poids ou de la masse maigre selon le genre et la spécialité**  
(V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slaloueur ;  
le Total prend également en compte les skieurs polyvalents)

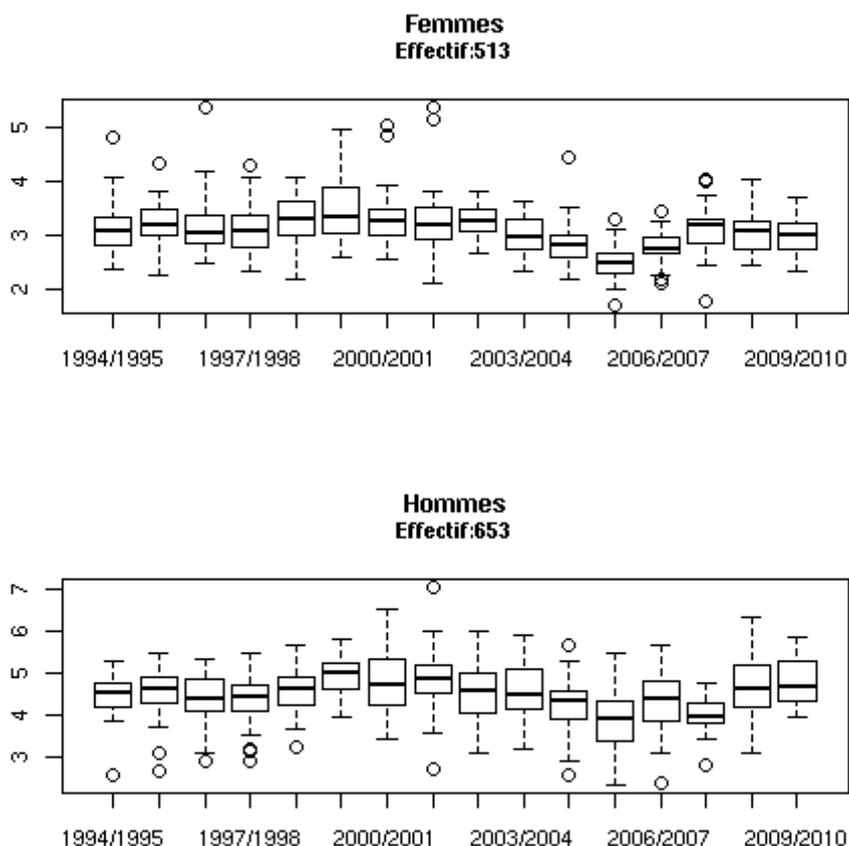


### 3.1.3.3. Evolution au fil des saisons :

L'évolution de la  $\dot{V}O_2 max$  est superposable si qu'elle soit exprimé de façon brute (exprimée en  $L \cdot min^{-1}$  – cf. Figure 13) ou rapportée à la masse corporelle (exprimée en  $L \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$  – cf. Figure 14). Ainsi, pour éviter les répétitions, nous présenterons conjointement les résultats. Les effectifs par saison et par genre sont présentés dans le Tableau 14.

**Figure 13 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  (brute)  
selon le genre et les saisons**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
(les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



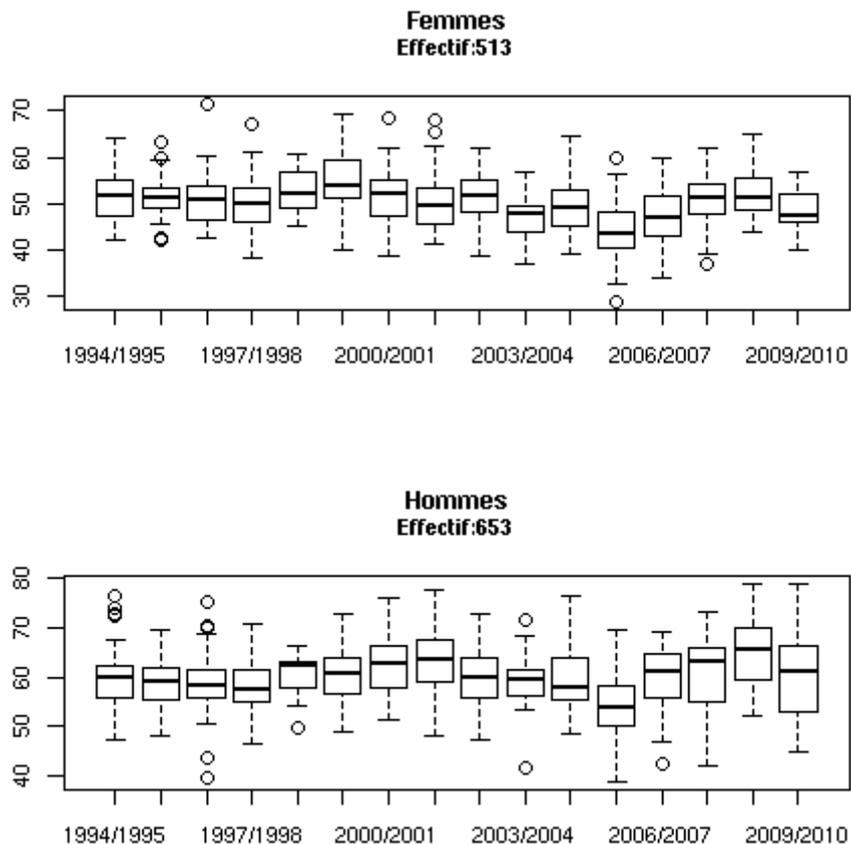
#### 3.1.3.3.1. Selon le genre :

Chez les **dames**, la  $\dot{V}O_2 max$  semble relativement stable 1994 à 1998, puis s'améliore jusqu'en 2000. Elle décroît ensuite progressivement jusqu'en 2005-2006, avant de s'améliorer de nouveau.

Chez les **hommes**, la  $\dot{V}O_2 max$  semble stable de 1994 à 1998. Puis, elle s'améliore jusqu'en 2002 ; elle décroît ensuite progressivement jusqu'à la saison 2005-2006, avant de s'améliorer de nouveau jusqu'à nos jours.

**Figure 14 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  (rapporté au poids) selon le genre et les saisons**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



### 3.1.3.3.2. Selon la spécialité :

Les résultats sont présentés dans la Figure 15 pour les dames et dans la Figure 16 pour les hommes. A partir de 2004, les effectifs (cf. Tableau 16) étant faibles, surtout chez les dames, il faut rester prudent sur la signification et l'interprétation des résultats.

Dans le groupe **Vitesse Dames** :

- 1994 à 2000 : augmentation
- 2000 à 2005 : diminution
- 2006 à 2010 : ré-augmentation assez rapide

Dans le groupe **Géant Dames** :

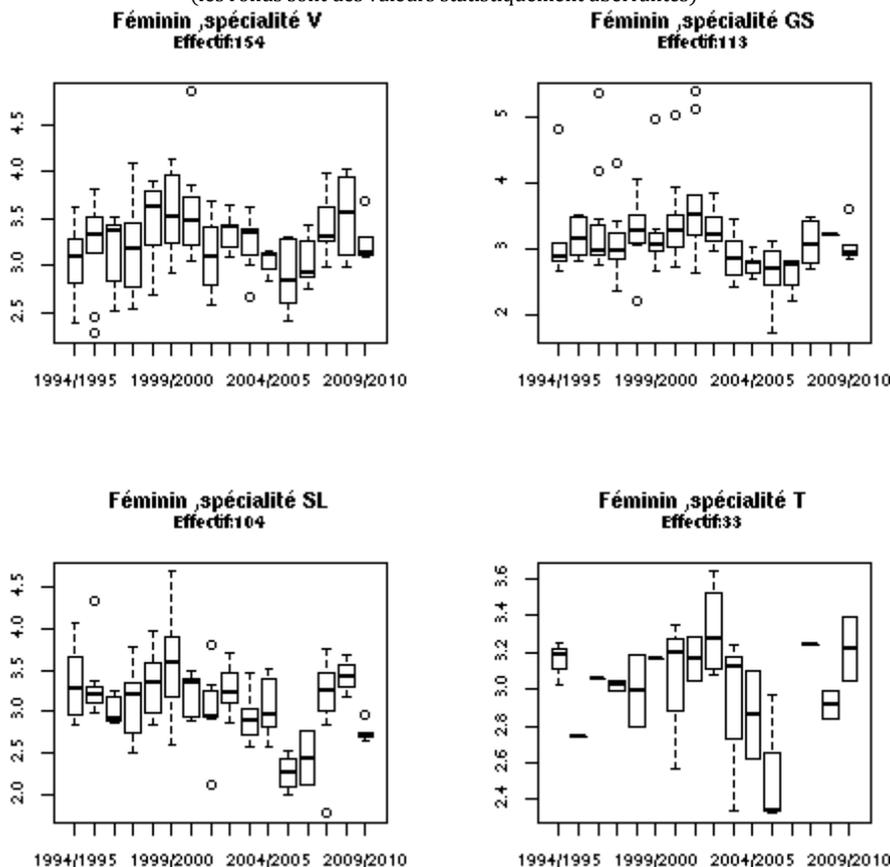
- 1994-2001 : tendance stable voire légère hausse
- 2002 à 2006 : phase de baisse

Dans le groupe **Slalom Dames** :

- 1994 – 1997 : tendance à la baisse,
- 1997 à 1999 : ré-ascension
- 2000 à 2006 : nouvelle tendance à la baisse

Ainsi, chez les dames, quelle que soit la spécialité, la  $\dot{V}O_2 max$  tend à évoluer de façon similaire, avec des variations d'amplitudes plus marquées chez les slalomeuses, que chez les spécialistes de vitesse.

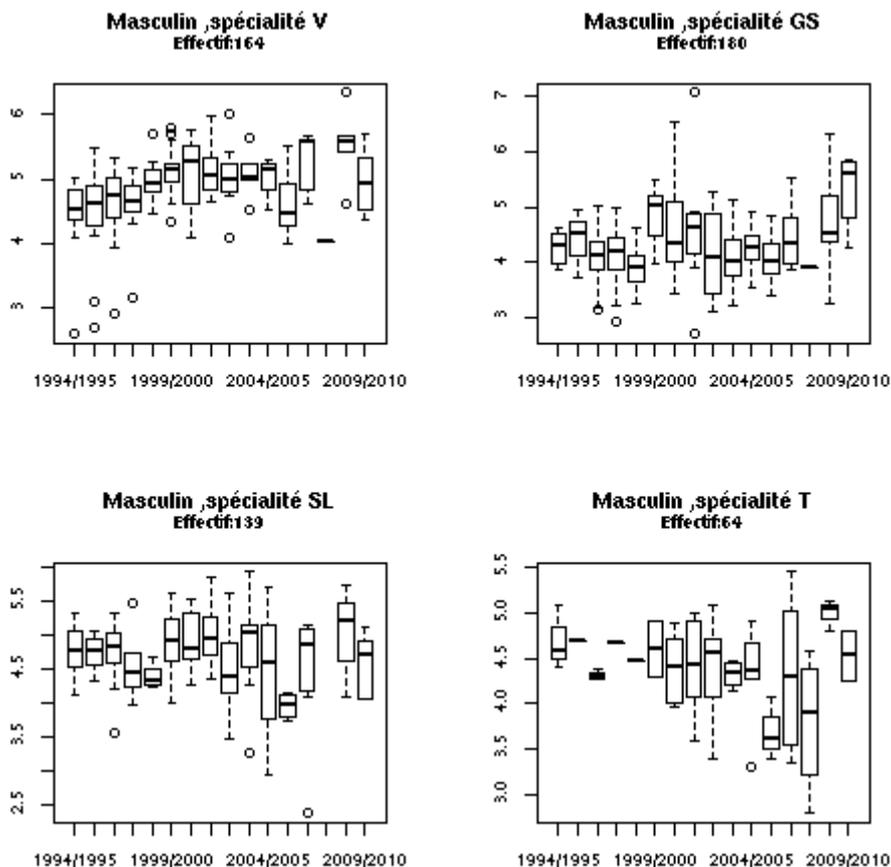
**Figure 15 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 \max$  chez les femmes selon la spécialisation**  
 (V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeuse ; T= polyvalence technique)  
 les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
 la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
 (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



**Tableau 16 : effectifs par spécialité, par genre et par saison**

	Femmes				Hommes			
	GS	SL	T	V	GS	SL	T	V
1994/1995	6	8	3	14	14	15	3	17
1995/1996	5	8	1	11	12	12	1	17
1996/1997	11	6	1	20	25	12	3	18
1997/1998	11	11	2	22	18	8	1	12
1998/1999	8	6	2	7	5	3	1	10
1999/2000	7	7	1	11	11	12	2	15
2000/2001	13	6	4	10	21	12	6	14
2001/2002	11	7	2	10	10	17	8	14
2002/2003	7	9	4	10	7	15	11	8
2003/2004	7	8	3	11	10	7	4	6
2004/2005	5	6	2	3	9	3	5	3
2005/2006	7	4	3	5	14	4	4	13
2006/2007	4	2	0	5	10	8	6	5
2007/2008	5	8	1	6	1	0	4	1
2008/2009	1	3	2	4	9	6	3	5
2009/2010	5	5	2	5	4	5	2	6

**Figure 16 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  chez les hommes selon la spécialisation**  
 (V = vitesse ; GS = géantiste ; SL = slalomeuse ; T= polyvalence technique)  
 les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
 la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
 (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



Dans le groupe **Vitesse Hommes** :

- 1994 - 1998 : stabilité ou faible augmentation
- 1998 - 2002 : augmentation
- 2002 - 2006 : baisse (attention en 2004, l'effectif est faible)
- 2006 - 2010 : absence de tendance.

Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$ , dans le groupe **Géant Hommes** :

- 1994 - 1998 : tendance à la baisse
- 1999 - 2002 : augmentation brutale, la première année, puis nouvelle baisse
- 2002 - 2005 : stabilité
- A partir de 2006 : augmentation importante

A noter qu'en 2007, nous ne disposons que d'un seul résultat pour ce groupe.

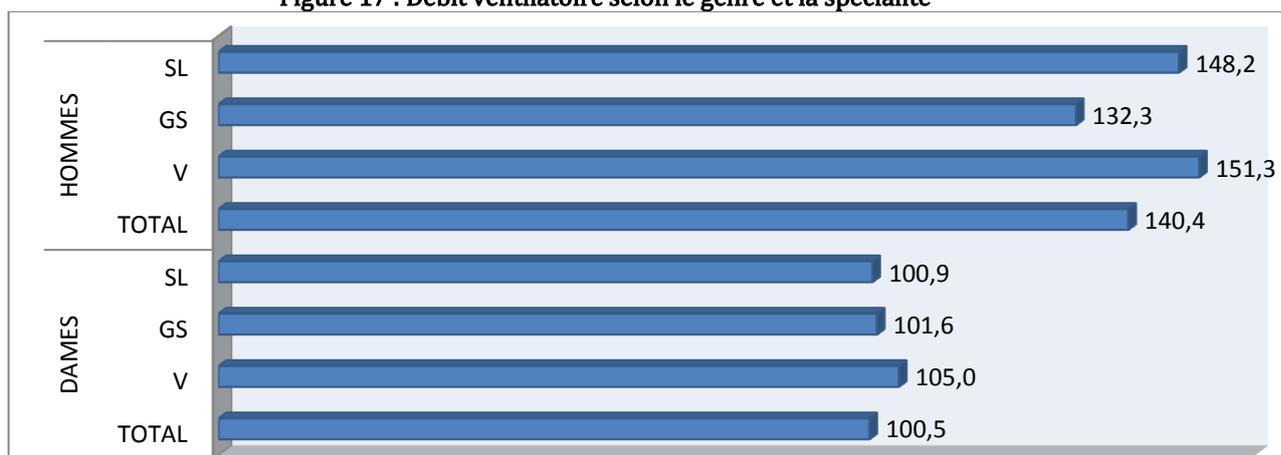
Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$ , dans le groupe **Slalom Hommes** :

- 1994 - 1996 : stabilité,
- 1996 - 1998 : discrète baisse,
- 1999 - 2003 : augmentation brutale la première année puis stabilité (sauf en 2002 : baisse transitoire)
- Après 2003 : fluctuation non interprétable en raison des effectifs faibles.

Ainsi contrairement aux dames, il semble exister une évolution différente selon la spécialité : alors que la  $\dot{V}O_2 max$  augmentait à partir de 1996 chez les spécialistes de vitesse, la tendance était à la baisse pour les slalomeurs et le géantistes ;

### 3.1.4. V<sub>E</sub> max :

Figure 17 : Débit ventilatoire selon le genre et la spécialité



#### 3.1.4.1. Différences inter-genres :

La ventilation maximale chez les hommes est plus importante (140 vs 101 L.min<sup>-1</sup>) que chez les femmes (Figure 17).

#### 3.1.4.2. Différences inter-spécialités :

Les skieurs spécialisés en vitesse ventilent des volumes plus importants ; les géantistes ont des débits expiratoires moindres.

Les différences inter-spécialités observées sont ici aussi beaucoup moins importantes chez les femmes que chez les hommes

### 3.1.5. VMA :

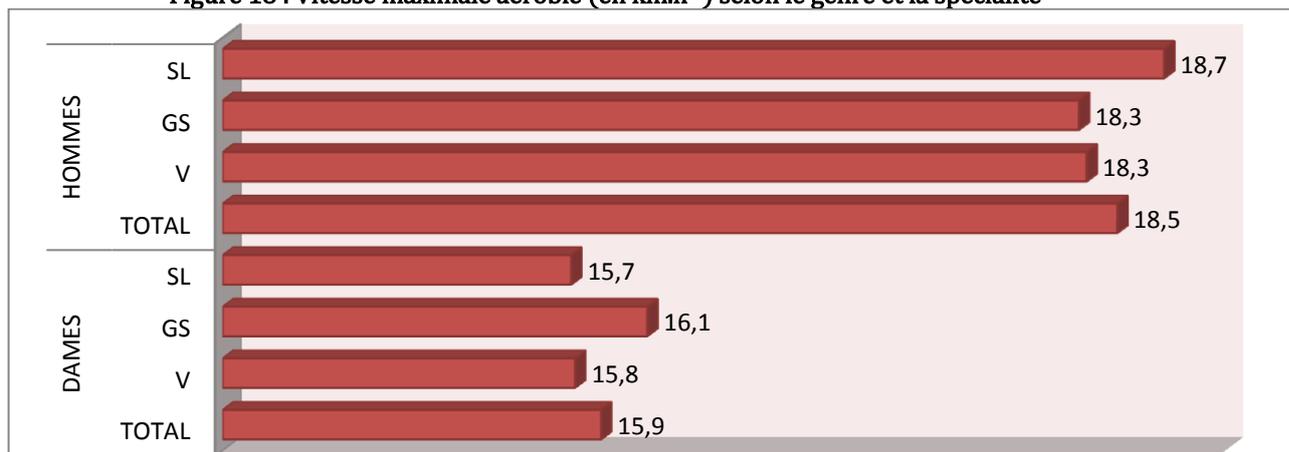
#### 3.1.5.1. Différences inter-genres :

Les hommes ont une VMA plus importante (18,5 vs 15,9 km.h<sup>-1</sup>) que les dames (cf. Figure 18).

#### 3.1.5.2. Différences inter-spécialités :

Il n'y a pas de différences importantes entre les spécialités.

Figure 18 : Vitesse maximale aérobie (en km.h<sup>-1</sup>) selon le genre et la spécialité



### 3.1.5.3. Evolution au fil des saisons :

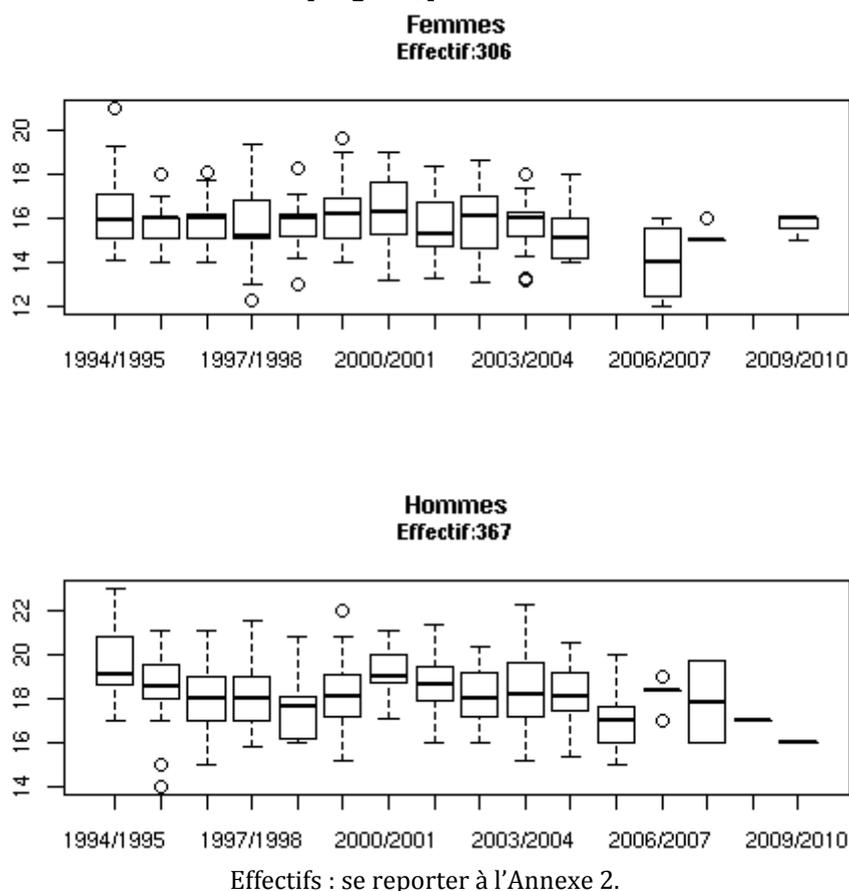
L'ensemble des graphiques et effectifs sont disponibles dans l'Annexe 2.

#### 3.1.5.3.1. Selon le genre (Figure 20) :

A partir de 2005 pour les dames et 2007 pour les hommes, les effectifs sont faibles.

- Chez les **dames**, les valeurs des VMA semblent relativement stables.
- Chez les **hommes**, il peut être décrit :
  - o 1994 – 1998 : baisse tendance globale à la baisse ;
  - o 1998 – 2002 : tendance à la hausse ;
  - o 2002 – 2006 : stabilité ;
  - o 2006 – 2010 : tendance à la baisse, mais les effectifs sont trop faibles pour être représentatifs.

Figure 19 : Evolution de la VMA  
par genre, par saison



#### 3.1.5.3.2. Selon la spécialité :

- Dans le groupe **Vitesse Dames** :
  - o 1994 – 1998 : une très légère hausse ;
  - o 1998 – 2002 : baisse importante la première année, puis tendance à la hausse ;Les effectifs sont ensuite trop faibles pour décrire l'évolution de la VMA.
- Dans le groupe **Géant Dames** :
  - o 1994 – 1999 : après une baisse la première année, la VMA est stable, voire augmente légèrement.
  - o 2000 – 2004 : après hausse brutale de la médiane des VMA en 2000, la tendance est de nouveau à la baisse.L'effectif est ensuite trop faible pour décrire une évolution.
- Dans le groupe **Slalom Dames**, les effectifs sont trop faibles pour que l'évolution de la VMA soit représentative.

Chez les **hommes**, les tailles des effectifs après 2003 sont trop faibles pour permettre une description représentative.

- Dans le groupe **Vitesse Hommes**, la VMA semble relativement stable avec quelques pics en 2000 et en 2003.
- Dans le groupe **Géant Hommes** :
  - o 1994 – 1998 : une baisse importante (la médiane passe de 19 km.h<sup>-1</sup> à 16 km.h<sup>-1</sup>) ;
  - o 1998 – 2002 : augmentation avec retour progressif aux valeurs de 1994 ;
  - o 2002 – 2004 : baisse de la VMA la première année, puis stabilisation.
- L'évolution de la VMA dans le groupe **Slalom Hommes** est superposable à celle du groupe des géantistes hommes.

### 3.1.6. PMA :

#### 3.1.6.1. Différences inter-genres :

Les hommes ont une PMA brute (exprimé en W) de 27 % plus importante (335 vs 244 W) que les femmes (Figure 20).

En considérant la PMA rapportée au poids, la différence n'est plus que de 10% et en considérant la PMA rapportée à la masse maigre, la différence disparaît (Figure 21).

Figure 20 : Puissance maximale aérobie brute selon le genre et la spécialité

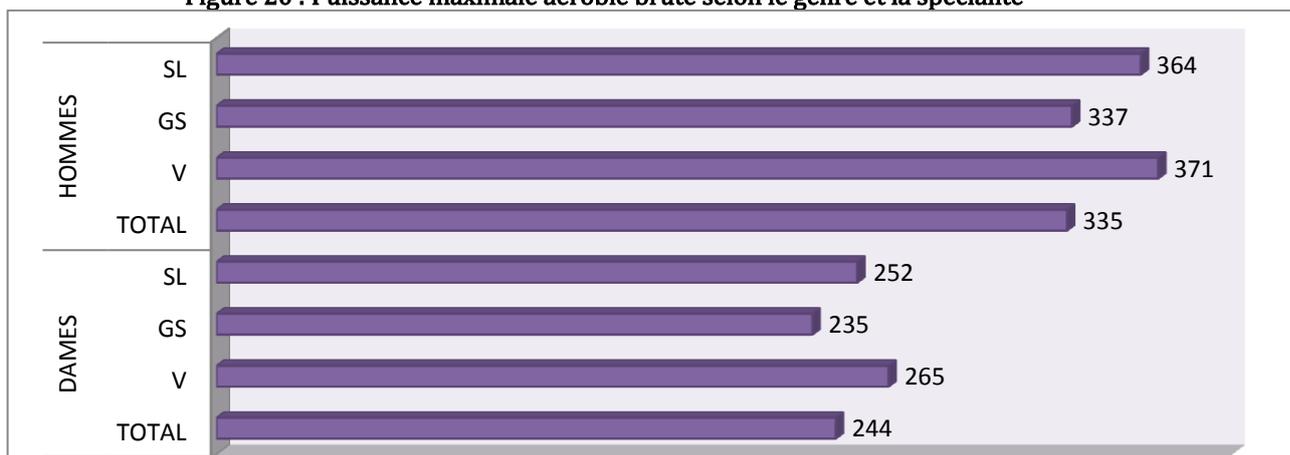


Figure 21 : Puissance aérobie rapportée au poids et à la masse maigre selon le genre et la spécialité



### **3.1.6.2. Différences inter-spécialités :**

Les skieurs spécialisés en vitesse sont les plus puissants ; les géantistes les moins puissants.

Si l'on rapporte la puissance au poids ou à la masse maigre, toutes les spécialités ont des valeurs semblables.

### **3.1.6.3. Evolution au fil des saisons :**

L'ensemble des graphiques et effectifs sont disponibles dans l'Annexe 2.

#### **3.1.6.3.1. Selon le genre :**

- Chez les **dames** :

A noter qu'entre 2001 et 2003, les effectifs sont très faibles.

La PMA (qu'elle soit brute ou rapporté au poids) est relativement stable, jusqu'en 2007, puis chute significativement en 2008 et 2009.

- Chez les **hommes** :

A noter qu'en 1997, 199, 2002 et 2003, les effectifs sont modestes.

On observe plusieurs phases évolutives :

- 1994 – 1998 : baisse des médianes ;
- 1998 – 2002 : hausse (retour aux valeurs de 1994) ;
- 2002 – 2006 : tendance stable ;
- 2006 – 2010 : hausse des médianes pour les valeurs brutes, tendance plutôt stable d'après les valeurs de PMA rapportées au poids.

#### **3.1.6.3.2. Selon la spécialité :**

Les effectifs étant trop faibles, les résultats sont présentés dans l'Annexe 2 et ne seront pas décrits dans ce chapitre.

### **3.1.7. Les paramètres de performances :**

Les moyennes des points FIS par spécialité sont présentées sur la Figure 22 et les rangs de classement moyen sont présentés sur la Figure 23.

Les graphiques montrant l'évolution des points et rangs de classement FIS sont disponibles dans l'Annexe 2.

Figure 22 : Points FIS selon le genre et la spécialité

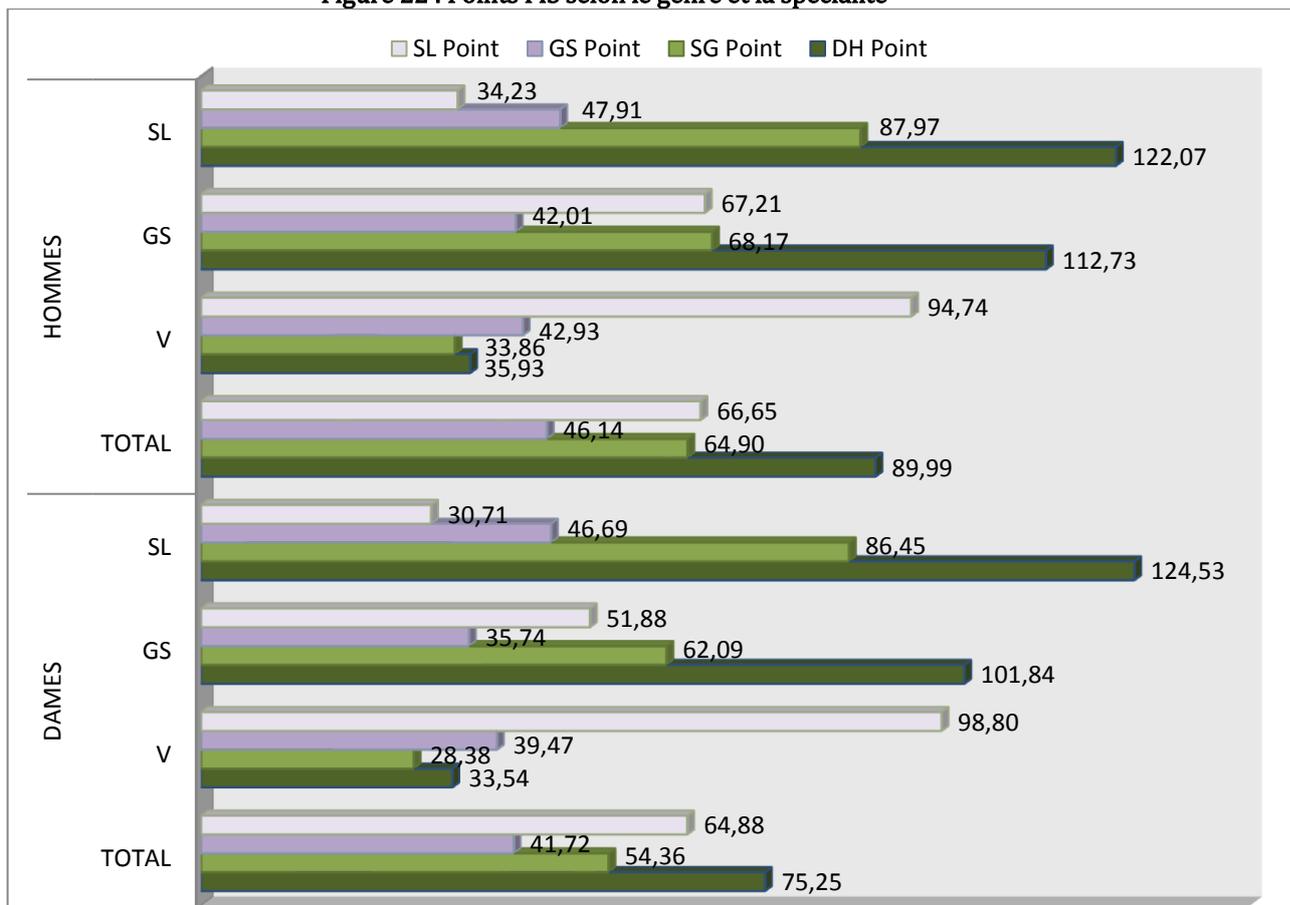
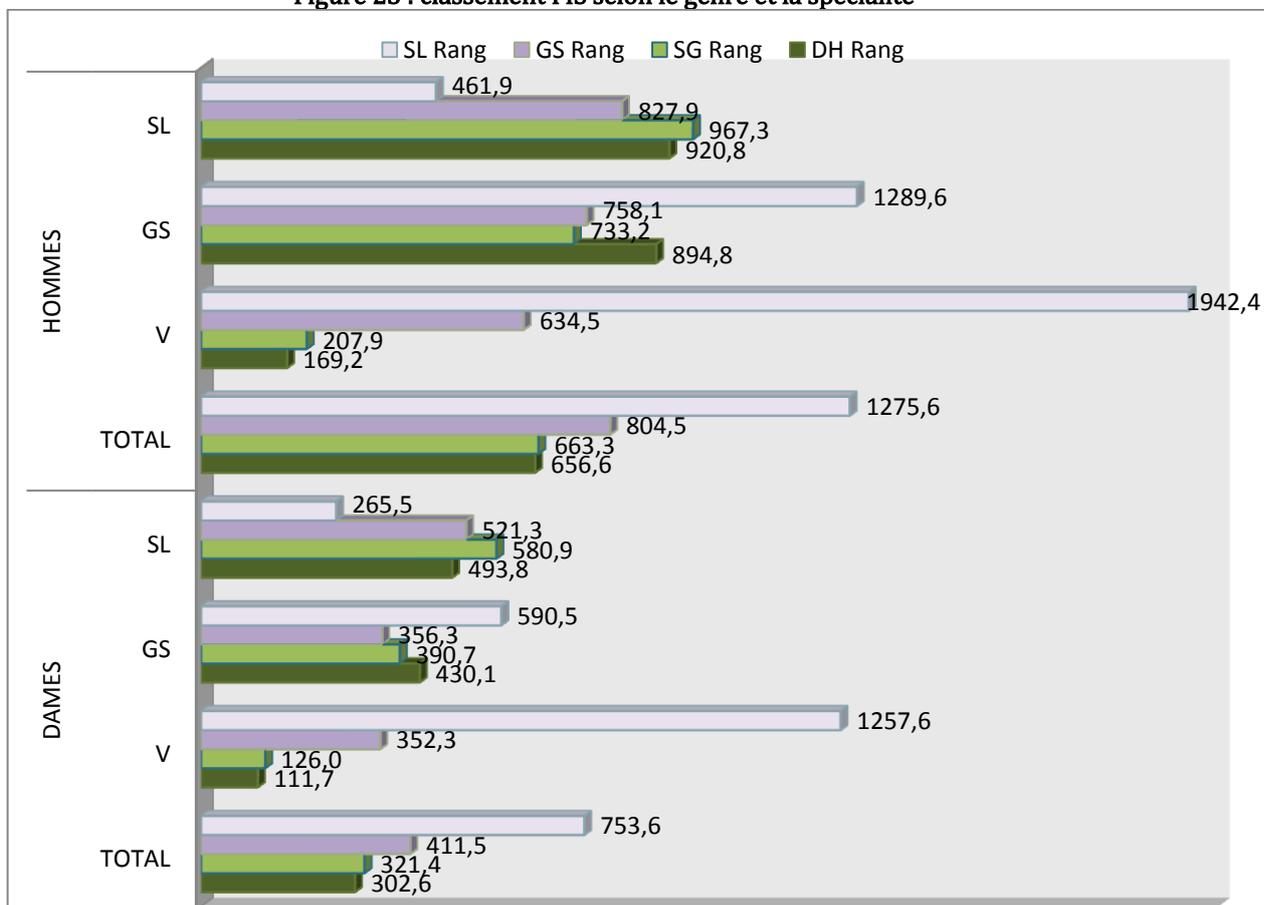


Figure 23 : classement FIS selon le genre et la spécialité



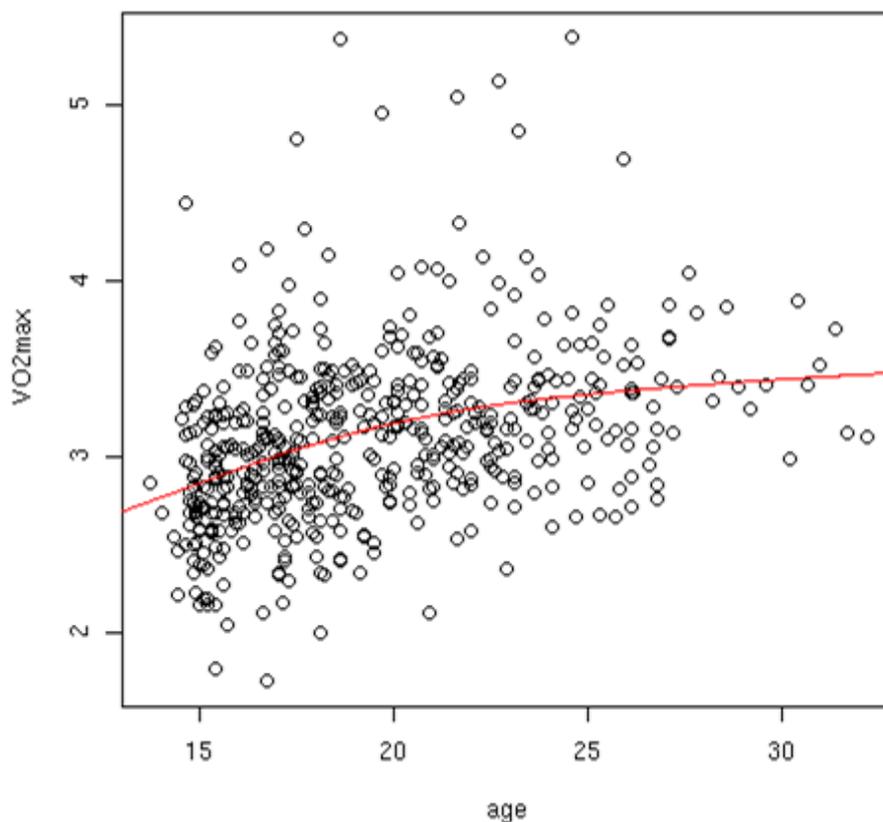
## 3.2. Modélisation de la $\dot{V}O_2 \text{ max}$ selon l'âge

### 3.2.1. Chez les femmes :

La Figure 24 représente la modélisation de l'évolution de la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  chez les skieuses. Le *spline* de lissage donnant un modèle suffisamment explicatif, il n'a pas été effectué de *spline* de régression.

La  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  croît plus rapidement entre 13 et 17 ans, puis croît moins rapidement ensuite

Figure 24 : Modélisation de la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  selon l'âge chez les skieuses



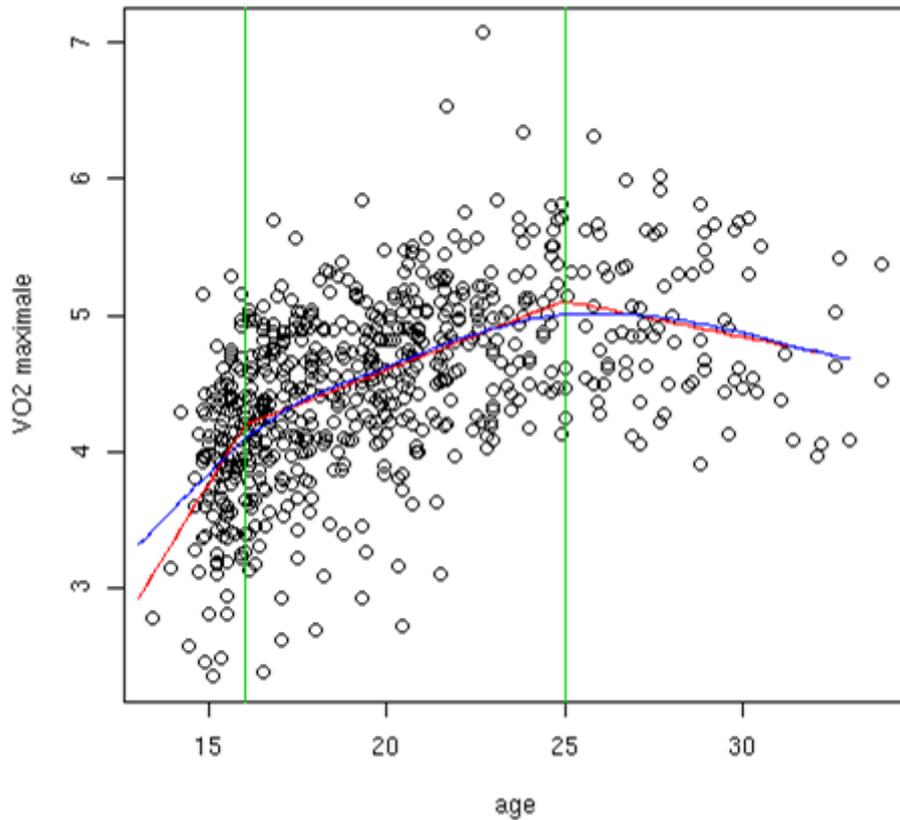
### 3.2.2. Chez les hommes :

Suite au *spline* de lissage, un *spline* de régression a été faite en découpant selon trois classes d'âge :

- Les moins de 16 ans ;
- Les 16 ans à moins de 25 ans ;
- Les 25 ans et plus.

Les résultats entre le *spline* de lissage (courbe bleu sur la Figure 25) et le *spline* de régression (courbe rouge sur la Figure 25) sont très proches.

Figure 25 : Modélisation de la  $\dot{V}O_2 max$  selon l'âge chez les skieurs



Le modèle mathématique du *spline* de lissage s'écrit ainsi :

$$\dot{V}O_2 max_{estimée} = 2,929 + 1,266.[\hat{age}] + 2,178.([\hat{age}]-16) + 1,753([\hat{age}]-25) + \varepsilon$$

Le modèle du spline de régression est le suivant :

- Si l'âge est < 16 ans :

$$\dot{V}O_2 max_{estimée} = -2,5676 + 0,4226.[\hat{age}] + \varepsilon$$

- Si l'âge est compris entre 16 ans (inclus) et 25 ans (exclus) :

$$\dot{V}O_2 max_{estimée} = 2,578 + 0,101.[\hat{age}] + \varepsilon$$

- Si l'âge est  $\geq$  25 ans :

$$\dot{V}O_2 max_{estimée} = 6,3955 - 0,0517.[\hat{age}] + \varepsilon$$

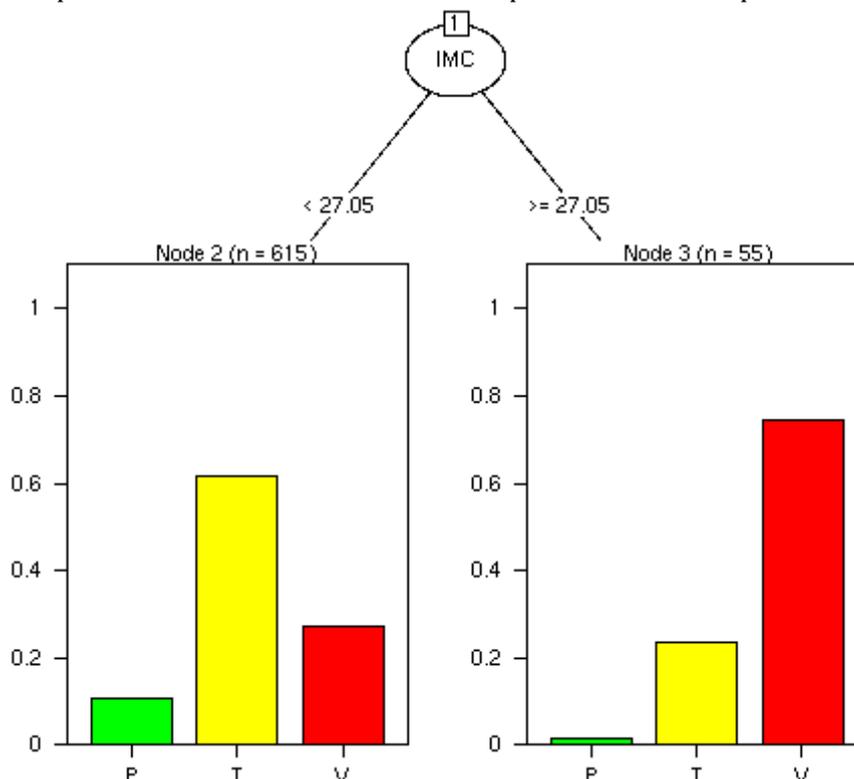
Ainsi, chez le skieur, plus l'âge augmente, moins la  $\dot{V}O_2 max$  augmente rapidement. Elle diminue même après 25 ans.

### 3.3. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques :

#### 3.3.1. A partir des données recueillies lors des épreuves réalisées sur tapis roulant :

670 observations ont permis d'effectuer cette modélisation.

**Figure 26 : Modélisation de la spécialisation à partir des paramètres anthropométriques et physiologiques**  
à partir des données recueillies lors des épreuves faites sur tapis roulant



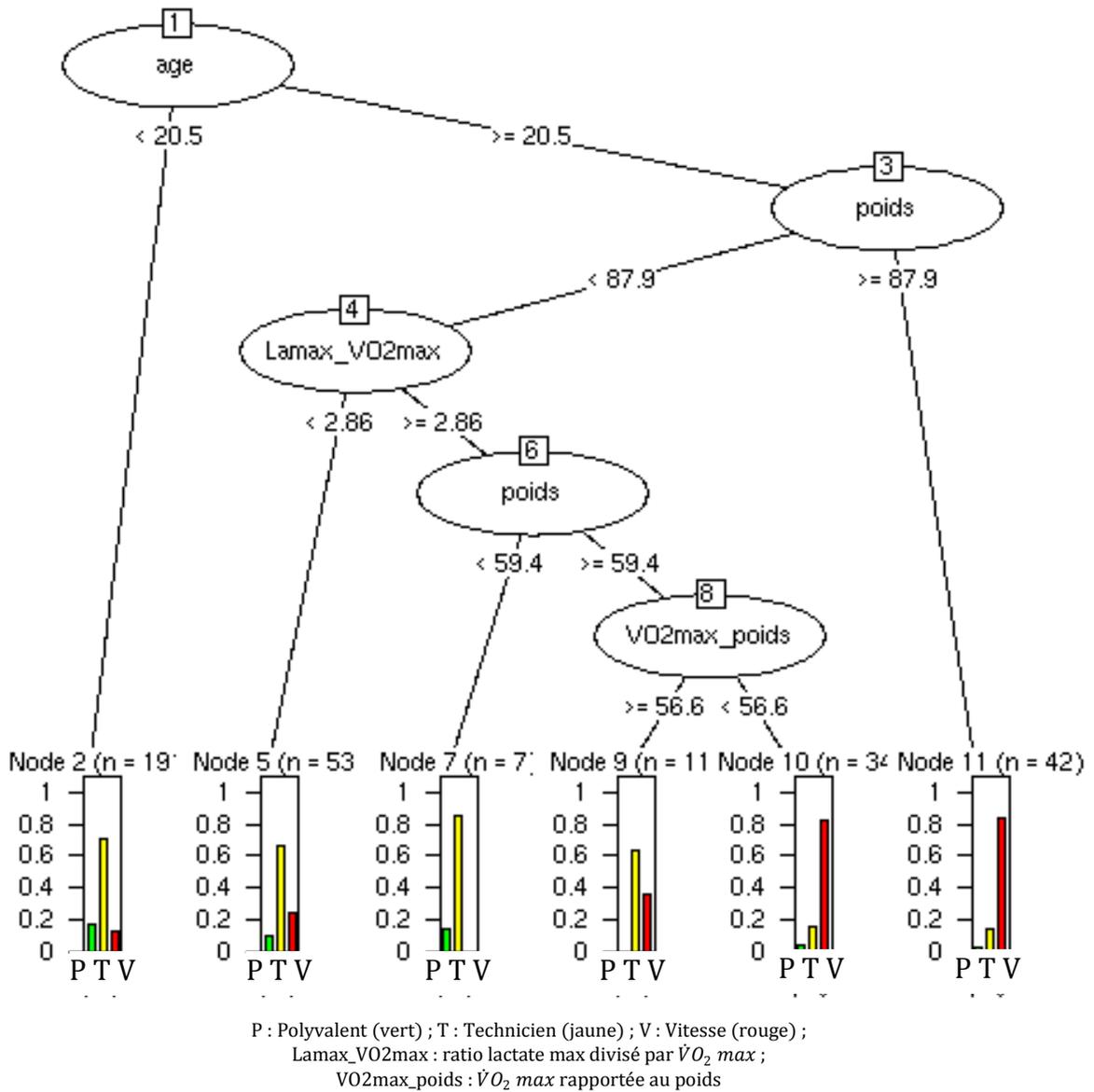
La spécialité d'un skieur est liée à l'IMC. Ainsi, un athlète ayant un IMC inférieur à 27,5, sera dans plus de 60% des cas spécialisé en technique, tandis que si son IMC est supérieur ou égal à 27,5, il sera dans près de 80% des cas spécialisé en vitesse.

#### 3.3.2. A partir des données recueillies lors des épreuves réalisées sur ergocycle :

338 observations ont permis d'effectuer cette modélisation.

La spécialité d'un skieur semble liée d'abord à l'âge, puis au poids, puis à la lactatémie rapportée à la  $\dot{V}O_2 \max$  et la  $\dot{V}O_2 \max$  rapportée au poids.

Ainsi, un skieur de moins de 20,5 ans sera classé dans près de 70% des cas spécialisé en technique. Un athlète de 20,5 ans ou plus, ayant un poids inférieur à 87,5 kg, un ratio lactatémie sur  $\dot{V}O_2 \max$  inférieur à 2,86 sera également dans plus de 65% des cas spécialisé en technique.



### 3.4. Résultats de la sous-population F-TR-Eq :

211 individus statistiques correspondent à la sous-population Femme + Tapis-Roulant + Equipe. Les détails des résultats sont disponibles dans l'Annexe 3.

La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 17

**Tableau 17 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-TR-Eq.**

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤7	≤9,21	≤14,4	≤16,5
Performant	]7 ; 15,7]	]9,21 ; 18,9]	]14,4 ; 18,8]	]16,5 ; 23,5]
Peu performant	]15,7 ; 60,3]	]18,9 ; 42]	]18,8 ; 36,8]	]23,5 ; 58,6]
Très peu performants	]60,3 ; 597]	]42 ; 411]	]36,8 ; 319]	]58,6 ; 271]

#### 3.4.1. Résultats de l'ACP :

24 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 187 dans cette analyse.

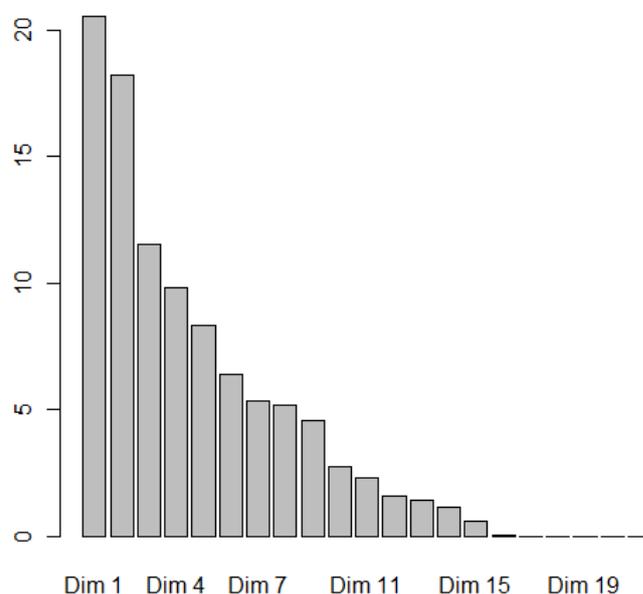
##### 3.4.1.1. L'inertie des dimensions :

L'inertie (ou variance) de chaque dimension est présentée dans le Tableau 18 et sur la Figure 27.

**Tableau 18 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Dimensions	Valeur propre	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulée d'inertie
dim 1	4,31	20,54	20,54
dim 2	3,83	18,25	38,79
dim 3	2,43	11,57	50,35
dim 4	2,06	9,83	60,18
dim 5	1,75	8,33	68,51

**Figure 27 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**



Les cinq premières dimensions (ou composantes ou axes factoriels) expriment près de 70 % l'information de départ.

La Figure 28 présente le cercle de corrélation des variables actives (les variables aérobies) d'après le premier plan factoriel (plan formé à l'aide des deux premières dimensions).

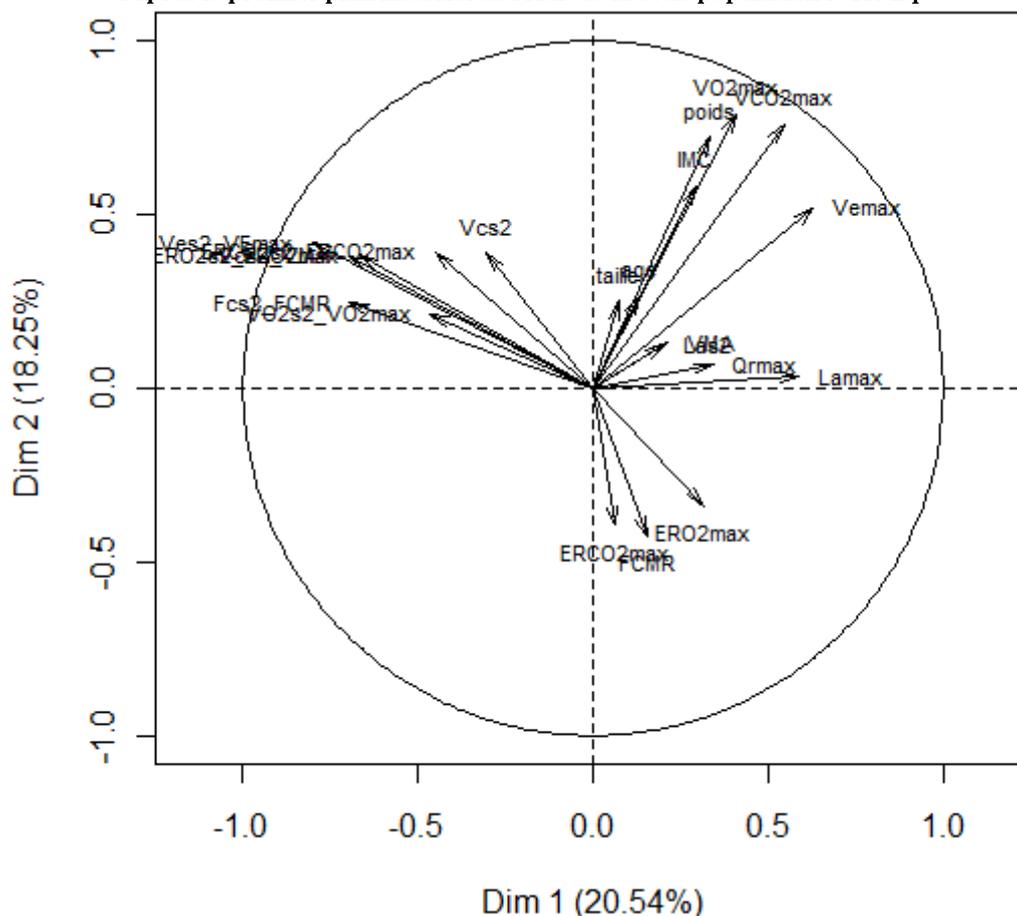
##### 3.4.1.2. Première dimension :

Concernant les physiologiques, elle est corrélée (cf. Tableau 19) :

- positivement avec :
  - $\dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,63$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - lactatémie maximale ( $\rho = 0,59$  ;  $p < 0,001$ ) ;

- négativement avec les valeurs relatives (exprimée en pourcentage de la valeur à  $\dot{V}O_2 \max$ ) au seuil de
  - $\% \dot{V}E \max$  ( $\rho = -0,80$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\%VMA$  ( $\rho = -0,70$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\%FC\max$  ( $\rho = -0,70$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\%ERO_2\max$  ( $\rho = -0,67$  ;  $p < 0,001$ ) ;

Figure 28 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq



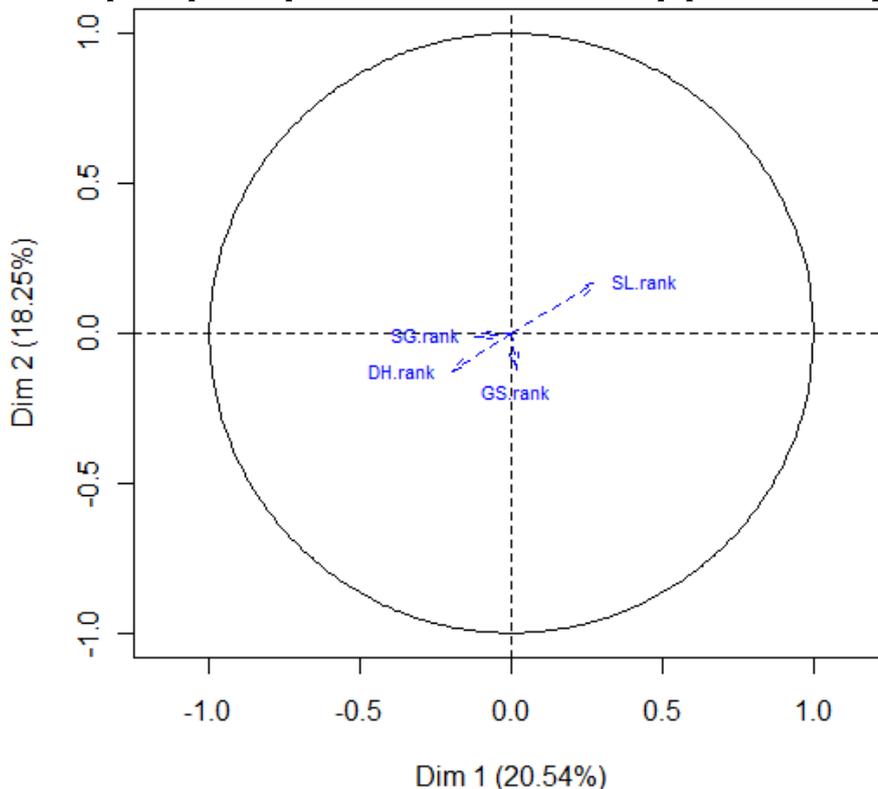
L'abscisse correspond à la première dimension, l'ordonnée correspond à la deuxième dimension de l'ACP

Le cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives (Figure 29) permet de visualiser les relations entre les variables quantitatives de performance (i.e. le rang de classement dans chaque type d'épreuves) et les axes factoriels (i.e. les facteurs aérobies).

Concernant les performances, cette dimension est très faiblement corrélée (cf. Tableau 19) avec :

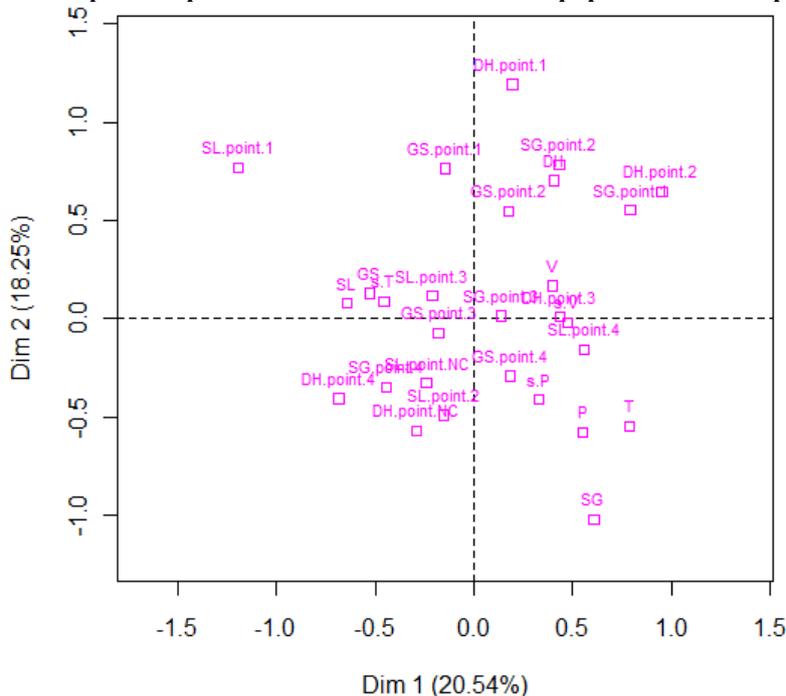
- Les points FIS en DH ( $r^2 = 0,08$ ,  $p = 0,004$ ) ;
- la spécialité ( $r^2 = 0,05$ ,  $p = 0,011$ ) ;
- les points FIS en SL ( $r^2 = 0,07$ ,  $p = 0,004$ ) ;
- la sous-spécialité ( $r^2 = 0,07$ ,  $p = 0,004$ ).

Figure 29 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq



La Figure 30 permet de visualiser les variables explicatives qualitatives (i.e. niveaux de performance pour chaque type d'épreuve, spécialisation et sous-spécialisation) dans le premier plan factoriel.

Figure 30 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq



Ainsi, nous avons :

- à droite de l'axe factoriel (i.e. associé à un  $VE_{max}$  élevé et des valeurs au seuil faibles) :
  - les skieuses « très peu performantes » en SL (test de variance = 0,81) ;

- à gauche de l'axe (i.e. associé à un VEmax bas et des valeurs au seuil élevées) :
  - les skieuses spécialistes du SL ;
  - les skieuses « très performantes » en SL ;
  - les skieuses « très peu performantes » en SG ;
  - les skieuses « très peu performantes » en DH ;
  - les skieuses techniciennes, sans sous-spécialité prédominante (ni sous-spécialisé en slalom ni en géant).

**Tableau 19 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VEmax	0,627	*	DH.point	0,080	0,004	SL.point.4	0,805	0,008
Lamax	0,585	*	Specialité	0,048	0,011	SL	-0,869	0,047
VCO2max	0,545	*	SL.point	0,065	0,016	SL.point.1	-0,945	0,033
VO2max	0,406	*	ss.spécialité	0,073	0,031	SG.point.4	-0,674	0,021
QRmax	0,344	*				s.T	-0,572	0,016
poids	0,331	*				DH.point.4	-0,806	0,004
ERO2max	0,314	*						
IMC	0,294	*						
SL.rank	0,277	*						
VMA	0,211	0,004						
Las2	0,202	0,006						
FCMR	0,154	0,036						
DH.rank	-0,197	0,007						
Vcs2	-0,305	*						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,451	*						
VO2s2_VO2max	-0,465	*						
ERO2s2_ERO2max	-0,668	*						
Fcs2_FCMR	-0,695	*						
Vcs2_VMA	-0,695	*						
VEs2_VEmax	-0,802	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

### 3.4.1.3. Deuxième dimension :

L'ensemble des variables corrélées à cette dimension est présenté dans le Tableau 20 et représenté sur la Figure 28.

**Tableau 20 : Description de la 2<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VO2max	0,788	*	ss.specialite	0,089	0,010	DH.point.1	1,020	0,012
VCO2max	0,761	*	DH.point	0,067	0,013	DH	0,858	0,031
poids	0,724	*				SG	-0,869	0,042
IMC	0,583	*				SG.point.4	-0,598	0,030
VEmax	0,519	*				DH.point.4	-0,581	0,029
VEs2_VEmax	0,418	*						
ERCO2s2_ERCO2max	0,392	*						
Vcs2	0,388	*						
ERO2s2_ERO2max	0,385	*						
Vcs2_VMA	0,382	*						
age	0,266	*						
taille	0,250	0,001						
Fcs2_FCMR	0,246	0,001						
VO2s2_VO2max	0,214	0,003						
SL.rank	0,168	0,021						
ERO2max	-0,337	*						
ERCO2max	-0,394	*						
FCMR	-0,425	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

Cette dimension est corrélée positivement à :

- $\dot{V}O_2 \text{ max}$  ( $\rho = 0,79$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- $\dot{V}CO_2 \text{ max}$  ( $\rho = 0,76$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- poids ( $\rho = 0,72$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- IMC ( $\rho = 0,58$  ;  $p < 0,001$ ) ;

Concernant les performances cette dimension est corrélée avec :

- négativement et très faiblement avec le rang de slalom ( $\rho = 0,17$  ;  $p = 0,021$ ) ;
- les points en descente ( $r^2 = 0,067$  ;  $p = 0,013$ ) :
  - o les descendueuses « très performantes » sont situées en haut de la dimension ( $v.\text{test} > 0$ )
  - o à l'opposé, les descendueuses « très peu performantes » se trouvent en bas de la dimension ( $v.\text{test}$  négatif).

#### **3.4.1.4. Troisième dimensions :**

Elle est corrélée (tableau dans l'Annexe 3) :

- positivement avec :
  - o  $ERO_2\text{max}$  ( $\rho = 0,62$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - o  $ERCO_2\text{max}$  ( $\rho = 0,53$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- négativement avec :
  - o VMA ( $\rho = 0,67$  ;  $p < 0,001$ ).

Aucune performance n'est corrélée suffisamment à cette dimension.

#### **3.4.2. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACP :**

L'ensemble des résultats est disponible dans l'Annexe 3. La Figure 31 représente les skieuses de chaque groupe de cette sous-population dans le premier plan factoriel.

##### **3.4.2.1. Premier groupe :**

Il compte 56 skieuses (en noir sur la Figure 31) et rassemble 39,5% des descendueuses « peu performantes » présents dans la sous-population F-TR-Eq. 50% des skieuses de ce groupe sont « peu performantes » en descente, alors qu'elles ne sont que 38,0% dans cette sous-population. Ainsi, s'agissant de la performance, ce groupe est surreprésenté en descendueuses « peu performantes ».

Concernant les facteurs anthropométriques, les moyennes de poids (62,8 vs 65,5 kg) et d'IMC (22,62 vs 23,58) du groupe sont inférieures à celles de la sous-population.

Concernant les facteurs physiologiques, les moyennes de  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  du groupe sont légèrement inférieures à celles de la sous-population (3,11 vs 3,30  $L.\text{min}^{-1}$ ), contrairement aux équivalents respiratoires ( $ERCO_2\text{max}$  [34,31 vs 31,72] et  $ERO_2\text{max}$  [32,78 vs 30,46]) et dans une moindre mesure au  $\% \dot{V}O_2 \text{ max}$  au seuil (85,8 vs 84,0 %) qui sont au-dessus de la moyenne.

##### **3.4.2.2. Deuxième groupe :**

Il compte 23 skieuses (en rouge sur la Figure 31). Les slalomeuses « peu performantes » et les super-géantistes « très peu performantes » sont surreprésentées.

Concernant l'âge et les facteurs anthropométriques, les moyennes d'âge (19,9 vs 21,6 ans), de poids (60,0 vs 65,5 kg) et d'IMC (21,77 vs 23,58) du groupe sont inférieures à celles de la sous-population.

Concernant les facteurs physiologiques, les moyennes au seuil de  $\% \dot{V}O_2 \text{ max}$  (76,2 vs 84,0 %) et de  $\% \text{VMA}$  (73,5 vs 78,6 %) sont inférieures à la moyenne de la sous-population.

### 3.4.2.3. Troisième groupe :

Il réunit 49 skieuses (en vert sur la Figure 31), avec une sous-représentation des spécialistes en super géant. Aucune performance ne caractérise ce groupe. Nous ne décrirons donc pas les caractéristiques physiologiques de ce groupe (cf. Annexe 3 pour le détail des résultats).

### 3.4.2.4. Quatrième groupe :

Il rassemble 22 skieuses (en bleu sur la Figure 31), principalement des spécialistes de vitesse, très peu de spécialistes en slalom. Concernant les performances, ce groupe se caractérise par la surreprésentation de descendueuses « très performantes » ou « performantes » et de super-géantistes « très performantes ».

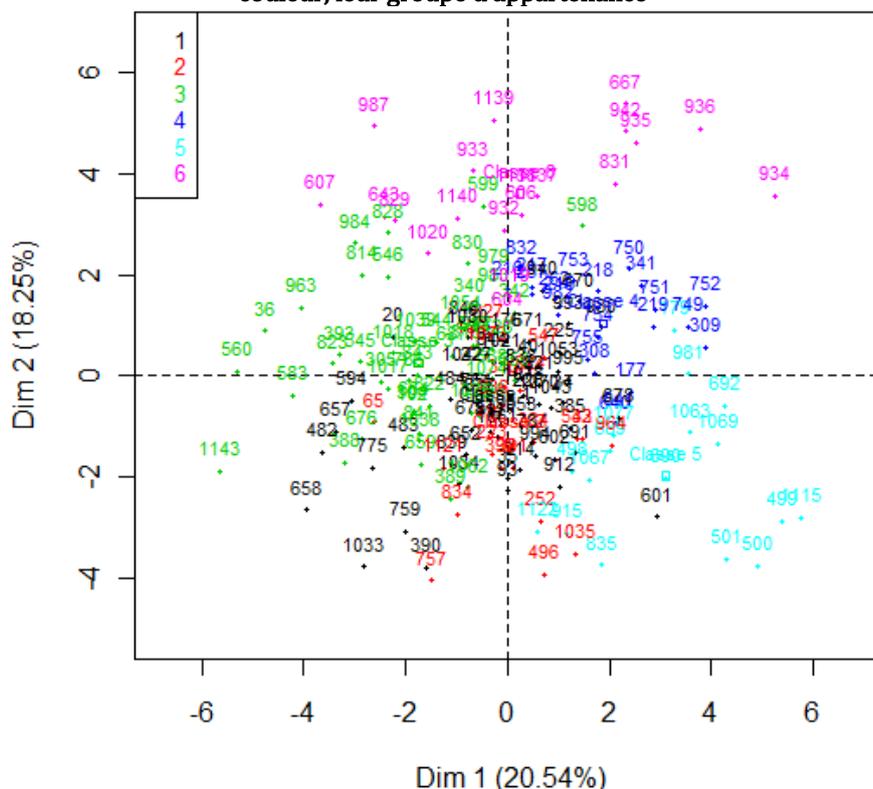
*Concernant l'âge et les caractéristiques anthropométriques, il présente :*

- *un IMC très nettement supérieure à la population (27,0 vs 23,6) ;*
- *un poids supérieur (73,1 vs 65,5 kg) ;*
- *un âge plus élevé (24,2 vs 21,6 ans) ;*
- *une plus petite taille (164,5 vs 166,7 cm) ;*

*Concernant les facteurs physiologiques étudiés, il présente :*

- *un lactate max plus haut (11,0 vs 9,4 mmol.L<sup>-1</sup>) ;*
- *un  $\dot{V}E$  max élevé (115 vs 104 L.min<sup>-1</sup>) ;*
- *une VMA plus basse (14,9 vs 15,8 km.h<sup>-1</sup>) ;*
- *une vitesse brute au seuil plus basse (11,4 vs 12,4 km.h<sup>-1</sup>).*

Figure 31 : cartographie des skieuses (F-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.4.2.5. Cinquième groupe :

Il compte 17 skieuses (en cyan sur la Figure 31), très peu sont spécialisées en technique. Concernant les performances, il s'agit de slalomeuses « très peu performantes ».

*Il n'y a pas de différence d'âge ou anthropométrique.*

*En ce qui concerne les caractéristiques physiologiques, il est retrouvé des valeurs*

- plus élevées de :
  - lactate max (11,6 vs 9,4 mmol.L<sup>-1</sup>);
  - FCmax (203 vs 196 min<sup>-1</sup>);
- au seuil plus faible :
  - % $\dot{V}O_2$  max (80 % vs 84 %);
  - %FCmax (89,8 vs 93 %);
  - % $\dot{V}E$ max (60 % vs 74 %);
  - %ERCO<sub>2</sub>max (87,5 % vs 97,0 %);
  - %ERO<sub>2</sub>max (75,8 % vs 87,8 %);
  - Vitesse au seuil brute (11,6 vs 12,4 km.h<sup>-1</sup>) ou en %VMA (71 vs 79 %);

#### **3.4.2.6. Sixième groupe :**

Il compte 20 skieuses (en magenta sur la Figure 31), principalement des spécialistes de technique et aucune spécialisée en super-géant.

Aucune performance ne caractérise ce groupe. Nous ne décrivons donc pas les caractéristiques physiologiques de ce groupe (cf. Annexe 3 pour le détail des résultats).

#### **3.4.3. Résultats de l'ACM :**

Le détail des résultats est présenté dans l'Annexe 3.

##### **3.4.3.1. Première dimension :**

Elle est fortement corrélée au niveau de performance en super géant ( $r^2 = 0,84$ ;  $p < 0,001$ ) et en descente ( $r^2 = 0,81$ ;  $p < 0,001$ ). Ainsi, elle oppose :

- d'une part (à droite de l'axe formé par cette dimension), les super-géantistes et les descendues « très performantes » et « performantes »;
- aux « très peu performantes » ou « peu performantes » dans ces mêmes disciplines d'autre part (à gauche de ce même axe).

*Cette dimension faiblement corrélée à l'âge et aux facteurs anthropométriques :*

- âge ( $\rho = 0,55$ ;  $p < 0,001$ );
- IMC ( $\rho = 0,35$ ;  $p < 0,001$ );
- Poids ( $\rho = 0,33$ ;  $p < 0,001$ ).

*Elle est très peu corrélée aux facteurs aérobies.*

##### **3.4.3.2. Deuxième dimension :**

Elle est corrélée au niveau en descente ( $\rho = 0,65$ ;  $p < 0,001$ ) et en super géant ( $\rho = 0,59$ ;  $p < 0,001$ ); *mais elle est très peu corrélée à des facteurs anthropométriques ou aérobies ( $|\rho| < 0,3$ ).*

##### **3.4.3.3. Troisième dimension :**

Elle est corrélée au niveau de performance en géant. Ainsi, elle oppose ainsi :

- d'une part, slalomeuses « performantes » et les géantistes « performantes » ou « peu performantes »;
- aux slalomeuses et géantistes « très peu performantes ».

*Cette dimension ne présente pas de corrélation suffisante avec les facteurs étudiés ( $|\rho| < 0,3$ ).*

##### **3.4.3.4. Quatrième dimension :**

Elle est corrélée au niveau de performance en super-géant et en descente ; *mais elle ne présente pas de corrélation suffisante avec les facteurs étudiés ( $|\rho| < 0,2$ ).*

#### **3.4.4. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACM**

Les résultats sont présentés dans l'Annexe 3

##### **3.4.4.1. Premier groupe :**

Il rassemble 11 skieuses. Toutes les skieuses de la sous-population n'ayant aucun point en descente ou en super géant sont dans ce groupe. Aucune skieuse de ce groupe n'est spécialisée en vitesse ni n'a de point en descente. Les techniciennes sont très largement surreprésentées.

*Au niveau anthropométrique, le poids et l'IMC semblent être plus faibles que la moyenne.*

*Aucune variable physiologique ne caractérise les skieuses de ce groupe.*

##### **3.4.4.2. Second groupe :**

Il est composé de 71 skieuses, principalement des techniciennes, aucune n'est spécialisée en descente. Au niveau performance, elles sont :

- « très performantes » ou « peu performantes » en slalom ;
- « très performantes » en géant.
- « très peu performantes » en super géant et en descente ;

Aucune skieuse n'est :

- « performante » en géant.
- « très performante » ou « performante » en descente et en super géant.

*Concernant l'âge et les facteurs anthropométriques, ce groupe se caractérise par des moyennes d'âge, de poids et d'IMC inférieures.*

*Concernant les facteurs physiologiques, la moyenne de  $\dot{V}E_{max}$  est un peu meilleure (75,5 vs 73,5 % ;  $p < 0,05$ ) alors que celle de  $\dot{V}E_{max}$  est un peu plus faible (100 vs 104  $L \cdot min^{-1}$ ).*

##### **3.4.4.3. Troisième groupe :**

Il rassemble 24 skieuses, principalement des techniciennes et très peu de spécialistes de vitesse (aucune n'est même spécialisée en super géant).

Concernant le niveau de performance, les slalomeuses et les géantistes « performantes » sont surreprésentées.

*Aucun facteur anthropométrique ne se démarque de ce groupe.*

*D'un point de vue physiologique, la moyenne du  $\% \dot{V}O_2max$  au seuil est meilleur (87,2 vs 83,9 %).*

##### **3.4.4.4. Quatrième groupe :**

Il compte 68 skieuses, principalement spécialisées en vitesse mais « peu performantes » en super géant et en descente ; aucune n'est « très performante » en descente, ni dans les épreuves techniques.

*Ce groupe se caractérise par un âge moyen plus jeune (20,3 vs 21,5 ans).*

*Concernant les facteurs physiologiques, nous retenons surtout une meilleure moyenne de  $\dot{V}E_{max}$  (107,2 vs 103,9  $L \cdot min^{-1}$ ).*

##### **3.4.4.5. Cinquième groupe :**

Il réunit 21 skieuses, toutes « performantes » en super-géant. Aucune skieuse de ce groupe n'est « peu ou très peu performante » en super géant.

*Les facteurs anthropométriques caractérisant ce groupe sont*

- l'âge plus avancé (24,4 vs 21,5 ans) ;
- le poids plus lourd (68,6 vs 65,3 kg).

*Concernant les facteurs physiologiques, il est constaté :*

- une VMA plus élevée (16,4 vs 15,8  $km \cdot h^{-1}$ ) ;
- un  $FC_{max}$  plus lente (192 vs 196  $min^{-1}$ ) à relativiser compte tenu de la différence d'âge.

#### **3.4.4.6. Sixième groupe :**

Les 16 skieuses de ce groupe sont toutes « très performantes » en super géant et la plupart sont également « très performantes » en descente.

*Seul l'âge et les caractéristiques anthropométriques se dégagent de ce groupe :*

- *Age (27,1 vs 21,5 ans)*
- *IMC (25,4 vs 23,5)*
- *Poids (70,2 vs 65,3 kg) ;*

*Aucun facteur aérobie ne se démarque pertinemment de ce groupe.*

### 3.5. Résultats de la sous-population F-TR-HEq :

63 données sont disponibles.

La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 21

Tableau 21 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-TR-HEq.

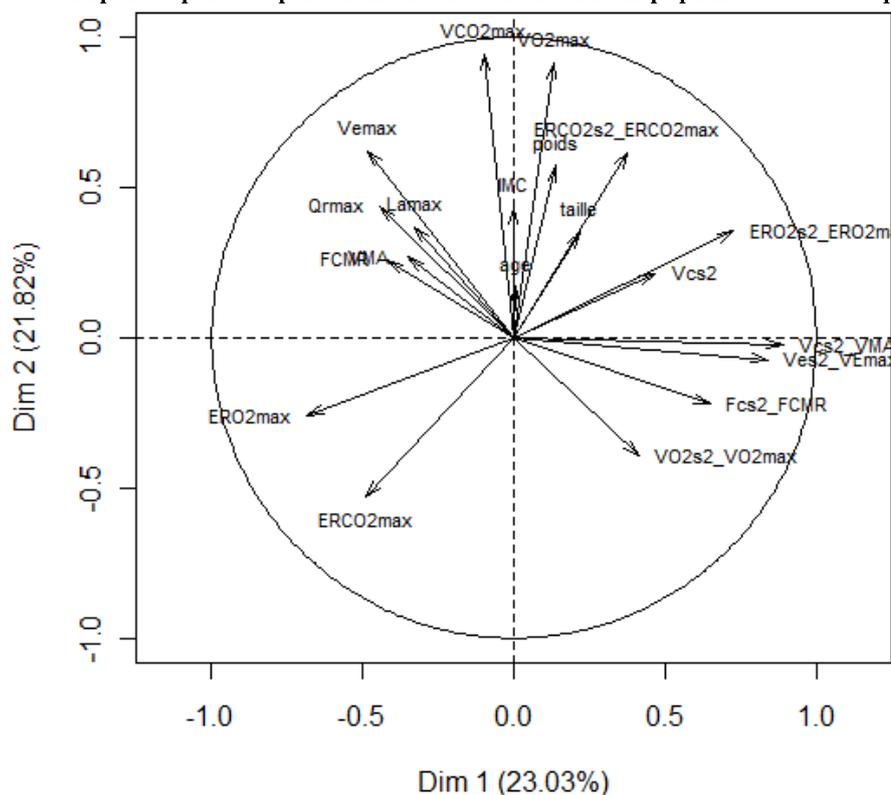
	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤51,1	≤45,2	≤42,2	≤47,6
Performant	]51,1 ; 64,1]	]45,2 ; 54,4]	]42,2 ; 46,2]	]47,6 ; 53,2]
Peu performant	]64,1 ; 97,6]	]54,4 ; 67,2]	]46,2 ; 65,2]	]53,2 ; 72,9]
Très peu performants	]97,6 ; 207]	]67,2 ; 176]	]65,2 ; 120]	]72,9 ; 161]

#### 3.5.1. Résultats de l'ACP :

8 observations n'ont pas pu être exploitées, car incomplètes. Au final, cette analyse a porté sur 55 individus. Les résultats de l'ACP seront décrits de manière non exhaustive dans ce paragraphe (se reporter à l'Annexe 4).

Le cercle de corrélation des variables actives est représenté Figure 32.

Figure 32 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq



##### 3.5.1.1. Première dimension :

Elle met en évidence :

- des corrélations positives avec des capacités aérobies du second seuil (exprimé en pourcentage de leur valeur maximale) :
  - o %VMA ( $\rho = 0,89$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - o % $\dot{V}Emax$  ( $\rho = 0,84$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - o % $ERCO_2$  max ( $\rho = 0,73$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - o %FCmax ( $\rho = 0,65$  ;  $p < 0,001$ ).
- des corrélations négatives avec des capacités aérobies maximales :

- $ERO_{2max}$  ( $\rho = -0,68$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- et de façon moindre avec :
- $ERCO_{2max}$  ( $\rho = 0,49$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- $\dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,48$  ;  $p < 0,001$ ) ;

*Aucune performance ne semble corrélée à cette dimension.*

### **3.5.1.2. Deuxième dimension :**

Elle est corrélée :

- positivement avec :
  - des capacités aérobies maximales :
    - $\dot{V}CO_{2max}$  ( $\rho = 0,95$  ;  $p < 0,001$ ) ;
    - $\dot{V}O_{2max}$  ( $\rho = 0,92$  ;  $p < 0,001$ ) ;
    - $\dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,62$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\%ERCO_{2max}$  au seuil ( $\rho = 0,62$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - le poids ( $\rho = 0,57$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- et négativement à la variable
  - $ERCO_{2max}$ . ( $\rho = -0,53$  ;  $p < 0,001$ ) ;

*Concernant les performances, il existe une corrélation positive avec les points en slalom ( $r^2 = 0,22$  ;  $p = 0,005$ ) : cette dimension oppose les slalomeuses :*

- « très performantes » d'un côté (en haut de l'axe formé par cette dimension)
- « très peu performantes » de l'autre côté (en bas de cet axe).

### **3.5.1.3. Troisième et quatrième dimension :**

Elles ne seront pas décrites ici, car elles ne présentent pas de corrélation suffisante avec les paramètres aérobies ou avec les critères de performance.

## **3.5.2. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACP :**

La CAH ne donne pas de résultats significatifs en ce qui concerne la caractérisation de la performance des skieuses. Ils ne seront pas détaillés.

## **3.5.3. Résultats de l'ACM :**

La Figure 33 représente dans le premier plan factoriel les niveaux de performance pour chaque type d'épreuve et les spécialités.

### **3.5.3.1. Première dimension :**

Elle oppose :

- des skieuses « très performantes » ou « performantes » en descente et en super géant d'une part (à droite sur l'axe des abscisses de la Figure 33) ;
- aux skieuses « très peu performantes » dans ces deux épreuves (à gauche du même axe).

*Seul l'âge est corrélé significativement et de façon positive à cette dimension.*

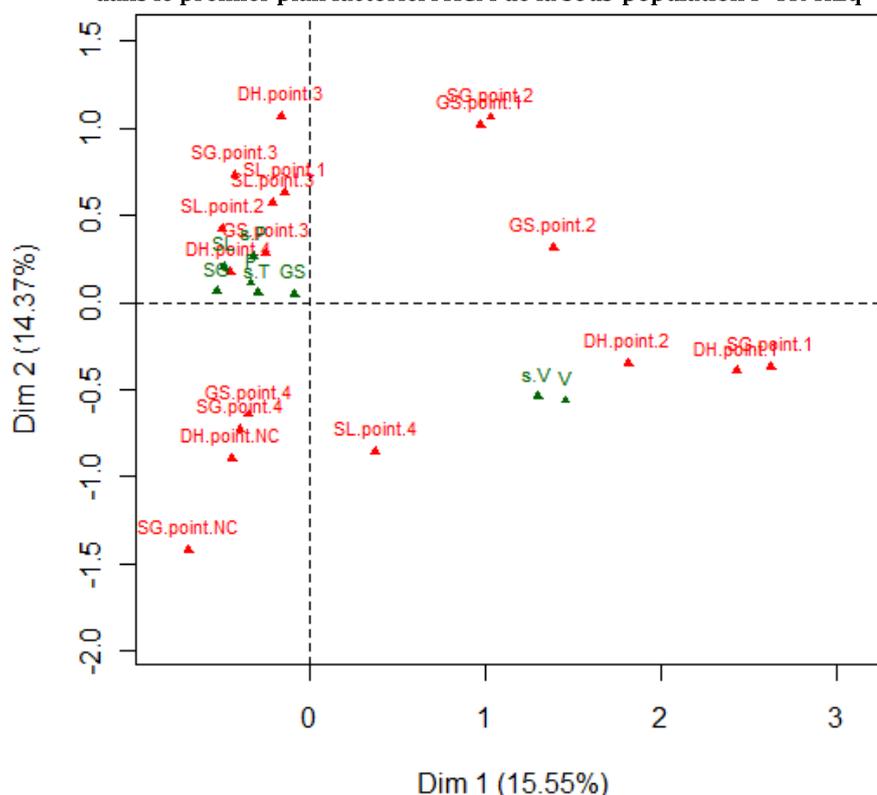
### **3.5.3.2. Deuxième dimension :**

Elle est corrélée avec le nombre de point en super géant ( $r^2 = 0,62$ ) et en descente ( $r^2 = 0,59$  ;  $p < 0,001$ ), avec :

- les skieuses « peu performantes » dans ces épreuves et performantes en super géant d'une part (en haut de l'axe des ordonnées de la Figure 33)
- les skieuses n'ayant aucun de point dans ces épreuves d'autre part (en bas de ce même axe).

*De nouveau, aucun facteur aérobique n'est corrélé à cette dimension. Seul le poids, l'âge et la taille lui sont corrélés positivement, mais de façon faible ( $0,2 < \rho < 0,4$ ).*

**Figure 33 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population F-TR-HEq**



### 3.5.3.3. Troisième dimension :

Elle est corrélée au niveau en slalom ( $r^2 = 0,69$  ;  $p < 0,001$ ) et en super-géant ( $r^2 = 0,40$  ;  $p < 0,001$ ). Ainsi, elle oppose les slalomeuses « très performantes » aux « peu performantes ».

*Du point de vue physiologique, il existe des corrélations positives peu importantes avec :*

- $\%ERCO_2max$  ( $\rho < 0,4$  ;  $p < 0,01$ ) ;
- $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,27$  ;  $p < 0,05$ ).

*Il en est de même pour l'âge ( $\rho = 0,25$  ;  $p < 0,05$ )*

### 3.5.3.4. Quatrième dimension :

*Aucun facteur physiologique n'est lié à cette dimension. Elle ne sera donc pas développée ici.*

### 3.5.4. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACM :

Comme avec les dimensions de l'ACP, la CAH ne donne pas de résultats significatifs en ce qui concerne la caractérisation de la performance des skieuses. Ils ne seront pas présentés.

### 3.6. Résultats de la sous-population F-V-Eq :

74 données sont disponibles. L'ensemble des résultats est présenté dans l'Annexe 5. La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 22.

Tableau 22 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population F-V-Eq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤8,46	≤11,2	≤13,1	≤12,5
Performant	]8,46 ; 18,7]	]11,2 ; 21,3]	]13,1 ; 19,1]	]12,5 ; 17,5]
Peu performant	]18,7 ; 52,3]	]21,3 ; 45,3]	]19,1 ; 38,3]	]17,5 ; 42,7]
Très peu performants	]52,3 ; 518]	]45,3 ; 285]	]38,3 ; 65,2]	]42,7 ; 271]

#### 3.6.1. Résultats de l'ACP :

##### 3.6.1.1. Première dimension :

*Aucun facteur de performance n'étant corrélé à cette dimension, nous ne la détaillerons pas ici (cf. Annexe 5).*

##### 3.6.1.2. Deuxième dimension :

Elle est positivement corrélée aux facteurs suivants :

- puissance au seuil (exprimé en W) ( $\rho = 0,89$ ;  $p < 0,001$ ).
- PMA ( $\rho = 0,75$ ;  $p < 0,001$ ) ;
- $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,78$ ;  $p < 0,001$ ) ;
- $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,78$ ;  $p < 0,001$ ) ;
- taille ( $\rho = 0,67$ ;  $p < 0,001$ ).
- poids ( $\rho = 0,59$ ;  $p < 0,001$ ).

*Concernant les performances, les slalomeuses « très performantes » sont situées à l'extrémité de l'axe de cette dimension (en haut sur l'ordonnée de la Figure 34) alors que les géantistes « performantes » sont situées à la base de ce même axe (en bas).*

##### 3.6.1.3. Troisième dimension :

*Aucun facteur de performance n'est associé à cette dimension. Nous ne la décrirons pas (cf. Annexe 5).*

##### 3.6.1.4. Quatrième dimension :

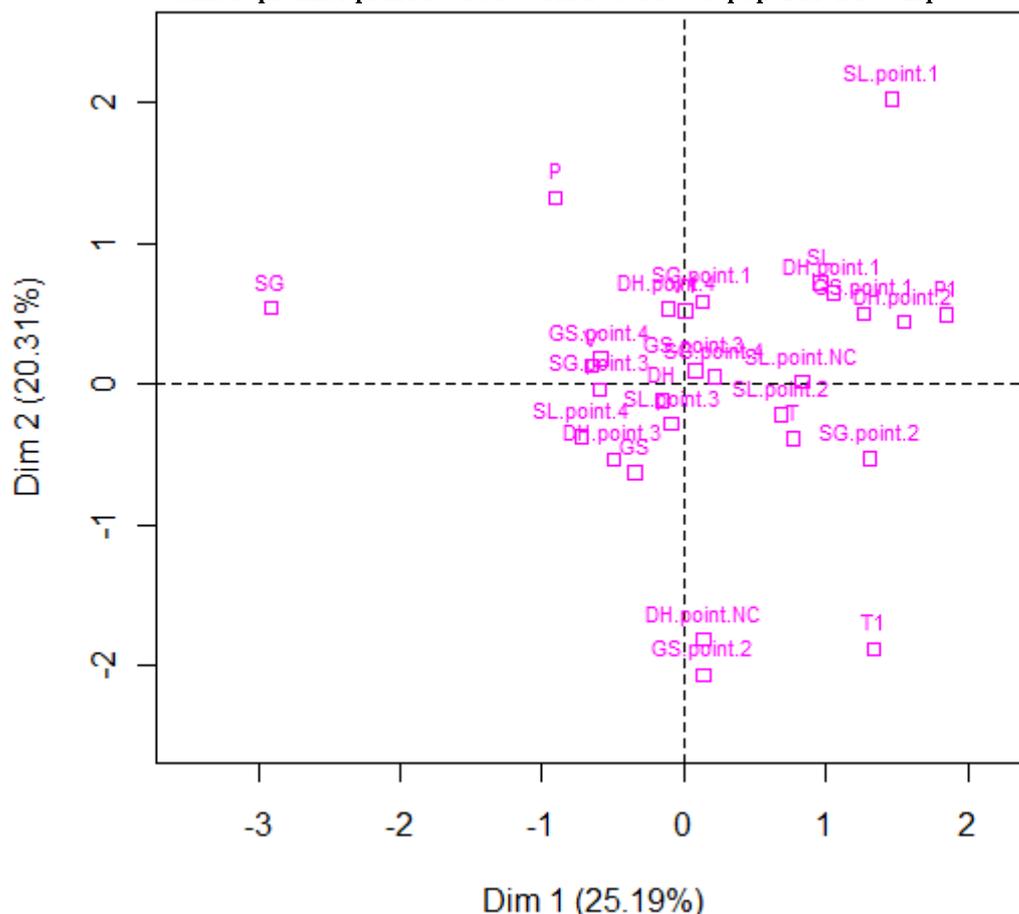
Elle est corrélée positivement avec l'IMC ( $\rho = 0,74$  ;  $p < 0,001$ ) et négativement au QRmax ( $\rho = -0,57$  ;  $p < 0,001$ ).

*Au niveau des performances, elle est discrètement reliée aux point en descente ( $r^2 = 0,18$  ;  $p < 0,05$ ), les « peu performantes » étant à la base de l'axe factoriel et les « performantes » étant à l'extrémité.*

#### 3.6.2. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACP :

De nouveau, la CAH ne donne pas de résultats significatifs en ce qui concerne la caractérisation de la performance des skieuses. Ils ne seront pas présentés.

Figure 34 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-V-Eq



### 3.6.3. Résultats de l'ACM :

#### 3.6.3.1. L'inertie des dimensions :

Les 4 premiers axes de l'ACM restituent 55% de l'inertie de départ.

*Aucune capacité aérobie n'étant suffisamment corrélée aux dimensions. Nous ne les décrirons donc que très brièvement (cf. Annexe 5). La Figure 35 représente les niveaux de performances et les spécialités dans le premier plan factoriel.*

#### 3.6.3.2. Première dimension :

Elle est bien corrélée aux points en descente ( $r^2 = 0,81$  ;  $p < 0,001$ ) et en super géant ( $r^2 = 0,80$  ;  $p < 0,001$ ).

*Seul l'âge est corrélé positivement, mais faiblement à ce premier axe.*

#### 3.6.3.3. Deuxième dimension :

Elle est modérément corrélée aux points en slalom ( $r^2 = 0,51$  ;  $p < 0,001$ ) et en géant ( $r^2 = 0,46$  ;  $p < 0,001$ ) : elle oppose les skieuses « performantes » et « très performantes » en slalom (en haut de l'axe - cf. Annexe 5) contre des athlètes « peu performantes » ou « très peu performantes ».

*L'âge est faiblement corrélé à cette dimension.*

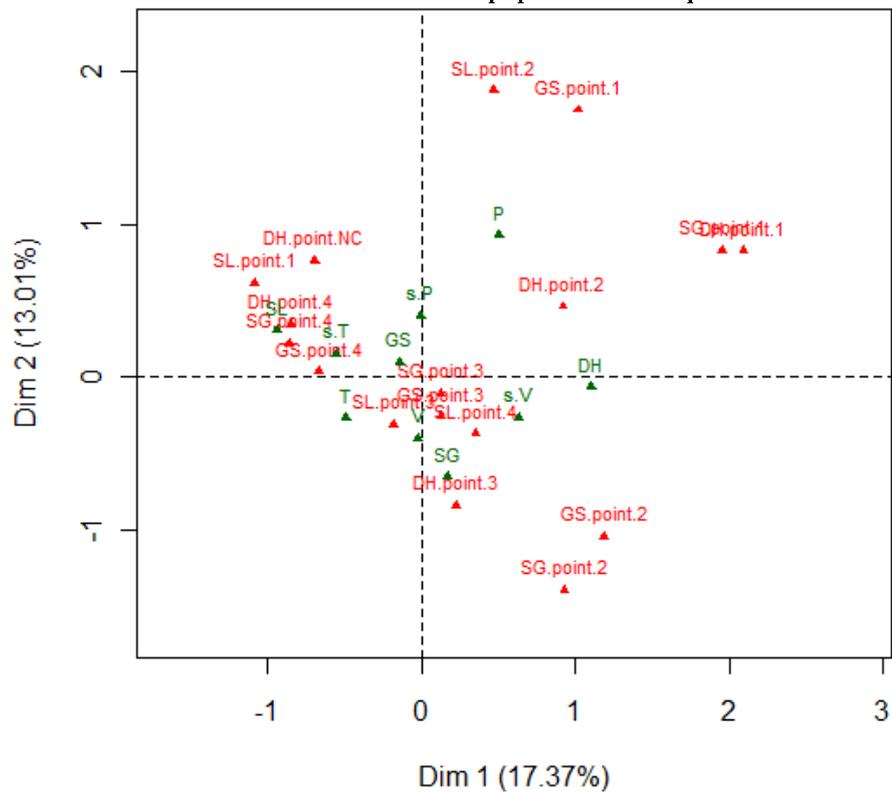
*D'un point de vue physiologique, l'ERCO<sub>2</sub>max est corrélé négativement et faiblement à cette dimension avec une significativité limite au seuil de 5% ( $\rho = 0,23$  ;  $p < 0,05$ ).*

#### 3.6.3.4. Troisième & quatrième dimensions :

La troisième dimension est surtout corrélée aux points en descente ; la quatrième est un peu corrélée aux points dans chacune des deux épreuves de vitesse.

*Aucune variable physiologique ou anthropométrique n'est associée à ces dimensions.*

Figure 35 : Cartographies des variables de performance en fonction des deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population F-V-Eq



**3.6.4. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACM :**

La classification ne fournit pas de résultats intéressants. Elle n'est donc pas présentée.

**3.7. Résultats de la sous-population F-V-HEq**

40 données sont disponibles. L'analyse n'est pas significative.

### 3.8. Résultats de la sous-population H-TR-Eq :

210 données sont disponibles. Tous les résultats sont présentés en Annexe 6. La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 23

Tableau 23 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-TR-Eq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤22,4	≤18,4	≤14,4	≤14,3
Performant	]22,4 ; 28,5]	]18,4 ; 25,2]	]14,4 ; 19,4	]14,3 ; 21,1]
Peu performant	]28,5 ; 70,8]	]25,2 ; 54,7]	]19,4 ; 35,7	]21,1 ; 52]
Très peu performants	]70,8 ; 376]	]54,7 ; 237]	]35,7 ; 91,3	]52 ; 207]

#### 3.8.1. Résultats de l'ACP :

30 données n'ont pas pu être exploitées pour cette analyse, en raison d'observations incomplètes concernant les facteurs aérobie au seuil. Ainsi, 180 données ont été analysées.

Ci - dessous, le cercle de corrélation des variables actives (Figure 36) et la cartographie des performances (Figure 37) dans le premier plan factoriel :

Figure 36 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq.

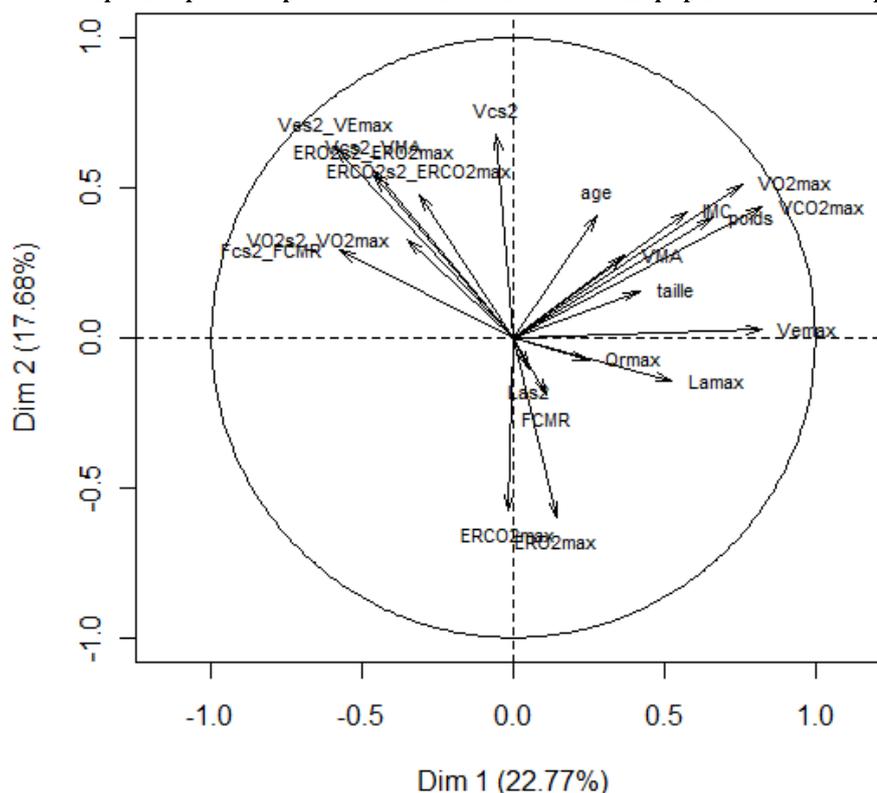
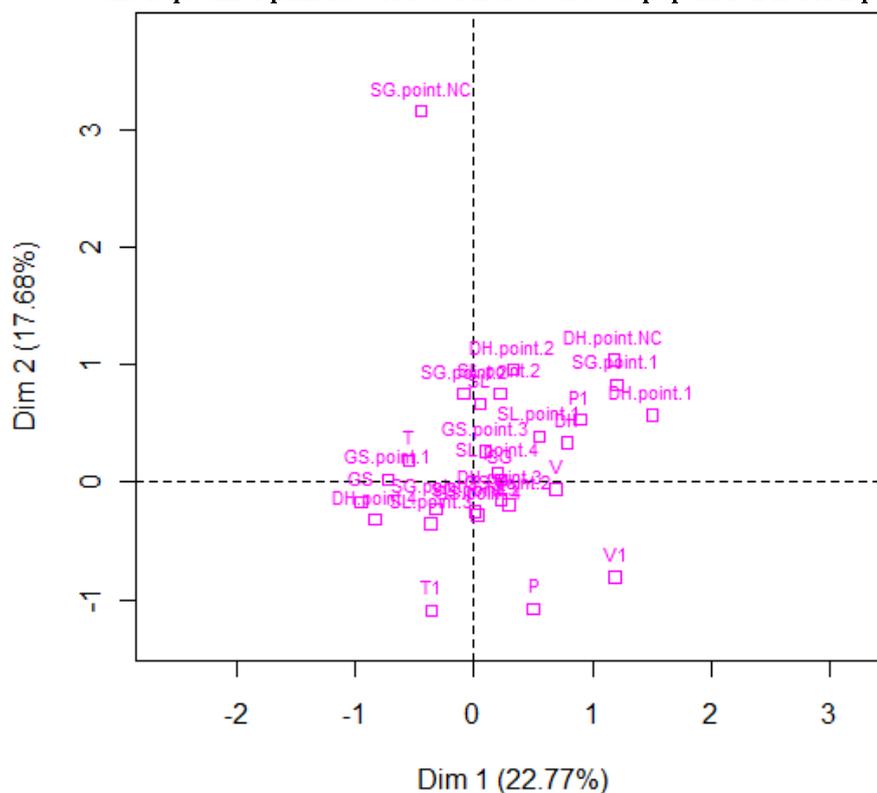


Figure 37 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq



### 3.8.1.1. Première dimension

Elle est corrélée opposé

- positivement à des facteurs physiologiques maximaux :
  - $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,82$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\dot{V}E max$  ( $\rho = 0,82$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,76$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - lactatémie maximale ( $\rho = 0,52$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- négativement à des facteurs physiologiques au seuil, exprimés en pourcentage de la valeur maximale :
  - %FCmax ( $\rho = -0,58$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - % $\dot{V}Emax$  ( $\rho = -0,59$  ;  $p < 0,001$ ).

Concernant les facteurs anthropométriques, cette dimension est liée au poids ( $\rho = 0,66$  ;  $p < 0,001$ ) ; et à l'IMC ( $\rho = 0,57$  ;  $p < 0,001$ ).

Du point de vue des performances, elle est liée, mais faiblement au niveau en descente ( $r^2 = 0,12$ ) avec :

- les descendeurs « très performants » d'un côté (à droite, sur l'axe des abscisses Figure 37)
- les descendeurs « très peu performants » (à gauche de l'axe).

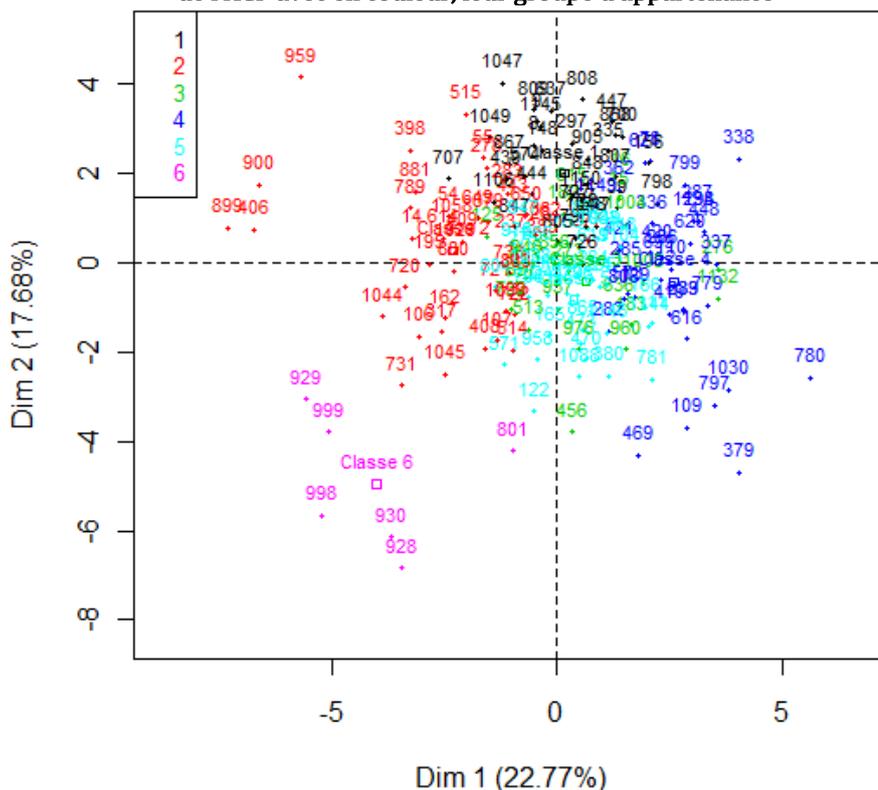
### 3.8.1.2. Deuxième, troisième, quatrième et cinquième dimensions :

Nous ne décrivons pas ces dimensions (cf. Annexe 6), car il n'y a pas de corrélation suffisante à la performance ( $r^2 < 0,1$ ).

### 3.8.2. CAH / ACP :

La CAH a été effectuée à partir des 12 premières composantes de l'ACP afin de restituer 95% de l'inertie totale. Nous obtenons 6 groupes, décrits ci-dessous. La Figure 38 représente les individus, dans le premier plan factoriel.

Figure 38 : Cartographie des skieurs (H-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.8.2.1. Premier groupe :

Il rassemble 36 athlètes. Les moyennes du  $\% \dot{V}E_{max}$  au seuil, de  $\dot{V}O_2_{max}$  brute, du poids et de l'IMC des skieurs de ce groupe, sont supérieures à celles de la sous-population étudiée.

*Aucune performance ne caractérise cette classe.*

### 3.8.2.2. Deuxième groupe :

Il compte 43 skieurs qui présentent des paramètres aérobie au seuil ( $\%VMA$ ,  $\% \dot{V}E_{max}$ ,  $\%FC_{max}$  et  $\% \dot{V}O_2_{max}$ ) en moyenne supérieure à la sous-population. Par contre les valeurs moyennes de  $\dot{V}E_{max}$ ,  $\dot{V}O_2_{max}$ ,  $\dot{V}CO_2_{max}$  et lactate max sont inférieures.

*Considérant les paramètres anthropométriques, le poids, la taille et l'IMC sont également inférieurs à la moyenne.*

*Concernant les performances, ce groupe est constitué de skieurs plutôt spécialisés en technique, « très performants » en géant et « très peu performants » en descente.*

### 3.8.2.3. Troisième groupe :

Il réunit 22 athlètes. Certains des facteurs physiologiques maximaux ( $VMA$ ,  $QR_{max}$ ,  $\dot{V}CO_2_{max}$  lactate max) sont supérieurs à la moyenne. Par contre, leur  $\dot{V}O_2$  au seuil (exprimé en  $\% \dot{V}O_2_{max}$ ) et la vitesse relative au seuil (en  $\%$  de la  $VMA$ ) sont inférieurs à la moyenne.

*Anthropométriquement, ils sont plus légers et ont un IMC plus faible que la moyenne. Ils sont également plus jeunes.*

*S'agissant des performances, ils sont spécialisés en techniques (aucun n'a la spécialité vitesse) et ils sont « performants » en géant.*

### 3.8.2.4. Quatrième groupe :

Les 35 skieurs du quatrième groupe ont un  $\dot{V}E_{max}$ , une  $\dot{V}CO_2_{max}$ , une  $\dot{V}O_2_{max}$  et une lactatémie max plus élevés que dans la sous population. Par contre, certains facteurs physiologiques au seuil ( $\%FC_{max}$  ;  $\% \dot{V}E_{max}$  ;  $\%VMA$  ;  $\% \dot{V}O_2_{max}$  et  $\%ERO_2$ ) sont plus

faibles.

Les skieurs de ce groupe sont plus âgés et anthropométriquement, leurs poids et leur IMC sont également supérieurs à la moyenne.

Concernant les performances, il s'agit de skieurs spécialisés en vitesse et « très performants » en descente.

### 3.8.2.5. Cinquième et sixième groupe :

Le **cinquième** (37 athlètes) et le **sixième groupe** (6 athlètes) ne présentent aucune distinction de performance ou de spécialisation, ils ne sont donc pas décrits ici.

## 3.8.3. Résultats de l'ACM :

### 3.8.3.1. Première dimension :

Elle est reliée au niveau de performance en super-géant ( $r^2 = 0,8$ ) et en descente ( $r^2 = 0,76$ ), ainsi qu'au rang de classement aux rangs de classement en descente ( $\rho = -0,56$  ;  $p < 0,001$ ) et de super-géant ( $\rho = -0,58$  ;  $p < 0,001$ ).

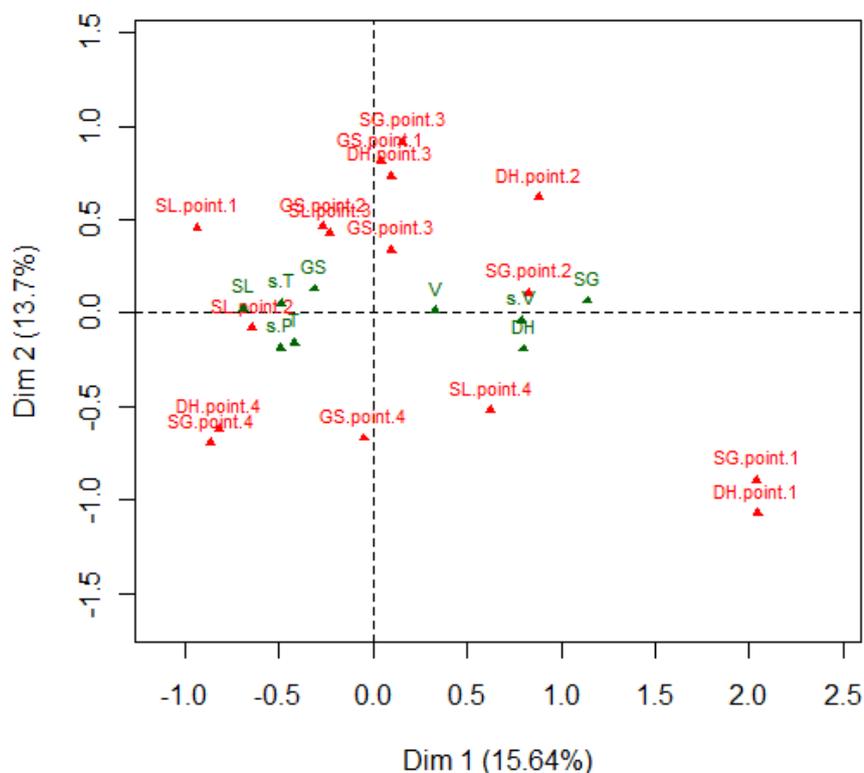
Anthropométriquement, l'IMC et le poids sont corrélés positivement à cette dimension, tout comme l'âge.

Concernant les paramètres physiologiques, la  $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,22$   $p < 0,01$ ) et la  $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,20$   $p < 0,01$ ) sont dans une moindre mesure corrélées à cette dimension.

### 3.8.3.2. Autres dimensions :

Les trois dimensions suivantes ne montrent pas de relation entre les performances et les facteurs physiologiques. Elles ne sont donc pas détaillées ici.

Figure 39 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performance selon les types d'épreuves (en rouge) d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq



### 3.8.4. CAH / ACM :

La Figure 40 situe les skieurs dans le premier plan factoriel.

#### 3.8.4.1. Premier groupe :

Il rassemble 29 athlètes, spécialisés en technique, « très performants » en slalom et en géant.

*Ce groupe se différencie de la sous-population par son âge (25,1 vs 21,6 ans), mais il ne présente pas de singularité anthropométrique.*

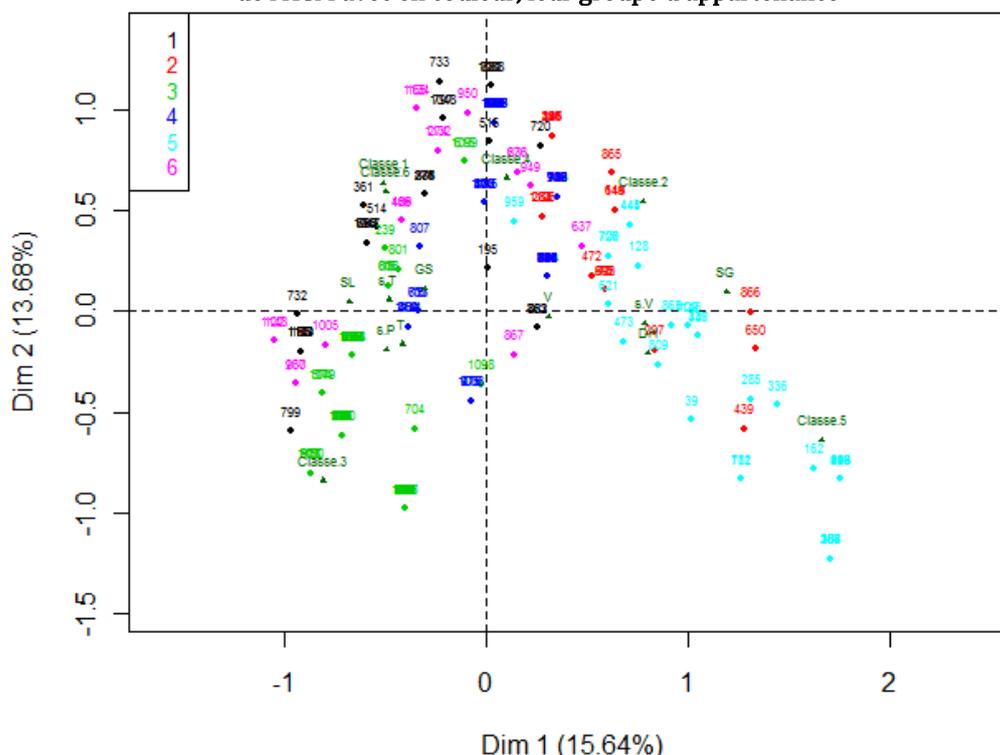
*Concernant les paramètres physiologiques, la lactatémie maximale est légèrement inférieure à la moyenne (9,5 vs 10,5 mmol.L<sup>-1</sup>).*

#### 3.8.4.2. Second groupe :

Il réunit 21 athlètes, principalement spécialisés en vitesse. Tous les descendeurs « performants » de la sous-population sont dans ce groupe. Aucun n'est « peu performant » ni « très peu performant » en descente et en super géant.

*Anthropométriquement, leur poids, IMC et taille sont plus élevés que dans l'échantillon. Ce groupe ne présente pas de différence d'un point de vue physiologique.*

Figure 40 : Cartographie des skieurs (H-TR-Eq) selon les deux premières dimensions de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance



Les **troisième** et **quatrième** groupes, ont la caractéristique commune de ne compter aucun ou très peu d'athlètes « très performants » quel que soit le type d'épreuve ou « performant » en descente, super-géant ou en géant.

#### 3.8.4.3. Troisième groupe :

Le troisième groupe (62 athlètes) est caractérisé par des athlètes qui sont « performants » en slalom, « très peu performants » en super géant, en descente et en géant. Les athlètes « peu performants » dans ces deux dernières épreuves sont sous représentés.

*Anthropométriquement, leur IMC (23,4 vs 24,8) et leur poids (74,2 vs 79,4 kg) sont inférieurs à celui de la sous-population. Ils sont également plus jeunes (19,5 vs 21,6 ans).*

Concernant les paramètres physiologiques, leur  $\dot{V}E_{max}$  (140,6 vs 145,8 L.min<sup>-1</sup>), leur  $\dot{V}O_2max$  (4,60 vs 4,74 L.min<sup>-1</sup>), leur  $\dot{V}CO_2max$  (4,82 vs 5,03 L.min<sup>-1</sup>) sont inférieurs à celui de la sous-population.

#### **3.8.4.4. Quatrième groupe :**

Il est composé de 48 sportifs. A l'inverse du groupe précédents, il n'y a pas de slalomeur « performant » ; les athlètes « peu performants » en descente et en super géant sont surreprésentés, alors que les « très peu performants » dans ces même épreuves sont sous représentés.

*Ils sont plus jeunes que la moyenne (19,7 vs 21,6 ans).*

*Physiologiquement, ils ont en moyenne un  $ERO_2max$  (31,88 vs 30,90),  $ERCO_2max$  (30,00 vs 29,16) et un lactate max (11,14 vs 10,48 mmol.L<sup>-1</sup>) un peu supérieur à la moyenne de la sous-population. Par contre, la vitesse au seuil (13,7 vs 14,1 km.h<sup>-1</sup>) est moindre.*

#### **3.8.4.5. Cinquième groupe :**

Constitué de 32 athlètes, il se caractérise par la présence de skieurs spécialisés en vitesse « très performants » en descente et super géant.

*Ils sont plus âgés (24,1 vs 21,6 ans) et anthropométriquement, ils sont*

- *plus « lourds » (86,3 vs 79,4 kg),*
- *plus grands (182 vs 179 cm),*
- *avec un IMC plus important (26,1 vs 24,8 kg.m<sup>-2</sup>)*

*Enfin, concernant les paramètres physiologiques, ils ont des moyennes plus élevées de :*

- *$\dot{V}O_2max$  (5,02 vs 4,74 L.min<sup>-1</sup>),*
- *$\dot{V}CO_2max$  (5,3 vs 4,7 L.min<sup>-1</sup>),*
- *$\dot{V}E_{max}$  (152,6 vs 145,7 L.min<sup>-1</sup>).*

#### **3.8.4.6. Sixième groupe :**

Enfin le **sixième groupe** rassemble 18 athlètes, spécialisés dans les épreuves techniques. Ils sont tous « performants » en géant.

*Anthropométriquement, ils sont plus petits (175,8 vs 179,0 cm) que la moyenne.*

*Concernant les facteurs physiologiques, il présente une lactatémie maximale (12,1 vs 10,5 mmol.L<sup>-1</sup>) et une VMA (19,3 vs 18,5 km.h<sup>-1</sup>) supérieures à la moyenne de la sous-population. Par contre le  $\% \dot{V}O_2max$  au seuil est moins bon (76,9 vs 80,4 %).*

### 3.9. Résultats de la sous-population H-TR-HEq :

116 données sont disponibles pour la sous-population H-TR-HEq. Le détail des résultats sont présentés en Annexe 7.

La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 24

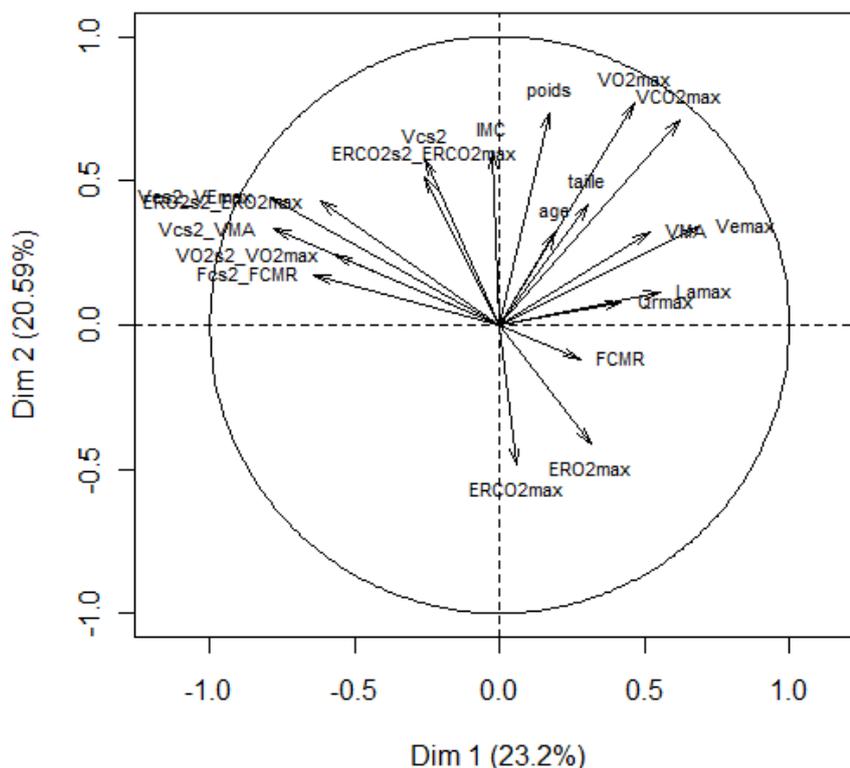
Tableau 24 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-TR-HEq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤66	≤48,2	≤63,1	≤31,1
Performant	]66 ; 76,6]	]48,2 ; 64,3]	]63,1 ; 45,9]	]31,1 ; 43]
Peu performant	]76,6 ; 128]	]64,3 ; 92,4]	]45,9 ; 65,3]	]43 ; 77,7]
Très peu performants	]128 ; 342]	]92,4 ; 205]	]65,3 ; 136]	]77,7 ; 224]

#### 3.9.1. Résultats de l'ACP :

11 données ont été supprimées en raison d'observations incomplètes. De plus la variable « lactatémie au seuil » n'a pas pu être introduite en tant que variable active, car environs 50% des observations ne sont pas renseignés.

Figure 41 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq



#### 3.9.1.1. L'inertie des dimensions :

Les 4 premiers axes de l'ACP expriment 66% de l'inertie totale.

#### 3.9.1.2. Première dimension :

La première dimension oppose sur l'axe des abscisses (cf. cercle de corrélation des variables actives Figure 41) :

- les capacités aérobies maximales élevées ( $\dot{V}Emax$ ,  $\dot{V}CO_2max$ , la lactatémie maximale, la VMA)
- aux capacités relatives (en pourcentage de la valeur maximale) au seuil élevé

(% $\dot{V}Emax$ , %VMA, %FCmax, %ERO2max et % $\dot{V}O_2max$ ).

Aucune corrélation avec les performances n'est trouvée.

### 3.9.1.3. Deuxième dimension :

Elle est corrélée à :  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}CO_2max$  ainsi qu'au poids et à l'IMC (cf. ordonnée du cercle de corrélation des variable active Figure 41).

Concernant les performances, elle est très faiblement liée au niveau en slalom ( $r^2 = 0,12$ ) et en super-géant ( $r^2 = 0,09$ ).

### 3.9.1.4. Troisième dimension :

Elle met en évidence une corrélation positive entre ERO2max, ERCO2max et  $\dot{V}Emax$ .

Aucune corrélation aux paramètres de performance n'est trouvée.

### 3.9.1.5. Quatrième dimension :

Elle oppose : d'une part, le poids et l'IMC à la VMA d'autre part.

Concernant les performances, nous avons opposition entre :

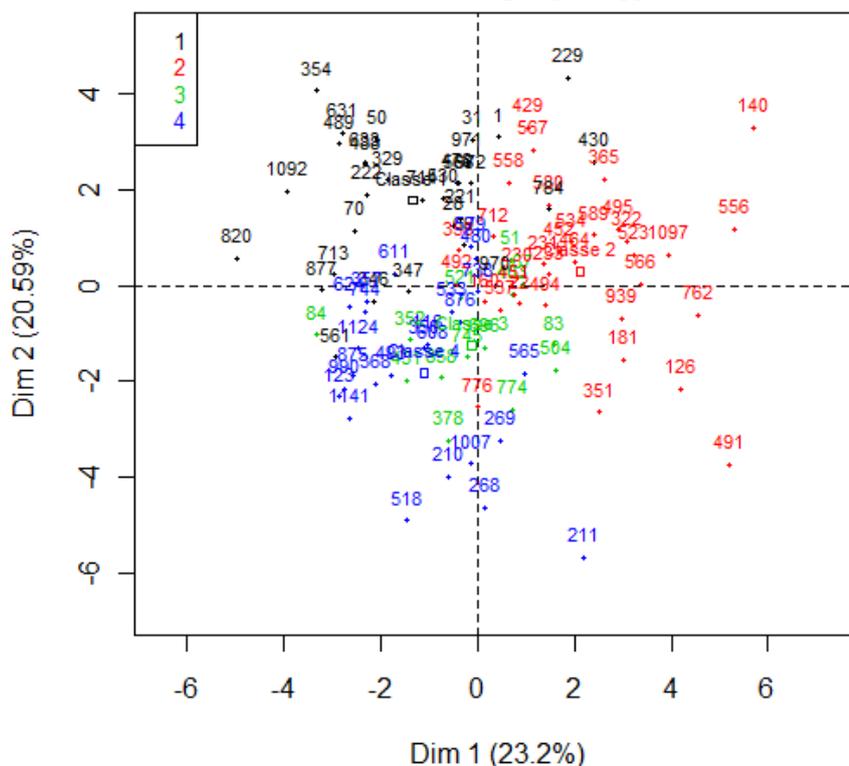
- les descendeurs « très performants » ou « performants » et super géantistes « très performants » d'une part
- super géantistes et descendeurs « très peu performants » d'autre part.

Les relations entre cette dimension et les performances sont cependant faibles ( $r^2 < 0,25$ )

## 3.9.2. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACP

Nous obtenons 4 groupes, décrits ci-dessous. La Figure 42 représente les individus dans le premier plan factoriel selon leur groupe d'appartenance :

Figure 42 : Cartographie des skieurs (H-TR-HEq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.9.2.1. Premier groupe :

Les 31 skieurs de ce groupe (en noir sur la Figure 42) sont caractérisés par des capacités aérobies relatives (exprimés en pourcentage des valeurs maximales) au seuil plus élevé que la moyenne :

- $\% \dot{V}E_{max}$  (77,5 vs 70,3 %) ;
- $\%VMA$  (82,5 vs 77,7 %) ;
- $\%ERCO_2max$  (100 vs 96 %) ;
- $\%ERO_2max$  (91,9 vs 87%) ;
- $\% \dot{V}O_2max$  (84,3 vs 80,7 %) ;
- des facteurs maximaux plus faibles :
  - Lactatémie (8,73 vs 9,93 mmol.L<sup>-1</sup>) ;
  - $ERO_2max$  (27,6 vs 29,6) ;
  - $ERCO_2max$  (28,9 vs 31,4) ;

*Anthropométriquement, ils ont un IMC (24,5 vs 23,0) et un poids (75,8 vs 71,4 kg) plus élevé. Nous avons une surreprésentation des athlètes « très performants » en géant.*

### 3.9.2.2. Deuxième groupe :

Le second groupe (en rouge sur la Figure 42) réunit 34 skieurs. Ils sont caractérisés en comparaison de l'ensemble de la sous-population par :

- des capacités maximales plus élevées :
  - $\dot{V}E_{max}$  (149 vs 133 L.min<sup>-1</sup>),
  - VMA (19,0 vs 17,8, km.h<sup>-1</sup>)
  - Lactatémie maximale (11,8 vs 9,9 mmol.L<sup>-1</sup>) ;
  - $\dot{V}O_2max$  (4,6 vs 4,3 L.min<sup>-1</sup>)
  - $\dot{V}CO_2max$  (5,0 vs 4,6 L.min<sup>-1</sup>).
- des capacités aérobies au seuil sont plus faibles (en pourcentage) :
  - $\dot{V}O_2$  (75 vs 80 %)
  - $\dot{V}E$  (64 vs 70 %)
  - Vitesse (73 vs 78 %)

*Il s'agit principalement de skieurs spécialisés en super-géant, mais aucune performance ne se démarque du groupe.*

### 3.9.2.3. Troisième groupe :

Il compte 14 skieurs (en vert sur la Figure 42), caractérisés par :

- un  $ERO_2max$  haut (36 vs 31),
- un  $ERCO_2max$  haut (33 vs 30),
- une  $\dot{V}O_2max$  basse (3,9 vs 4,3 L.min<sup>-1</sup>),
- une FCmax basse (191 vs 197 min<sup>-1</sup>).

*Ce groupe réunit des skieurs « peu performants » en slalom.*

### 3.9.2.4. Quatrième groupe :

Il rassemble 26 skieurs (en bleu sur la Figure 42), caractérisé par :

- une FCmax un peu plus haute (201 vs 197 .min<sup>-1</sup>) ;
- un  $\dot{V}E_{max}$  plus petit (115 vs 134 L.min<sup>-1</sup>) ;
- une  $\dot{V}O_2max$  plus basse (3,8 vs 4,3 L.min<sup>-1</sup>) ;
- une  $\dot{V}CO_2max$  plus basse (4,0 vs 4,6 L.min<sup>-1</sup>).

*Les skieurs de ce groupe sont plus jeunes (16,7 vs 17,9 ans) et présentent des caractéristiques anthropométriques plus petites :*

- poids (64,3 vs 71,4 kg),
- taille (173 vs 176 cm),
- IMC (21,4 vs 23,0) ;

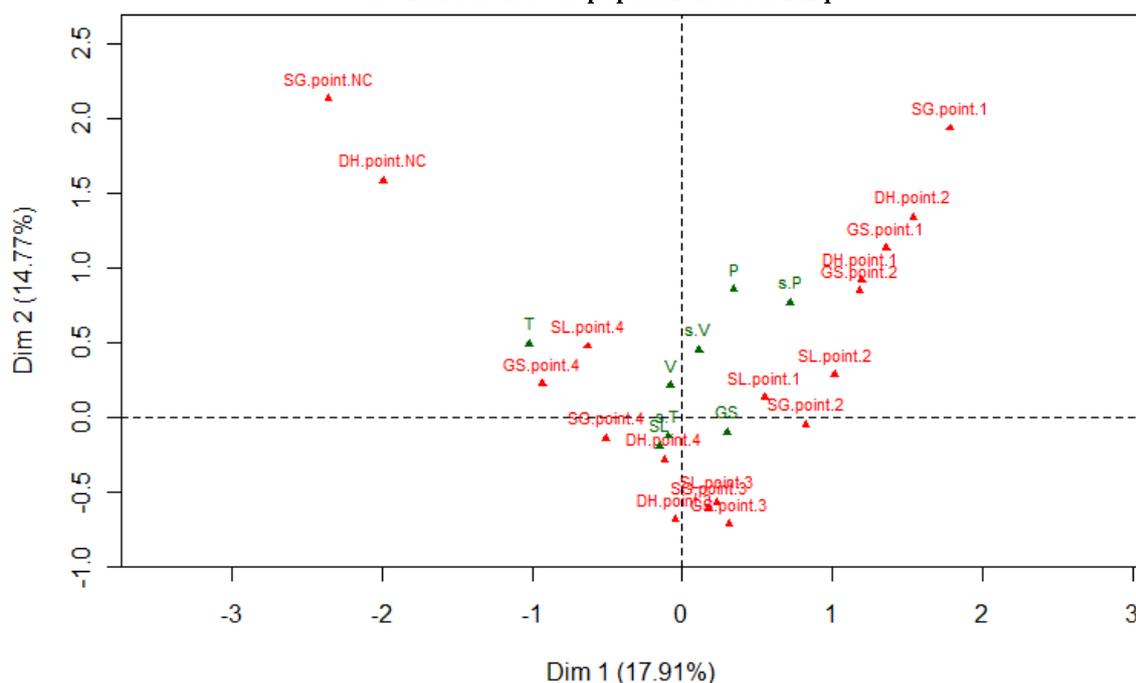
*Concernant les performances, il s'agit de skieurs « très peu performants » en slalom et en géant.*

### 3.9.3. Résultats de l'ACM :

Nous ne décrivons que les trois premières dimensions, qui restituent 44% de l'information (diagramme des inerties dans l'Annexe 7).

Le cercle de corrélation des variables quantitatives illustratives est disponible dans l'Annexe 7. La Figure 43 représente les modalités actives (soit les niveaux de performance pour chaque type d'épreuve, en rouge) et supplémentaires (spécialité et sous-spécialité en vert) dans le premier plan factoriel.

Figure 43 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performance selon les types d'épreuves (en rouge) d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq



#### 3.9.3.1. Première dimension :

Elle oppose :

- d'une part, les skieurs « très performants » ou « performants » en descente, super-géant et en géant
- d'autre part, aux skieurs n'ayant aucun point ou « très peu performants » en descente et en super-géant.

*Anthropométriquement, cette première dimension est corrélée positivement avec l'IMC et le poids.*

*Elle également corrélée positivement à l'âge.*

*Les facteurs physiologiques n'apparaissent pas corrélés à cette dimension.*

#### 3.9.3.2. Deuxième dimension :

Elle oppose :

- les skieurs soit « très performants » en super géant ou « performants » en géant ou n'ayant aucun point dans ces épreuves
- aux skieurs « peu performants » ou « très peu performants » dans ces épreuves.

*Cette dimension est corrélée positivement et faiblement avec l'âge et l'IMC.*

*Au niveau des paramètres physiologiques, elle présente une faible corrélation négative avec la VMA ( $\rho = -0,22$ ).*

#### 3.9.3.3. Troisième dimension :

Elle oppose :

- les descendeurs « très performants » et les super géantistes « performants »,
- aux skieurs « très peu performants » dans ces deux épreuves.



*leur IMC est plus élevé (24,2 vs 23,0).*

*Concernant les caractéristiques physiologiques, la  $\dot{V}O_2\max$  (4,54 vs 4,28 L.min<sup>-1</sup>), la VMA (18,6 vs 17,9 km.h<sup>-1</sup>) et la vitesse au seuil (14,4 vs 13,9 km.h<sup>-1</sup>) sont à peine plus élevés, mais cette différence est statistiquement significative au seuil de 5%.*

#### **3.9.4.4. Quatrième groupe :**

Composé de 6 skieurs (en bleu sur la Figure 44), spécialisé en technique, tous « très peu performants » en Slalom et en Géant, et n'ont aucun point en Descente ou Super-Géant.

*Anthropométriquement, les skieurs de ce groupe sont plus légers (66,0 vs 71,4 kg) et plus petits (171 vs 176 cm).*

*Aucun paramètre physiologique ne caractérise ce groupe.*

### 3.10. Résultats de la sous-population H-V-Eq :

116 données sont disponibles pour la sous-population H-V-Eq. Le détail des résultats est présenté dans l'Annexe 8.

La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 25

Tableau 25 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-V-Eq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	$\leq 7,35$	$\leq 15,1$	$\leq 10,1$	$\leq 10,3$
Performant	]7,35 ; 16,2]	]15,1 ; 18,1]	]10,1 ; 15,7]	]10,3 ; 18,2]
Peu performant	]16,2 ; 50,6]	]18,1 ; 37,2]	]15,7 ; 16,4]	]18,2 ; 64,5]
Très peu performants	]50,6 ; 340]	]37,2 ; 177]	]16,4 ; 150]	]64,5 ; 369]

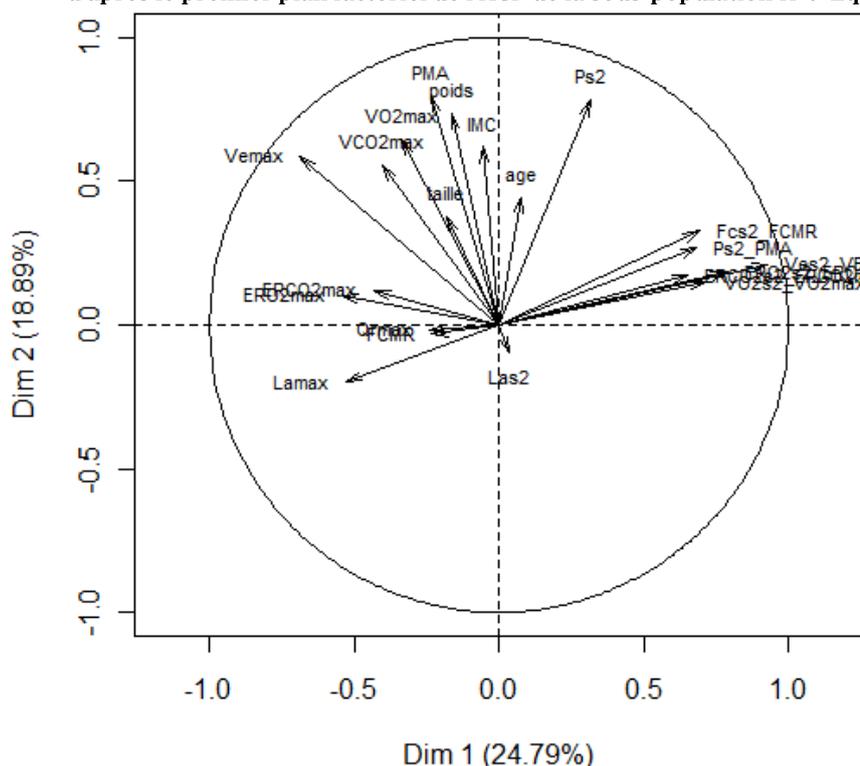
#### 3.10.1. Résultats de l'ACP :

21 observations sont supprimées car incomplètes.

##### 3.10.1.1. L'inertie des dimensions :

Les 4 premières dimensions de l'ACP restituent 65% de l'inertie de départ.

Figure 45 Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-Eq



##### 3.10.1.2. Première dimension :

Elle met en évidence des corrélations :

- positives entre les capacités aérobies au seuil (exprimé en pourcentage de la valeur maximale) :
  - o  $\% \dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,93$  ;  $<0,001$ ) ;
  - o  $\% \dot{V}O_{2max}$  ( $\rho = 0,72$  ;  $<0,001$ ) ;
  - o  $\%ER_{O_2}$  ( $\rho = 0,79$  ;  $<0,001$ ) ;
  - o  $\%ER_{CO_2}$  ( $\rho = 0,65$  ;  $<0,001$ ) ;
  - o  $\%PMA$  ( $\rho = 0,68$  ;  $<0,001$ ) ;

- %FCmax ( $\rho = 0,69$  ;  $<0,001$ ).
- négative avec  $\dot{V}E_{max}$  ( $\rho = -0,69$  ;  $<0,001$ ).

*Anthropométriquement, il n'y a pas de corrélation notable.*

*Concernant les performances, il existe une très mince relation avec le niveau en descente ( $r^2 = 0,1$ ).*

### **3.10.1.3. Deuxième dimension :**

Elle est corrélée positivement avec :

- les facteurs physiologiques suivant :
  - PMA ( $\rho = 0,80$  ;  $p < 0,001$ ),
  - Puissance brute au seuil ( $\rho = 0,78$  ;  $p < 0,001$ ),
  - $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,65$  ;  $p < 0,001$ ),
  - $\dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,59$  ;  $p < 0,001$ ),
  - $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,56$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- les facteurs anthropométriques :
  - Poids ( $\rho = 0,74$  ;  $p < 0,001$ ),
  - IMC ( $\rho = 0,62$  ;  $p < 0,001$ ).

*Concernant les performances, cette dimension est corrélée avec les points en descente ( $r^2 = 0,21$  ;  $p < 0,001$ ) et nous avons en haut de l'axe formé par cette dimension les descendeurs « très performants », opposés en bas à aux descendeurs « très peu performants ».*

### **3.10.1.4. Troisième dimension :**

Elle est corrélée positivement avec les équivalents respiratoires ( $ERO_2max$  et  $ERCO_2max$ ).

*Aucune performance n'est significative sur cet axe.*

### **3.10.1.5. Quatrième dimension :**

Elle est corrélée

- positivement avec :
  - le QR max ( $\rho = 0,75$  ;  $p < 0,001$ ),
  - la  $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,52$  ;  $p < 0,001$ ),
- négativement avec :
  - le poids ( $\rho = -0,50$  ;  $p < 0,001$ )
  - la taille ( $\rho = -0,41$  ;  $p < 0,001$ ).

*Concernant les performances, il existe une corrélation avec le niveau en Géant ( $r^2 = 0,21$ ) et en slalom ( $r^2 = 0,17$ ) ; nous pouvons opposer :*

- *les skieurs « performants » en slalom et géant, mais « très peu performants » en descente, à l'extrémité de l'axe formé par cette dimension*
- *de l'autre, les skieurs « très peu performants » en slalom et géant, à l'origine de ce même axe.*

## **3.10.2. CAH / ACP**

Nous obtenons un découpage en 3 groupes.

### **3.10.2.1. Premier groupe :**

Constitué de 43 skieurs, caractérisés physiologiquement et anthropométriquement par des valeurs plus importantes de :

- PMA (395 vs 370 W) et puissance au seuil (287 vs 260 W) ;
- $\dot{V}E_{max}$  (168 vs 156 L.min<sup>-1</sup>) ;
- $\dot{V}O_2max$  (5,16 vs 4,93 L.min<sup>-1</sup>) ;
- $\dot{V}CO_2max$  (5,97 vs 5,68 L.min<sup>-1</sup>) ;
- poids (86,7 vs 83,5 kg) ;
- taille (181,8 vs 179,9 cm) ;

*Les super-géantistes « très performants » sont surreprésentés dans ce groupe.*

### **3.10.2.2. Deuxième groupe :**

Constitué de 36 skieurs, il est caractérisé par des paramètres physiologiques maximaux plus bas que la moyenne de la sous-population :

- $\dot{V}E_{max}$  (135 vs 156 L.min<sup>-1</sup>) ;
- PMA (337 vs 370 W) ; et puissance au seuil (241 vs 260 W) ;
- $\dot{V}O_{2max}$  (4,54 vs 4,93 L.min<sup>-1</sup>) ;
- $\dot{V}CO_{2max}$  (5,19 vs 5,68 L.min<sup>-1</sup>) ;
- ERO<sub>2</sub>max (29,74 vs 31,74) ;
- ERCO<sub>2</sub>max (26,05 vs 27,65).

*Les paramètres anthropométriques suivant sont également plus faibles :*

- poids (78,4 vs 83,5 kg) ;
- taille (177 vs 180 cm) ;

*Il s'agit principalement de géantistes « très peu performants » en descente.*

### **3.10.2.3. Troisième groupe :**

Constitué de 16 skieurs, il est caractérisé par :

- une lactatémie max élevé (14,9 vs 12,6)
- des valeurs relatives au seuil (exprimé en pourcentage des valeurs maximales) plus basse :
  - o %FCmax (81 vs 88 %) ;
  - o %PMA (61 vs 70 %) ;
  - o % $\dot{V}E_{max}$  (44 vs 58 %) ;
  - o  $\dot{V}O_{2max}$  (65 vs 76 %) ;

*Les descendeurs « peu performants » sont surreprésentés dans ce groupe.*

### **3.10.3. Résultats de l'ACM :**

La Figure 46 représente les niveaux de performance par type d'épreuve et situe les spécialités d'après le premier plan factoriel.

#### **3.10.3.1. Première dimension :**

Elle est très bien corrélée au niveau de performance en descente ( $r^2 = 0,8$ ) et en super-géant ( $r^2 = 0,68$ ). Elle oppose :

- les skieurs « très performants » en descente et en super-géant (à droite de l'axe des abscisses sur la Figure 46)
- aux skieurs « très peu performants » dans ces mêmes épreuves (à gauche).

*Aucune variable physiologique n'est significativement corrélée à cette dimension.*

*Les paramètres anthropométriques les mieux corrélés sont :*

- l'IMC ( $\rho = 0,61$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- le poids ( $\rho = 0,52$  ;  $p < 0,001$ ) ;

#### **3.10.3.2. Deuxième dimension :**

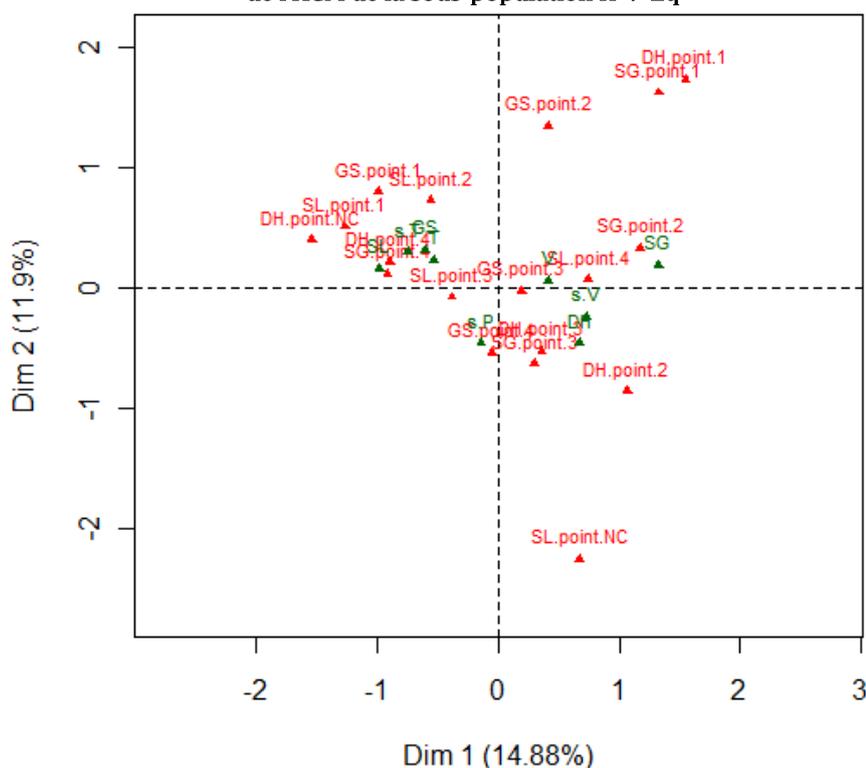
Elle est corrélée au niveau en descente ( $r^2 = 0,51$  ;  $p < 0,001$ ), avec en haut de l'axe des ordonnées (Figure 46) les descendeurs « très performants »

*Aucune variable aérobie ou anthropométrique n'est fortement corrélée à cette dimension.*

#### **3.10.4. Dimensions suivantes :**

Elles ne sont pas présentées ici, il n'y a pas de corrélation avec les paramètres aérobies (cf. Annexe 8.).

Figure 46 : Cartographies des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performance selon les types d'épreuves (en rouge) d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-Eq



### 3.10.5. CAH / ACM

Nous obtenons un découpage en 3 groupes :

#### 3.10.5.1. Premier groupe :

Constitué de 46 skieurs spécialisés en technique ; aucun n'est spécialisé en super géant. Il s'agit principalement de skieurs spécialisés en technique. Tous les slalomeurs « performants » et la presque totalité des slalomeurs et géantistes « très performants » de la sous-population sont dans ce groupe.

*Seuls les paramètres anthropométriques sont significativement différents dans cette classe :*

- le poids moyen est inférieur (78,9 vs 83,1 kg) ;
- l'IMC moyen est plus faible (24,6 vs 25,7)

#### 3.10.5.2. Deuxième groupe :

Composé de 43 skieurs, spécialistes de la vitesse mais aucun n'est « très performant » en descente ou en super géant, ils sont plutôt « peu performants » dans ces épreuves.

*Ce groupe se différencie par une puissance au seuil (brute) moyenne un peu inférieure aux valeurs moyennes de l'échantillon (251 vs 261 W).*

#### 3.10.5.3. Troisième groupe :

Composée de 27 skieurs, spécialiste de vitesse, essentiellement « très performants » ou « performants » en descente et super géant.

*Au niveau anthropométrique, les moyennes des caractéristiques suivantes sont supérieures à celle de la sous-population :*

- l'IMC (27,4 vs 25,7) ;
- le poids (88,1 vs 83,1) ;
- l'âge (27,1 vs 24,1).



### 3.11. Résultats de la sous-population H-V-HEq :

64 données sont disponibles pour la sous-population H-V-HEq. Le détail des résultats est présenté dans l'Annexe 9

La correspondance entre les niveaux de performance de chaque spécialité et les points FIS est présentée dans le Tableau 26

Tableau 26 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance dans la sous-population H-V-HEq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤51,2	≤39,9	≤28,8	≤31,2
Performant	]51,2 ; 70,5]	]39,9 ; 62]	]28,8 ; 47,4]	]31,2 ; 51,8]
Peu performant	]70,5 ; 123]	]62 ; 95,4]	]47,4 ; 79,4]	]51,8 ; 90,2]
Très peu performants	]123 ; 265]	]95,4 ; 429]	]79,4 ; 271]	]90,2 ; 268]

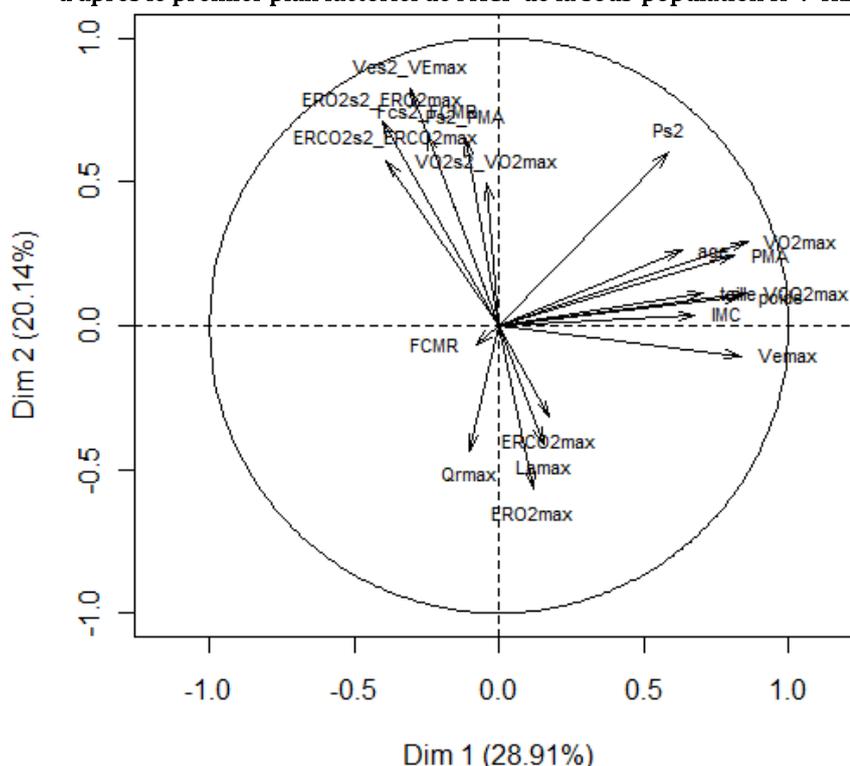
#### 3.11.1. Résultats de l'ACP :

43 observations sont manquantes pour la lactatémie maximale. Cette variable n'a pas été incluse dans l'analyse. 7 observations sont éliminées car partielles. Au final, il a été analysé 57 observations.

##### 3.11.1.1. L'inertie des dimensions :

Les 4 premiers axes restituent 72% de l'inertie totale.

Figure 48 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-HEq



##### 3.11.1.2. Première dimension :

Elle montre une corrélation positive

- avec les variables physiologiques suivantes :
  - $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,86$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,85$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\dot{V}E max$  ( $\rho = 0,84$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - PMA ( $\rho = 0,81$  ;  $p < 0,001$ ) ;

- avec les facteurs anthropométriques :
  - poids ( $\rho = 0,84$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - taille ( $\rho = 0,71$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - IMC ( $\rho = 0,68$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - âge ( $\rho = 0,63$  ;  $p < 0,001$ ) ;

*Concernant les performances, cette axe est corrélé négativement avec les rangs de classement (la baisse du rang = classement meilleur) en :*

- Slalom ( $\rho = -0,60$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- Super-Géant ( $\rho = -0,57$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- Géant ( $\rho = -0,53$  ;  $p < 0,001$ ) ;

*Cela se retrouve également avec les modalités de niveau des différentes épreuves :*

- les skieurs « très performants » sont à droite sur l'axe formé par cette dimension (cf. cartographie Figure 49)
- les « très peu performant » se situe de l'autre côté de l'axe.

### **3.11.1.3. Deuxième dimension :**

Elle met en évidence :

- une corrélation positive entre les capacités aérobies au seuil (exprimé en pourcentage de la valeur maximale) :
  - $\% \dot{V}E_{max}$  ( $\rho = 0,82$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\% ERO_{2max}$  ( $\rho = 0,71$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\% FC_{max}$  ( $\rho = 0,67$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  - $\% PMA$  ( $\rho = 0,65$  ;  $p < 0,001$ ) ;

et

- une corrélation négative de ces paramètres avec l' $ERO_{2max}$  ( $\rho = -0,57$  ;  $p < 0,001$ ) ;

*Concernant les performances, nous avons corrélation avec le niveau en géant ( $r^2 = 0,14$  ;  $p < 0,05$ ). Cette dimension oppose les géantistes :*

- « très performants » (en haut de l'axe formé par cette dimension)
- « très peu performants » (en bas de ce même axe).

### **3.11.1.4. Troisième et quatrième dimension :**

*Aucune performance n'est reliée significativement à ces dimensions*

## **3.11.2. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACP**

Le découpage s'est fait en 4 groupes.

### **3.11.2.1. Premier groupe :**

Il compte 11 skieurs (en noir sur la Figure 49).

Concernant l'âge (16,0 vs 17,4 ans) et les variables anthropométriques, les moyennes des paramètres suivants sont inférieures à celles de la sous-population H-V-HEq :

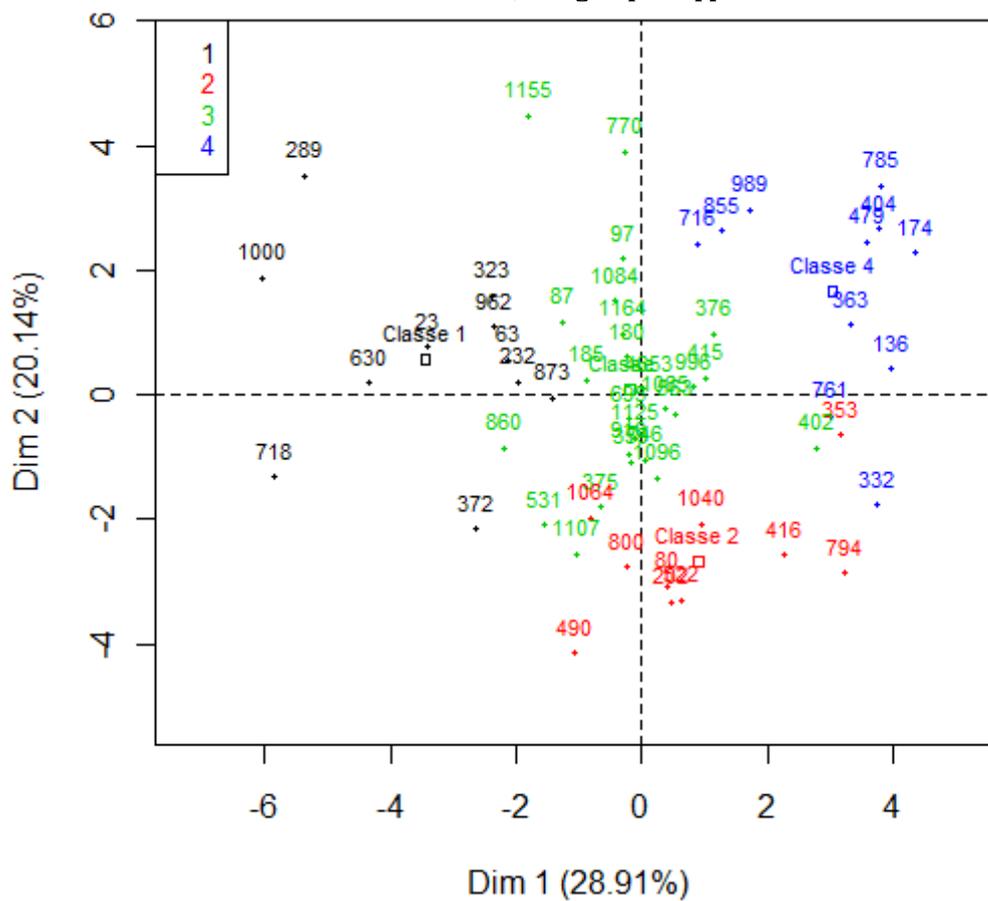
- taille (168,9 vs 175,6 cm)
- poids (62,3 vs 71,1 kg)

Il en est de même pour les variables physiologiques suivantes :

- la  $\dot{V}O_{2max}$  (3,46 vs 4,22 L.min<sup>-1</sup>) ;
- la  $\dot{V}CO_{2max}$  (4,05 vs 4,90 L.min<sup>-1</sup>) ;
- la PMA (270 vs 326 W) ;
- le  $\dot{V}E_{max}$  (102 vs 134 L.min<sup>-1</sup>).

*Concernant les performances, nous avons des skieurs dont les rangs moyens en slalom, géant et super géant sont plus élevés.*

Figure 49 : Cartographie des skieurs (H-V-HEq) selon les deux premières dimensions de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.11.2.2. Deuxième groupe :

Il rassemble 10 skieurs (en rouge sur la Figure 49), dont nous ne détaillerons pas les caractéristiques physiologiques, car aucune performance ne caractérise cette classe.

### 3.11.2.3. Troisième groupe :

Il compte 25 skieurs (en vert sur la Figure 49) ne présentant pas de caractéristiques physiologiques significatives.

### 3.11.2.4. Quatrième groupe :

Il réunit 11 athlètes (en bleu sur la Figure 49) ayant des caractéristiques opposées au premier groupe :

Ils sont plus âgés (20,31 vs 17,4 ans) et les variables anthropométriques sont supérieures à celles de la sous-population H-V-HEq :

- taille (182,6 vs 175,6 cm)
- poids (83,6 vs 71,1 kg)

Il en est de même pour les variables physiologiques suivantes :

- la  $\dot{V}O_2max$  (5,0 vs 4,2 L.min<sup>-1</sup>) ;
- la  $\dot{V}CO_2max$  (5,73 vs 4,90 L.min<sup>-1</sup>) ;
- la PMA (376 vs 326 W) et puissance au seuil (278 vs 238 W) ;
- le  $\dot{V}Emax$  (151 vs 134 L.min<sup>-1</sup>).

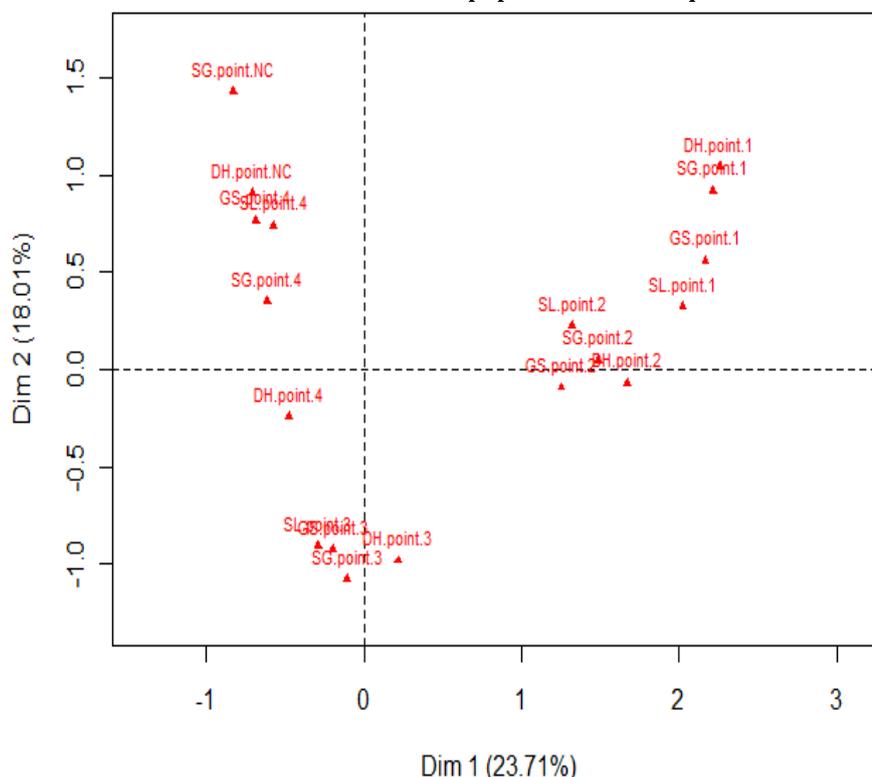
*Les rangs moyens dans les 4 épreuves sont inférieurs. Cela se retrouve au niveau des points également (surreprésentation des modalités « très performant » en slalom et géant et « performants » en géant et descente).*

### 3.11.3. Résultats de l'ACM :

#### 3.11.3.1. L'inertie des dimensions :

Les quatre premières dimensions restituent près de 65% de l'information (le détail des résultats se trouve en Annexe 9).

Figure 50 : Cartographies des niveaux de performance selon les types d'épreuves d'après les deux premières dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-HEq



#### 3.11.3.2. Première dimension :

Elle est bien corrélée au niveau dans toutes les disciplines (super-géant [ $r^2 = 0,88$ ], géant [ $r^2 = 0,87$ ], descente [ $r^2 = 0,80$ ] et slalom [ $r^2 = 0,78$ ]). L'axe représentant cette dimension oppose :

- les skieurs « très performants » quel que soit le type d'épreuve (à droite sur la Figure 50)
- les sportifs « peu performants » ou n'ayant pas de points (à gauche).

Nous avons une corrélation positive :

- de l'âge ( $\rho = 0,81$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- du poids ( $\rho = 0,56$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- de l'IMC ( $\rho = 0,56$  ;  $p < 0,001$ ) ;
  
- de la  $\dot{V}O_2max$  ( $\rho = 0,56$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- de la  $\dot{V}CO_2max$  ( $\rho = 0,56$  ;  $p < 0,001$ ) ;
- de la PMA ( $\rho = 0,42$  ;  $p = 0,001$ ).

#### 3.11.3.3. Autres dimensions :

Les deuxième, troisième et quatrième dimensions ne sont corrélées aux facteurs ni anthropométriques, ni physiologiques ni à l'âge.

### **3.11.4. Résultats de la CAH sur les dimensions de l'ACM**

Le découpage est fait en 5 groupes.

#### **3.11.4.1. Premier groupe :**

Il réunit 16 skieurs « très peu performants » en super géant, géant et slalom.

*Les variables anthropométriques ont des moyennes plus faibles que celles de la sous-population :*

- IMC (21,99 vs 22,98)
- Taille (171,5 vs 175,6 cm)
- Poids (64,8 vs 71,1 kg)
- Age (16,1 vs 17,3 ans)

*D'un point de vue aérobie, les moyennes des variables maximales suivantes sont également plus faibles :*

- $\dot{V}O_2max$  (3,64 vs 4,18 L.min<sup>-1</sup>) ;
- $\dot{V}CO_2max$  (4,16 vs 4,83 L.min<sup>-1</sup>) ;
- PMA (297 vs 325 W) et aussi la puissance au seuil (210 vs 238 W)

#### **3.11.4.2. Deuxième et troisième groupe :**

Le deuxième groupe rassemble 28 athlètes, plutôt « peu performants » dans les 4 épreuves, et le troisième groupe concerne 7 skieurs « très peu performants » en slalom et en géant ou n'ayant pas de point en descente ou en super géant.

*Ces deux groupes ne présentent pas de particularité physiologique.*

#### **3.11.4.3. Quatrième groupe :**

Il compte 7 skieurs « performants » en super géant et descente.

*Ils sont plus âgés que la moyenne (19,3 vs 17,3 ans) et ont une  $\dot{V}CO_2max$  moyenne plus élevée (5,43 vs 4,83 L.min<sup>-1</sup>).*

#### **3.11.4.4. Cinquième groupe :**

Il réunit 6 skieurs « très performants » quel que soit le type d'épreuve.

*Ils sont plus âgés (21,4 vs 17,3 ans) et possèdent des variables anthropométriques plus élevées :*

- IMC (25,85 vs 22,98)
- Poids (83,6 vs 71,1 kg)

*D'un point de vue aérobie, ils présentent :*

- $\dot{V}O_2max$  (4,83 vs 4,18 L.min<sup>-1</sup>) plus élevée ;
- $\dot{V}CO_2max$  (5,52 vs 4,83 L.min<sup>-1</sup>) plus haute.

## **4. DISCUSSION :**

### **4.1. Nombre d'épreuves d'effort recueillies :**

La diminution du nombre moyen d'épreuves d'effort réalisées avant et après 2004 (79/an avant vs 65/an après) serait-elle en rapport avec la parution de l'Arrêté du 11 février 2004 (code de la santé publique - NOR: SPRK0470013A). Le caractère contraignant de la législation lui aurait-il fait perdre – aux yeux des skieurs alpins ou de leurs encadrements – de son sens et de son intérêt dans sa préparation physique ?

La répartition homme-femme est superposable à celui de la population de skieurs alpins actuellement inscrits sur les listes ministérielles de haut niveau ou espoirs (110 femmes [40%] vs 163 hommes [60%]). Les athlètes suivis au Centre de Médecine du Sport de Haut Niveau d'Albertville semblent être représentatif de la population fédérale, pour ce qui concerne le sex ratio.

### **4.2. Âge et paramètres anthropométriques :**

L'âge moyen est superposable à celui de la plupart des autres études (cf. Tableau 27). La différence d'âge observée entre les spécialistes de la vitesse et des autres épreuves s'explique probablement par un besoin d'une plus grande maturité et expérience pour arriver au plus haut niveau dans cette spécialité.

Le poids, et la taille sont plus élevés dans notre étude que dans les études les plus anciennes, mais inférieurs à celles de 2003.

Ainsi, cela semble bien aller dans le sens de l'augmentation décrite par de nombreux auteurs. Le fait d'avoir des valeurs plus faibles que celles publiées par Neumayr en 2003 pourrait s'expliquer par le fait que la période ayant servi à notre analyse couvre également une longue période antérieure à son investigation. D'autre part, l'âge moyen de sa population est plus élevé.

Concernant les différences inter-spécialités, les skieurs spécialisés en vitesse sont plus grands (sauf chez les femmes), plus lourds, et ont un IMC plus élevé que dans les 2 autres épreuves techniques. Mais leur pourcentage de masse grasse est superposable. Cette observation, déjà bien décrite dans la littérature est toutefois à confronter ici à la différence d'âge des groupes.

Ces différences inter-spécialités sont tout de même moins marquées chez les femmes.

**Tableau 27 : Caractéristiques anthropométrique, puissance maximale aérobie et anaérobie**

Sources	Genre	Niveau (effectif)	Age en année	Taille en cm	Poids en kg	MG %	$\dot{V}O_2 \text{ max}$		W max	
							L.min <sup>-1</sup>	L.min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup>	W.kg <sup>-1</sup>	
(Karlsson, et al., 1978)	F	Equipe nationale suède (n=7)	18	166	56	--	3,03	53,0		
	M	Equipe nationale suède (n=7)	19	179	72	--	4,75	67,0		
(Haymes, et al., 1980)	F	International (n=13)	19,5 (1,6)	165,1 (4,5)	58,8 (4,6)	20,6 (3,7)	3,1 (0,24)	--	--	--
	M	International (n=12)	21,8 (2,0)	177,8 (4,1)	75,5 (4,9)	10,2 (1,5)	5,03 (0,41)	--	--	--
(Brown, et al., 1983)	M	International (n=10)	21,9 (0,6)	178,5 (1,0)	77,6 (1,3)	--	4,82 (0,1)	63,1 (1,3)		
	M	Régional (n=10)	18,6 (0,4)	177,3 (1,5)	71,5 (5,3)	--	--	--		
	M	Club (n=22)	17,1 (0,2)	175,8 (1,2)	69,8 (1,0)	--	4,44 (0,2)	61,6 (1,6)		
(Veicsteinas, et al., 1984)	M	International (n=8)	21 (2)	178 (0,05)	78 (4)	9,9 (2,6)	4,11 (0,76)	52,4 (7,8)	17,7 <sup>(a)</sup> (1,49)	65,1 <sup>(b)</sup> (6,6)
		Témoins (n=5)	29 (6)	173 (0,06)	72 (5)	12,3 (3,2)	3,72 (0,43)	51,2 (4,7)	13,2 <sup>(a)</sup> (3,6)	53,1 <sup>(b)</sup> (7,2)
(Saibene, et al., 1985)	M	International (n=8)	19,6 (0,74)	171,2 (6,25)	67,0 (5,13)	--	4,018 (0,351)	58,9 (2,17)	--	--
(White, et al., 1991)	F	International (n=17)	20,4 (0,56)	166 (0,97)	63,07 (1,20)	13,14 (1,08)	--	46,7 (1,19)		
		national (n=6)	21,8 (0,49)	165 (1,80)	63,64 (0,91)	16,62 (1,82)	--	45,5 (0,46)		
		régional (n=7)	17,5 (0,91)	161 (1,97)	58,61 (2,57)	20,96 (1,51)	--	43,4 (1,09)		
	M	International (n=12)	21,5 (0,55)	179 (0,72)	78,83 (1,51)	6,08 (0,92)	--	53,1 (1,03)		
		national (n=8)	21,6 (0,57)	173 (1,84)	72,59 (1,57)	6,53 (1,57)	--	53,4 (0,74)		
		régional (n=11)	18,1 (0,66)	174 (1,60)	68,48 (2,75)	9,28 (1,26)	--	51,4 (1,41)		
(Neumayr, et al., 2003)	F	International (n=20)	25,2 (3,9)	166 (5)	65,1 (6,5)	24,5 (3,6)	--	55,6 (4,9)	--	--
	M	International (n=28)	27,6 (3,5)	181 (0,06)	87 (7,1)	15,8 (3,7)	--	58,7 (3,2)	--	--
Données de notre étude	F	Compétiteurs tous niveaux (n=513)	19,4 (3,8)	165,8 (5,6)	62,2 (7,8)	21,3 (3,8)	3,11 (0,49)	50,16 (6,10)		
	M	Compétiteurs tous niveaux (n=483)	20,0 (4,3)	177,2 (6,3)	75,4 (10,4)	11,5 (2,9)	4,50 (0,67)	59,89 (6,67)		

MG : masse grasse ;  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  : consommation maximale d'oxygène ; Wmax : puissance maximal aérobie, selon les tests de Margaria & al (a) ou de Davies & Rennie (b)

### 4.3. Epreuves d'effort et évolution :

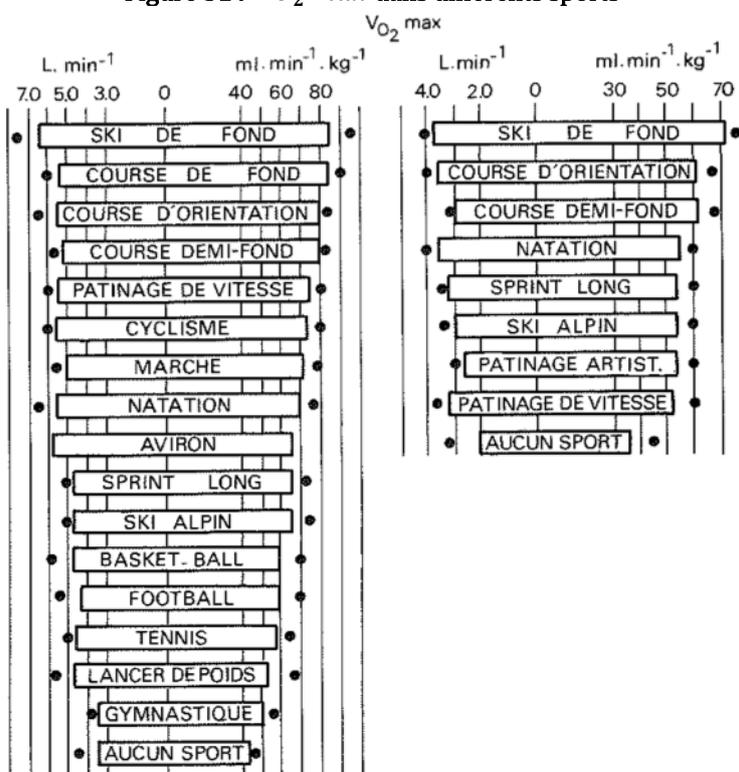
#### 4.3.1. $\dot{V}O_2 max$ :

Les valeurs de  $\dot{V}O_2 max$  sont intermédiaires à celles retrouvées dans les autres études (cf. Tableau 27). Cependant, les études qui présentent des valeurs moyennes plus élevées se rapportent à des athlètes plus âgés. Par exemple, l'étude de Neumayr (Neumayr, et al., 2003), montre les valeurs les plus élevée de  $\dot{V}O_2 max$ , mais l'âge moyen de sa population est plus important.

#### 4.3.1.1. Comparaison à d'autres sports :

Nos valeurs de  $\dot{V}O_2 max$  sont superposables à celle de l'étude de Saltin et Astrand [cité par (Monod, et al., 1997)]. Celle-ci en comparant plusieurs sport a montré que les skieurs alpins ont des aptitudes aérobies intermédiaires : sur une échelle (cf. Figure 51) allant du sédentaire (45 ml.min<sup>-1</sup> chez les hommes) aux skieurs de fond (85 ml.min<sup>-1</sup> chez les hommes).

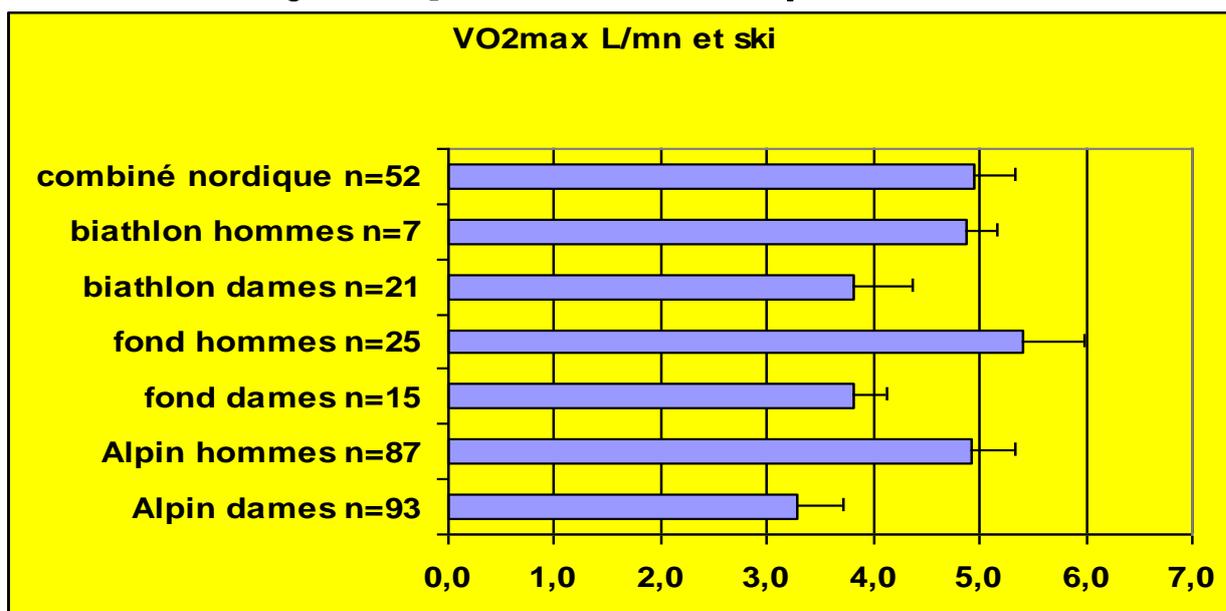
Figure 51 :  $\dot{V}O_2 max$  dans différents sports



Homme à gauche, femme à droite ;  
d'après Saltin ; Astrand, *J.Appl. Physiol.*, 1967, 23, 353-358  
cité par (Monod, et al., 1997).

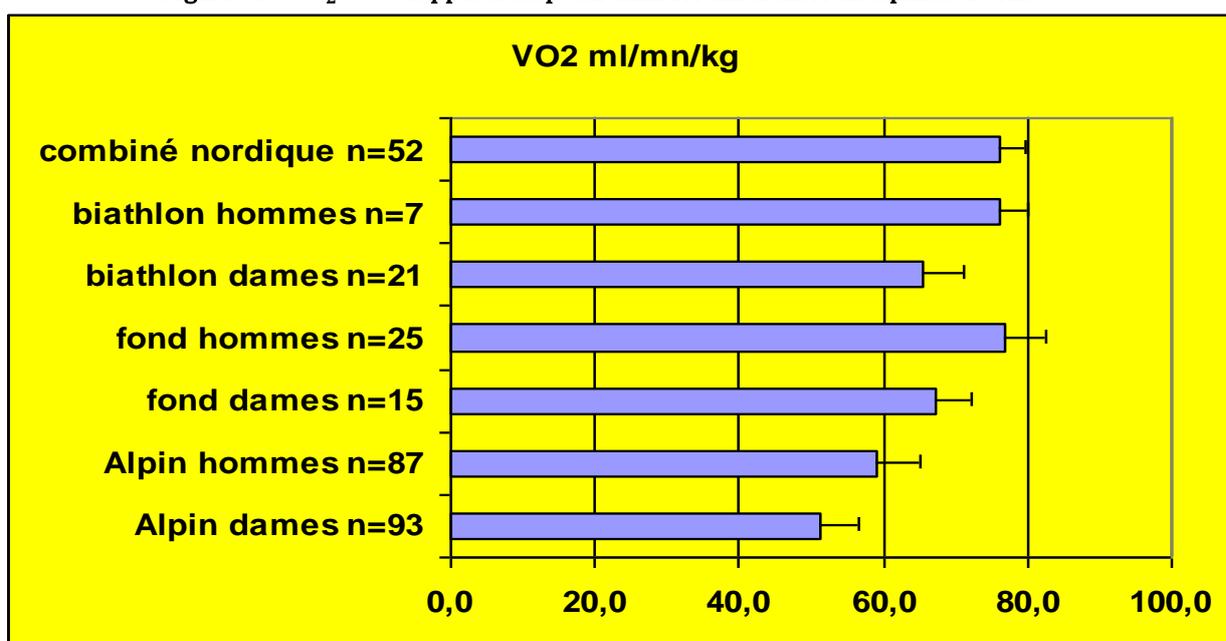
En comparaison des autres disciplines du ski (cf. Figure 52 et), les skieurs alpins hommes présentent des qualités aérobies proche des biathlètes et de athlètes pratiquant le combiné nordique. Cependant, si l'on prend en compte le poids (Figure 53), qualités aérobies des skieurs alpins (quel que soit le genre) sont en retrait par rapport aux autres discipline.

Figure 52 :  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  dans les différentes disciplines de ski



Données non publiées de la FFS de du Dr ROUSSEAU BLANCHI sur les athlètes en équipe de 1995 à 1997

Figure 53 :  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  rapporté au poids dans les différentes disciplines de ski



Données non publiées de la FFS de du Dr ROUSSEAU BLANCHI sur les athlètes en équipe de 1995 à 1997

Ainsi, pour un sport considéré comme principalement anaérobie, les skieurs alpins présentent de relativement bonnes qualités aérobies et peu éloignées de celles retrouvés certains sports aérobies

#### 4.3.1.2. Différence entre les genres

La  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  exprimée en valeur brute montre une variation d'environ 30% entre les hommes et les femmes. Mais celle-ci se réduit lorsque nous rapportons les  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  aux poids (16%) ou à la masse maigre (5%).

#### 4.3.1.3. Différences inter-spécialités :

La  $\dot{V}O_2 \max$  moyenne des spécialistes de vitesse est effectivement supérieure si l'on s'attache aux valeurs brutes (surtout chez les hommes), mais cette différence disparaît si elle est rapportée au poids. Ainsi, cette différence semble plutôt en rapport avec la morphologie de l'athlète que de meilleures capacités aérobies.

#### 4.3.1.4. Evolution de la $\dot{V}O_2 \max$ :

Elle semble rythmée par les olympiades (période de 4 ans située entre deux JO d'hivers) :

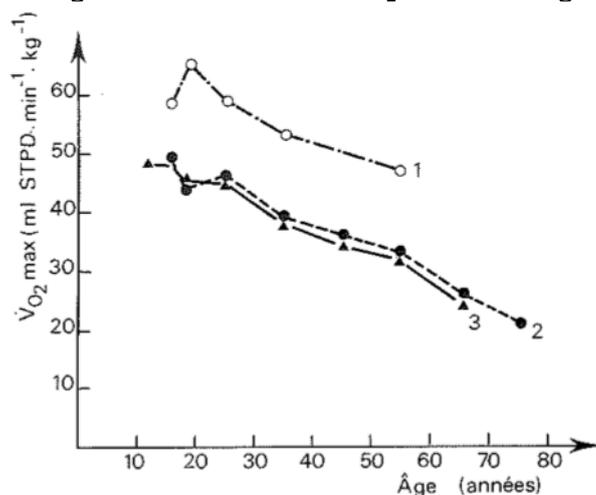
- 1994 – 1998 : Stabilité ;
- 1998 – 2002 : Amélioration pour les hommes ; stabilité chez les dames (amélioration 1998 à 2000, puis baisse de 2000 à 2002)
- 2002 – 2006 : Diminution ;
- 2006 – 2010 : Amélioration ;

#### 4.3.1.5. Modélisation de la $\dot{V}O_2 \max$ selon l'âge :

Chez les dames, l'évolution de  $\dot{V}O_2 \max$  en fonction de l'âge montre un pic entre 12 et 15 ans. Curieusement, chez la skieuse, la modélisation ne montre pas ce pic : la  $\dot{V}O_2 \max$  continue à croître, même si l'augmentation se tasse avec l'âge. Cela peut probablement s'expliquer par le fait que les skieuses les plus âgées étaient les plus performantes, et que les moins performantes n'ont pas refait de  $\dot{V}O_2 \max$ . D'autre part, la carrière d'une skieuse est plus courte que celle d'un skieur... Ainsi, le pic de  $\dot{V}O_2 \max$  n'a pas pu être modélisé.

Chez les skieurs, le pic de  $\dot{V}O_2 \max$  apparaît autour de 25 ans. Certains auteurs (Astrand, 1952) situent ce pic entre 17 et 21 ans (cf. Figure 54). Le pic est donc un peu plus tardif ici. Cela peut-être également lié au fait que seuls les meilleurs skieurs continuent à faire des épreuves d'effort après 20 ans, alors que les autres arrêtent. Le travail des skieurs en hypoxie pourrait également participer à l'explication de ce décalage.

Figure 54 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 \max$  selon l'âge



1 – sujet très entraînés (Astrand, 1952)

2 – Sujets sédentaires (1960)

3 – population française (1977)

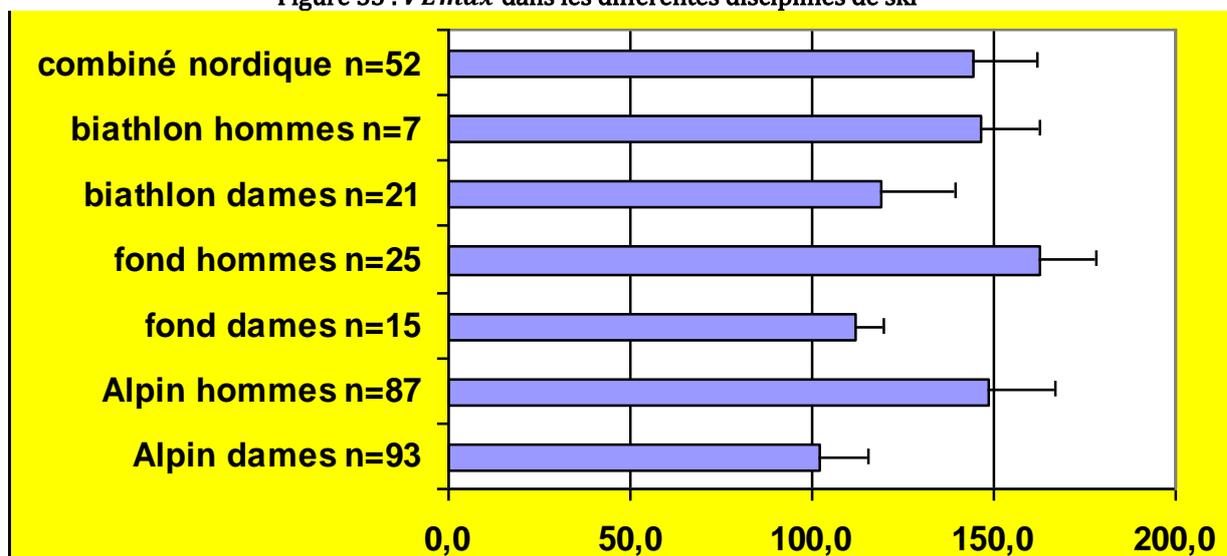
d'après Monod, H ; Flandrois, R ; Vandewalle, H. *Physiologie du sport*, Masson, Paris 1997.

#### 4.3.2. $\dot{V}E_{max}$ :

Concernant la ventilation, les valeurs moyennes sont superposables à celles retrouvées chez les biathlètes et chez les pratiquants du combiné-nordique. Les skieurs de ski de fond ayant des débits plus importants (cf. Figure 55).

Ainsi, pour un sport considéré comme principalement anaérobie, les skieurs alpins présentent des débits ventilatoires relativement bons et proche de ceux retrouvés certains sports aérobies.

Figure 55 :  $\dot{V}E_{max}$  dans les différentes disciplines de ski



Données non publiées de la FFS de du Dr ROUSSEAU BLANCHI sur les athlètes en équipe de 1995 à 1997

Concernant la ventilation, il existe une différence entre les genres, probablement lié aux différences de gabarit.

La différence inter-spécialité, peut tout à fait s'expliquer par la différence de gabarit des skieurs. En effet, les spécialistes de vitesse ont les meilleures moyennes de débit, mais ils sont aussi plus âgés, plus grand et plus lourd.

#### 4.3.3. PMA

Il existe encore une fois une différence de PMA brute inter-genre et inter spécialité. Lorsque celle-ci est rapportée au poids ou mieux à la masse maigre, les différences disparaissent.

#### 4.3.4. VMA :

Il existe encore une fois une différence inter-genre et inter disciplinaire.

La différence homme - femme est de 15 %.

Il ne semble pas y avoir de différence inter-spécialité significative.

#### 4.3.5. Point FIS et classement

D'une manière générale, il ne semble pas y avoir de transversalité entre les épreuves techniques (slalom et géant) et les épreuves de vitesse. En effet, les athlètes sont souvent bons dans une épreuve, un peu moins bons dans la deuxième épreuve de même spécialité. Ce résultat est attendu du fait de la proximité des requis. Leurs performances sont moindres dans les épreuves de l'autre spécialité.

Cela ne s'applique pas aux géantistes, qui ont à peu près le même niveau de performance en slalom et en super-géant. Ceci se comprend bien d'une part au regard du type d'épreuve (intermédiaire entre le slalom et le super géant) et d'autre part l'âge plus jeune doit aussi être pris en compte. En effet, dans la formation, tous les athlètes font du géant avant de s'orienter éventuellement vers d'autres spécialités.

#### **4.3.6. Evolution de ces paramètres :**

Que ce soit la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  rapportée au poids, la PMA et la VMA, il peut être distingué dans l'évolution :

- 4 phases chez l'homme :
  - o Stabilité ou baisse de 1994 à 1998 ;
  - o Augmentation de 1998 à 2002 ;
  - o Nouvelle baisse jusqu'en 2006 ;
  - o Après 2006, la  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  et la PMA ont à nouveau augmenté  
Il n'est pas possible d'analyser la VMA en raison du faible effectif.
- 3 phases chez la femme
  - o Stabilité ou légère augmentation de 1994 à 2000
  - o Baisse de 2000 à 2005 (sauf pour la PMA où aucune conclusion ne peut être tirée en raison des effectifs faibles) ;
  - o Augmentation à partir de 2006. (sauf pour la VMA où aucune conclusion ne peut être tirée en raison des effectifs faibles)

Chez l'homme, il est remarquable de constater que les phases évolutives correspondent exactement à des olympiades. N'ayant eu aucune modification de protocole de réalisation, ces variations seraient liées aux changements de contenus d'entraînement.

#### **4.4. Modélisation de la spécialisation selon les paramètres anthropométriques et physiologiques :**

Cette modélisation montre que les spécialistes de vitesse, technique ou polyvalence ne se distinguent pas ou très peu par des facteurs physiologiques. L'âge et les facteurs anthropométriques semblent avoir une plus grande importance.

Il semble logique que les plus jeunes skieurs soient surtout des techniciens, car dans les cursus de préparation des skieurs, les disciplines de vitesse sont travaillées plus tardivement.

Il faut toutefois relativiser les résultats de cette modélisation, car il n'y a pas eu de tri par genre (skieuses/skieurs). Il pourrait être intéressant de refaire cette analyse en essayant d'apparier selon le genre et l'âge pour limiter le plus possible les biais statistiques.

#### **4.5. Analyses multi-variées :**

##### **4.5.1. Codage de la performance :**

Il a été difficile de choisir une méthode de codage de performance :

- coder uniformément pour toutes les sous-populations la performance. Cela aurait eu l'avantage de pouvoir comparer les sous-populations ; mais cela aurait regroupé la plupart des athlètes hors équipe dans un seul ou deux groupes de niveaux, rendant leurs analyses plus délicates ;
- coder chaque sous-population, afin de s'assurer d'avoir des effectifs suffisants dans tous les groupes de niveaux et pouvoir les analyser (contrainte des ACM). Par contre, cela rend plus délicat la comparaison des résultats entre les différentes sous-populations.

**Tableau 28 : Tableau comparatif du recodage des performances  
chez les femmes**

	Descente			Super Géant		
	F-TR-Eq	F-V-Eq	F-TR-HEq	F-TR-Eq	F-V-Eq	F-TR-HEq
Très performant	≤7	≤8,46	≤51,1	≤9,21	≤11,2	≤45,2
Performant	]7 ; 15,7]	]8,46 ; 18,7]	]51,1 ; 64,1]	]9,21 ; 18,9]	]11,2 ; 21,3]	]45,2 ; 54,4]
Peu performant	]15,7 ; 60,3]	]18,7 ; 52,3]	]64,1 ; 97,6]	]18,9 ; 42]	]21,3 ; 45,3]	]54,4 ; 67,2]
Très peu performants	]60,3 ; 597]	]52,3 ; 518]	]97,6 ; 207]	]42 ; 411]	]45,3 ; 285]	]67,2 ; 176]

	Géant			Slalom		
	F-TR-Eq	F-V-Eq	F-TR-HEq	F-TR-Eq	F-V-Eq	F-TR-HEq
Très performant	≤14,4	≤13,1	≤42,2	≤16,5	≤12,5	≤47,6
Performant	]14,4 ; 18,8]	]13,1 ; 19,1]	]42,2 ; 46,2]	]16,5 ; 23,5]	]12,5 ; 17,5]	]47,6 ; 53,2]
Peu performant	]18,8 ; 36,8]	]19,1 ; 38,3]	]46,2 ; 65,2]	]23,5 ; 58,6]	]17,5 ; 42,7]	]53,2 ; 72,9]
Très peu performants	]36,8 ; 319]	]38,3 ; 65,2]	]65,2 ; 120]	]58,6 ; 271]	]42,7 ; 271]	]72,9 ; 161]

**Tableau 29 : Tableau comparatif du recodage des performances  
chez les hommes**

	Descente			
	H-TR-Eq	H-V-Eq	H-TR-HEq	H-V-HEq
Très performant	≤22,4	≤7,35	≤66	≤51,2
Performant	]22,4 ; 28,5]	]7,35 ; 16,2]	]66 ; 76,6]	]51,2 ; 70,5]
Peu performant	]28,5 ; 70,8]	]16,2 ; 50,6]	]76,6 ; 128]	]70,5 ; 123]
Très peu performants	]70,8 ; 376]	]50,6 ; 340]	]128 ; 342]	]123 ; 265]

	Super Géant			
	H-TR-Eq	H-V-Eq	H-TR-HEq	H-V-HEq
Très performant	≤18,4	≤15,1	≤48,2	≤39,9
Performant	]18,4 ; 25,2]	]15,1 ; 18,1]	]48,2 ; 64,3]	]39,9 ; 62]
Peu performant	]25,2 ; 54,7]	]18,1 ; 37,2]	]64,3 ; 92,4]	]62 ; 95,4]
Très peu performants	]54,7 ; 237]	]37,2 ; 177]	]92,4 ; 205]	]95,4 ; 429]

	Géant			
	H-TR-Eq	H-V-Eq	H-TR-HEq	H-V-HEq
Très performant	≤14,4	≤10,1	≤63,1	≤28,8
Performant	]14,4 ; 19,4]	]10,1 ; 15,7]	]63,1 ; 45,9]	]28,8 ; 47,4]
Peu performant	]19,4 ; 35,7]	]15,7 ; 16,4]	]45,9 ; 65,3]	]47,4 ; 79,4]
Très peu performants	]35,7 ; 91,3]	]16,4 ; 150]	]65,3 ; 136]	]79,4 ; 271]

	Slalom			
	H-TR-Eq	H-V-Eq	H-TR-HEq	H-V-HEq
Très performant	≤14,3	≤10,3	≤31,1	≤31,2
Performant	]14,3 ; 21,1]	]10,3 ; 18,2]	]31,1 ; 43]	]31,2 ; 51,8]
Peu performant	]21,1 ; 52]	]18,2 ; 64,5]	]43 ; 77,7]	]51,8 ; 90,2]
Très peu performants	]52 ; 207]	]64,5 ; 369]	]77,7 ; 224]	]90,2 ; 268]

#### **4.5.2. Discussion des résultats de la sous-population F-TR-Eq :**

L'ACP, l'ACM et la classification à partir des dimensions de l'ACM ne montrent pas de relation suffisamment pertinente entre les performances et les paramètres aérobies. En effet, les quelques liens qui ont été établis présentent soit un coefficient de corrélation  $r^2$  ou  $\rho$  faible (i.e. valeur absolue  $< 0,6$ ), soit un résultat au test de variance insuffisant (i.e. valeur absolue  $< 2$ ).

En revanche, la classification ascendante hiérarchique sur les dimensions de l'ACP nous renseigne un peu mieux sur la relation entre la performance dans les épreuves de vitesse et les facteurs physiologiques : les descendues « peu performantes » sont plus légères, elles ont des équivalents respiratoires plus élevés (cf. premier groupe), ainsi qu'une  $\dot{V}O_2 max$  moins haute que dans la sous-population. Mais la différence de  $\dot{V}O_2 max$  est très infime ( $0,1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

A l'inverse les descendues « très performantes » et « performantes » ont les caractéristiques anthropométriques – hormis la taille – plus élevée, tout comme l'âge (cf. quatrième groupe). Elles accumulent plus de lactates et la  $\dot{V}CO_2 max$  est plus haut... cela traduirait probablement plus une forte capacité de production lactique par le système glycolytique et une bonne tolérance au métabolisme anaérobie (système tampon bicarbonate/ $CO_2$ ) qu'une adaptation aérobie. La VMA et la vitesse au seuil sont également plus faibles. Rappelons qu'étant plus lourdes, le coût énergétique de la course à pied à une vitesse donnée est supérieure à leurs homologues plus légères.

Les moins performantes en slalom et en super géant ont au seuil un  $\% \dot{V}O_2 max$ , un  $\% \dot{V}Emax$  et un  $\% VMA$  bas (deuxième et cinquième groupe) Leur  $FCmax$  est un peu plus haute, mais cela peut s'expliquer par l'âge plus bas. A l'inverse, les slalomeuses « performantes » auraient un meilleur  $\% \dot{V}O_2 max$  au seuil (3<sup>o</sup> groupe de la CAH réalisée sur les dimensions de l'ACM).

Ainsi, dans la sous-population F-TR-Eq, il semble y avoir une relation, mais mince, entre la performance en slalom et de bonne valeur au seuil en pourcentage des valeurs maximales.

#### **4.5.3. Discussion des résultats de la sous-population F-TR-HEq :**

Chez les skieuses ayant réalisé leur épreuve d'effort sur tapis roulant et n'ayant pas été en équipe nationale, il existe une corrélation entre les performances en slalom et en super-géant et des capacités aérobies ( $\dot{V}O_2 max$  surtout), mais celle-ci semble très mince (cf. première dimension de l'ACP et la troisième dimension de l'ACM).

L'âge est un facteur corrélé à la performance en descente et en super géant (première et deuxième dimension de l'ACM).

#### **4.5.4. Discussion des résultats de la sous-population F-V-Eq :**

Chez les skieuses ayant réalisé leurs épreuves sur ergocycle, aucun paramètre physiologique aérobie ne semble suffisamment lié aux performances.

On peut simplement remarquer que les techniciennes ont des seuils meilleurs lorsqu'ils sont exprimés en pourcentage des valeurs maximales (deuxième dimension de l'ACP), à l'inverse des super-géantistes.

L'âge est encore une fois lié au niveau de performance en descente (cf. première dimension de l'ACM).

#### **4.5.5. Discussion des résultats de la sous-population H-TR-Eq :**

De nouveau, les liaisons entre les capacités aérobies et les performances ne sont pas évidentes. Cependant cette analyse montre que les descendeurs « très performants » ont de meilleurs  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}CO_2max$  et  $\dot{V}Emax$ , et qu'à l'inverse des descendeurs « très peu performants » (1° dimension de l'ACP ; 4° groupe de la CAH/ACP ; 1° dimension de l'ACM et 5° groupe de la CAH/ACM).

La performance des super-géantistes est également lié à  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}CO_2max$  (1° dimension de l'ACM et 5° groupe de la CAH/ACM).

La performance des géantistes serait, elle, en rapport avec :

- des valeurs au seuil hautes de  $\% \dot{V}CO_2max$ ,  $\% \dot{V}Emax$  (2° groupe de la CAH/ACP)
- une VMA haute (3° groupe de la CAH/ACP, 6°groupe de la CAH/ACM)

Le rapport entre la performance en géant et le  $\% \dot{V}O_2max$  au seuil est difficile à définir, car les résultats entre le deuxième groupe de la CAH/ACP et le 6°groupe de la CAH/ACM sont contradictoires.

#### **4.5.6. Discussion des résultats de la sous-population H-TR-HEq :**

Chez les skieurs n'ayant jamais accédé aux équipes de la fédération française de ski, les paramètres d'âge et anthropométriques prédominent dans la relation à la performance surtout dans les épreuves de vitesse (4° dimension de l'ACP, 1° groupe de la CAH/ACP, 1° et 2° dimension de l'ACM, 2° et 3° groupe de la CAH/ACM).

Cependant, une  $\dot{V}O_2max$  basse semble associée à des moins bons niveaux de performances dans les épreuves techniques (3° et 4° groupe de la CAH/ACP).

#### **4.5.7. Discussion des résultats de la sous-population H-V-Eq :**

La performance en descente et en super-géant semble liée à la PMA, la puissance au seuil et la  $\dot{V}O_2max$ , (2° composante de l'ACP, 1° et 2° groupe de la CAH/ACP, 2° et 3° groupe de la CAH de l'ACM).

Cependant, l'âge et les facteurs anthropométriques (poids, IMC et taille) participent également à la performance.

#### **4.5.8. Discussion des résultats de la sous-population H-V-HEq :**

Les sportifs n'ayant jamais intégré les équipes, nationales et les plus performants dans tous les types d'épreuves ont de meilleurs  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}CO_2max$  et PMA (1° composante de l'ACP, 4° groupe de la CAH/ACP, 1° composante de l'ACM et 5° groupe de la CAH/ACP) et inversement (1° groupe de la CAH/ACP et 1° groupe de la CAH/ACM).

De nouveau, l'âge, le poids, la taille et l'IMC interviennent aussi dans la performance.

#### **4.5.9. Discussions globales sur les analyses multi-variées :**

De bonnes variables aérobies maximales semblent régulièrement associées à la performance, mais celle-ci est principalement associée aux facteurs anthropométriques et à l'âge.

Concernant la  $\dot{V}O_2max$ , il faut noter que seule son expression brute (en L.min<sup>-1</sup>) est apparue relié à la performance ; sa valeur rapportée au poids n'est jamais apparue comme significativement et suffisamment reliée.

D'autre part, les corrélations entre les variables aérobies et les performances semblent plus fortes avec les épreuves de vitesse qu'avec les épreuves techniques. Cela peut d'une part s'interpréter par la durée des épreuves, beaucoup plus longues dans les épreuves de vitesse. D'autre part, le slalom et le géant vont plus volontiers faire appel à d'autres qualités, notamment techniques, du skieur : fluidité, gestion des rotations, gestion des déséquilibres, gestion des gestuelles d'allègement et surpression...

Le suivi longitudinal des valeurs de  $\dot{V}O_2 max$  et de VMA montrent que ces paramètres semblent être particulièrement sensibles aux contenus d'entraînement. Il serait intéressant de mettre en relation le type de charge d'entraînement avec les résultats de chaque groupe afin d'évaluer plus finement ce lien de causalité. Nos résultats montrent cependant que l'exigence métabolique des épreuves de ski oriente les skieurs qui ont des qualités aérobies importantes vers un niveau de performance supérieur.

L'incidence des paramètres anthropométriques (age et poids) est, par ailleurs, à mettre en relation avec l'importance du facteur force (la force maximale est liée à la surface transversale du muscle) dans ces disciplines mais également aux habiletés mentales qui nécessite souvent une expérience de pratique significative.

**TITRE :**

**CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LA  
FILIERE AEROBIE ET LES PERFORMANCES SPORTIVES DES  
SKIEURS ALPINS EN FILIERE D'ACCES AU HAUT-NIVEAU DE 1994  
A NOS JOURS.**

**Détermination de facteurs aérobies prédictifs de la performance**

**CONCLUSION**

Pour décrire la relation entre la performance en ski alpin et la filière aérobie, nous avons collecté les données de 1166 épreuves d'effort d'intensité maximale. Toutes ont été effectuées par des skieurs alpins – de haut niveau ou en filière d'accès au haut niveau – de 1994 à 2010 au Centre de Médecine du Sport de Haut-Niveau du Centre Hospitalier d'Albertville-Moutiers.

L'analyse descriptive des principaux paramètres montre des différences anthropométriques selon la discipline pratiquée. Elles sont beaucoup plus apparentes chez les hommes que chez les dames. Cependant, l'âge moyen n'étant pas identique dans toutes les disciplines, il pourrait expliquer ces observations.

La modélisation des spécialités (Technique, Vitesse ou Polyvalent) fait apparaître l'âge, le poids et l'IMC comme principaux facteurs discriminants : les plus lourds et les plus âgés sont généralement des spécialistes de vitesse.

Les analyses factorielles multi-variées permettant de rechercher des liens entre les très nombreuses variables de performance et physiologiques n'ont pas répondu de façon très tranchée. Cela s'explique probablement par le fait qu'il n'existe pas un facteur aérobie isolé qui soit directement lié à la performance, mais un ensemble de ces facteurs ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}E$  et PMA ou VMA ...). Néanmoins, il ressort que les skieurs très performants ont le plus souvent :

- un âge, un poids, une taille et un IMC supérieurs à la moyenne
- une  $\dot{V}O_2max$ , une  $\dot{V}CO_2max$ , un  $\dot{V}E max$  et une PMA supérieurs à la moyenne.

A l'opposé, des athlètes très peu performants ont des valeurs inférieures à la moyenne pour ces mêmes variables.

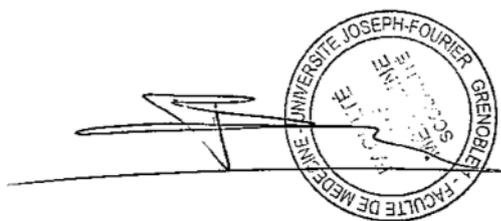
Cette étude réalisée à une très large échelle, est en accord avec les rares études sur le sujet et confirme l'implication, mais non-unique du métabolisme aérobie dans la performance. De nombreux autres facteurs pourraient intervenir dans la performance :

- des facteurs intrinsèques :
  - qualités anaérobies (capacités de production et de transport lactique et capacité à tamponner l'acidose),
  - capacités de force (force maximale, débit de force, endurance de force, raideur et compliance musculaire).
  - qualités techniques du skieur (adaptation au terrain, fluidité, gestion des rotations, gestion des déséquilibres, gestion des gestuelles d'allègement et surpression,...).
  - habiletés mentales :
    - résistance psychologique à la charge d'entraînement, à la pression, au stress, à la douleur, à l'effort.
    - identification et acceptation des émotions positives et négatives et des croyances.
    - engagement dans l'activité (motivation, prise de risque)
    - capacités de perception et analyse
  
- Des facteurs extrinsèques :
  - matériels :
    - utilisation de fart et d'accélérateur adapté au type de neige, structuration des semelles.
    - type de ski (radius, longueur, hauteur de fixation...)
    - chaussure (rigidité dans le maintien du pied, flexibilité...)
  - environnementaux :
    - terrain (changeant ou non, visibilité, condition météo...)

Ainsi, le métabolisme aérobie participe de manière significative mais non-exclusive à la performance en ski alpin. Pour nous, le travail aérobie doit être encouragé dans le cursus d'entraînement des skieurs alpins souhaitant accéder au plus haut niveau.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER  
Grenoble, le 22 mars 2011

LE DOYEN  
B. SELE



LE PRESIDENT DE THESE  
Professeur M.DUCLOS

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Abe, T, et al. 1992.** Isometric and isokinetic knee joint performance in Japanese alpine ski racers. *J Sports Med Phys Fitness*. Dec 1992, Vol. 32, 4, pp. 353-7.  
Cité par Hintermeister & Hagerman, 2000
- Andersen, RE et Montgomery, DL. 1987.** Physiological monitoring of divisional ski racers during the 1986-87 season. *Can J Sport Sci*. 1987, Vol. 12, p. 3p.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Andersen, RE et Montgomery, DL. 1988.** Physiology of Alpine skiing. *Sports Med*. Oct 1988, Vol. 6, 4, pp. 210-21.
- Andersen, RE, Montgomery, DL et Turcotte, RA. 1990.** An on-site test battery to evaluate giant slalom skiing performance. *J Sports Med Phys Fitness*. Sep 1990, Vol. 30, 3, pp. 276-82.
- Astrand, P O. 1952.** *Experimental studies of physical working capacity in relationship to sex and age*. [éd.] Ejnar Munksgaard. Copenhagen : s.n., 1952. Munksgaard, Copenhagen.
- Astrand, PO et Rodahl, K. 1977.** *Textbook of Work Physiology*. 2d edition. New York : McGraw-Hill, 1977. pp. 134, 598, 625. Cité par Haymes et al., 1980.
- Atkins, JW et Hagerman, GR. 1984.** Alpine skiing. *National Strength & Conditioning Association Journal*. Jan 1984, Vol. 5, 6, pp. 6-8. cité par Andersen & al., 1988
- Bacharach, DW et von Duvillard, SP. 1995.** Intermediate and long-term anaerobic performance of elite Alpine skiers. *Med Sci Sports Exerc*. Mar 1995, Vol. 27, 3, pp. 305-9.
- Bosco, C, et al. 1994.** Seasonal fluctuations of selected physiological characteristics of elite alpine skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994, Vol. 69, 1, pp. 71-4.
- Brown, SL et Wilkinson, JG. 1983.** Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc*. 1983, Vol. 15, 6, pp. 491-5.
- Dechavanne, C. 2009.** Championnats du Monde de ski alpin - Val d'Isère 2009 - A la rencontre de Céline Dechavanne - Médecin fédéral national. *Médecins du sport*. Janvier/Fevrier 2009, 93, pp. 8-9.
- Durnin, JV et Womersley, J. 1974.** Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *The British journal of nutrition*. Juillet 1974, Vol. 32, 1, pp. 77-97.
- Eriksson, A, et al. 1978.** Muscle strength, EMG activity and oxygen uptake during downhill skiing. [éd.] E Asmussen et K Jorgensen. *Biomechanics*. Baltimore : University Park Press, 1978, VI/A, pp. 54-61. In : Asmussen E, Jorgensen K (eds) *Biomechanics VI/A*. University Park Press, Baltimore, pp 54-61 - cité par Veicsteinas & al., 1984
- Eriksson, E, Nygaard, E et Saltin, B. 1977.** Physiological demands in downhill skiing. *Physician & Sportsmedicine*. Dec 1977, Vol. 5, 12, pp. 28-35.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- FIS (Fédération Internationale de Ski). 2010.** The International Ski Competition Rules. Approved by the 47th International Ski Congress, Antalya (Tur).  
*Web site Fédération Internationale de Ski (FIS)*. [En ligne] oct 2010.  
[http://www.fis-ski.com/data/document/icr-2010-october\\_web.pdf](http://www.fis-ski.com/data/document/icr-2010-october_web.pdf). [Citation : 07 03 2011.]
- Foster, C, et al. 1999.** Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating. *Med Sci Sports Exerc*. Oct 1999, Vol. 31, 10, pp. 1433-40.

- Garcia, AL, et al. 2006.** Evaluation of body fat changes during weight loss by using improved anthropometric predictive equations. *Annals-of-nutrition-and-metabolism*. 2006, Vol. 50, 3, pp. 297-304.
- Gladden, LB et Welch, HG. 1978.** Efficiency of anaerobic work. *J Appl Physiol*. 1978. Apr 1978, Vol. 44, 4, pp. 564-70.
- Grenier, J, Hintzy, F et Coulmy, N.** Débit énergétique et implications des filières anaérobie lactique et aérobie en ski lors d'un slalom géant chez l'enfant compétiteur. *Science & Sport*. In submission.
- Haman, F, et al. 2002.** Effect of cold exposure on fuel utilization in humans: plasma glucose, muscle glycogen, and lipids. *J Appl Physiol*. Jul 2002, Vol. 93, 1, pp. 77-84.
- Haymes, EM et Dickinson, AL. 1980.** Characteristics of elite male and female ski racers. *Med Sci Sports Exerc*. 1980, Vol. 12, 3, pp. 153-8.
- Hill, DW et Smith, JC. 1993.** Gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution. *Br J Sports Med*. Mar 1993, Vol. 27, 1, pp. 45-8.
- Hintermeister, Robert A et Hagerman, Gene R. 2000.** Physiology of Alpine Skiing. [éd.] William E Garrett, Jr Kirkendall et Donald T Kirkendall. *Exercise and sport science*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2000, 44, pp. 695-707.
- Hodgdon, JA, et al. 1996.** Use of bioelectrical impedance analysis measurements as predictors of physical performance. *The American journal of clinical nutrition*. septembre 1996, Vol. 64, 3S, pp. S463-S468.
- Jasmin, BJ, Montgomery, DL et Hoshizaki, TB. 1989.** Applicability of the hexagonal obstacle test as a measure of anaerobic endurance for alpine skiers. *Sports Training, Medicine & Rehabilitation*. 1989, Vol. 1, 2, pp. 155-163.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Karlsson, J et Ollander, B. 1972.** Muscle metabolites with exhaustive static exercise of different duration. *Acta Physiol Scand*. Nov 1972, Vol. 86, 3, pp. 309-14.
- Karlsson, J. 1984.** Profiles of cross-country and alpine skiers. *Clin Sports Med*. Jan 1984, Vol. 3, 1, pp. 245-71.
- Karlsson, J, et al. 1978.** *The Physiologie of Alpine Skiing*. [trad.] William Michael. Park City : US Ski Coaches Association, 1978. pp. 30-41. Published 1977 in Swedish by Trygg-Hansa Insurance Co., Stockholm, Sweden. 90 p.
- Koistinen, P, et al. 1995.** Aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. *Int J Sports Med*. Feb 1995, Vol. 16, 2, pp. 78-81.
- Komi, PV, et al. 1977.** Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol Scand*. May 1977, Vol. 100, 1, pp. 107-14.  
Cité par Bacharach, et al., 1995
- Kornexl, EJ. 1977.** Ph. D. Thesis, University of Innsbruck. *Das sportmotorische Eigenschaftsniveau des Alpinen Rennläufers*. 1977. THESE  
Cité par Neumayr & al., 2003
- Koutedakis, Y, et al. 1992.** Seasonal deterioration of selected physiological variables in elite male skiers. *Int J Sports Med*. Oct 1992, Vol. 13, 7, pp. 548-51.
- Kuno, S, et al. 1994.** Muscle energetics in short-term training during hypoxia in elite combination skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994, Vol. 69, 4, pp. 301-4.
- Leger, L et Lambert, J. 1982.** A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO2 max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1982, Vol. 49, 1, pp. 1-12.
- Macková, EV, et al. 1982.** Enzyme activity patterns of energy metabolism in skiers of different performance levels (M. quadriceps femoris). *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1982, Vol. 48, 3, pp. 315-22.  
Cité par Brown & al., 1983

- Maffiuletti, NA, et al. 2006.** Is aerobic power really critical for success in alpine skiing? *Int J Sports Med.* Feb 2006, Vol. 27, 2, pp. 166-7.
- Maffiuletti, NA, et al. 2009.** Physiological profil of Swiss elite alpine skiers - a 10-year longitudinal comparaison. Meyer & Meyer Sport, [ed.] E Müller, S Lindinger and T Stöggl. *Science and Skiing IV.* St Christoph a. A., Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport,, 2009. Vol. IV, pp. 365-73.
- Markovic, G et Jaric, S. 2005.** Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle. *Eur J Appl Physiol.* 2005, Vol. 95, 1, pp. 11-19.
- Martin, D et O'Kroy, J. 1993.** Effects of acute hypoxia on the VO2 max of trained and untrained subjects. *J Sports Sci.* Feb 1993, Vol. 11, 1, pp. 37-42.  
Cité par Turnbul & al., 2009
- Monod, Hugues, Flandrois, Roland et Vandewalle, Henry. 1997.** *Physiologie du sport.* Masson. Paris : Masson, 1997. ISBN : 978-2-294-70248-8.
- Nachbauer, W et Rauch, A. 1991.** Biomechanische Analysen der Torlaufund Riesentorlauftechnik. [auteur du livre] F Fetz et E Müller. *Biomechanik des alpinen Skilaufs.* Stuttgart : Enke Verlag, 1991, pp. 50-100.  
Cité par Hintermeister & al., 2000.
- Neumayr, G, et al. 2003.** Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med.* Nov 2003, Vol. 24, 8, pp. 571-5.
- Nygaard, E, et al. 1978.** Glycogen depletion pattern and lactate accumulation in leg muscles during recreational downhill skiing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 30 May 1978, Vol. 38, 4, pp. 261-9.
- Peterson, MJ, Czerwinski, SA et Siervogel, RM. 2003.** Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model. *The American journal of clinical nutrition.* 2003, Vol. 77, 5, pp. 1186-1191.
- Piper, FC, et al. 1987.** Prediction of alpine ski performance based upon selected anthropometrical and motor dexterity parameters. *J Sports Med Phys Fitness.* dec 1987, Vol. 27, 4, pp. 478-82.
- Plisk, S. 1988.** Physiological training for competitive alpine skiing. *National Strength & Conditioning Association journal.* 1988, Vol. 10, 1, pp. 30-33.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Richardson, RS, et al. 1993.** Blood lactate concentrations in elite skiers during a series of on-snow downhill ski runs. *Journal of Strength & Conditioning Research.* Aug 1993, Vol. 7, 3, pp. 168-171.  
Cité par Hintermeister & Hagerman, 2000.
- Roberts, AD et Morton, AR. 1978.** Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 30 May 1978, Vol. 38, 4, pp. 281-9.  
Cité par Saibene & al., 1985
- Rousseaux-Blanchi, MP. 1991.** *Validité d'équations anthropométriques pour estimer la composition corporelle de la skieuse apline.* Univ. Saint-Etienne - Lyon 1 : s.n., 1991. p. 55, DEA de biologie de l'Exercice Musculaire - suivi de l'entraînement.
- Rusko, H, Havu, M et Karvinen, E. 1978.** Aerobic performance capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* Mar 1978, Vol. 38, 2, pp. 151-9.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Saibene, F, et al. 1985.** Energy sources in alpine skiing (giant slalom). *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1985, Vol. 53, 4, pp. 312-6.
- Seifert, JG, et al. 2005.** Muscle damage, fluid ingestion, and energy supplementation during recreational alpine skiing. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* Oct 2005, Vol. 15, 5, pp. 528-36.
- Simoneau, JA, et al. 1983.** Tests of anaerobic alactacid and lactacid capacities: description and reliability. *Can J Appl Sport Sci.* Dec 1983, Vol. 8, 4, pp. 266-70.  
Cité par Bacharach & al., 1995

- Smith, JC et Hill, DW. 1991.** Contribution of energy systems during a Wingate power test. *Br J Sports Med.* Dec 1991, Vol. 25, 4, pp. 196-9.
- Song, TMK. 1982.** Relationship of physiological characteristics to skiing performance. *Physic Sportsmed.* 1982, Vol. 10, 12, pp. 96-102.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Spring H, Jordan K. 1994.** [Maximal and high-velocity power. A study in Swiss male and female national ski athletes]. *Schweiz Z Med Traumatol.* 1994, Vol. 2, pp. 27-9.  
[Article in German]  
Cité par Neumayr & al., 2003
- Stark, RM, Reed, AT et Wenger, HJ. 1987.** Power curve characteristics of elite slalom and downhill skiers performing a modified 90 sWingate test. *Can J Sport Sci.* 1987, Vol. 12, p. 24p.  
Cité par Bacharach & al., 1995
- Steadman, JR, et al. 1987.** Training for Alpine skiing. *Clin Orthop Relat Res.* Mar 1987, Vol. 216, pp. 34-8.
- Tesch, P, et al. 1978.** Muscle glycogen depletion and lactate concentration during downhill skiing. *Med Sci Sports.* 1978, Vol. 10, 2, pp. 85-90.  
Cité par Turnbull & al., 2009
- Tesch, PA. 1995.** Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc.* Mar 1995, Vol. 27, 3, pp. 310-4.
- Thorstensson, A, et al. 1977.** Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports.* 1977, Vol. 9, 1, pp. 26-30.  
Cité par Hintermeister & al., 2000
- Turnbull, JR, Kilding, AE et Keogh, JW. 2009.** Physiology of alpine skiing. *Scand J Med Sci Sports.* Apr 2009, Vol. 19, 2, pp. 146-55.
- Vandewalle, H, Pérès, G et Monod, H. 1987.** Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med.* Jul-Aug, 1987, Vol. 4, 4, pp. 268-89.
- Veicsteinas, A, et al. 1984.** Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *J Appl Physiol.* May 1984, Vol. 56, 5, pp. 1187-90.
- Von Duvillard, SP et Knowles, WJ. 1997.** Relationship of anaerobic performance test to competitive alpine skiing events. [auteur du livre] E Muller, et al. *Science and skiing.* London : E&FN Spon, 1997.  
Cité par Hintermeister et al., 2000.
- Von Duvillard, SP. 1995.** Introduction: the interdisciplinary approach to the science of Alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc.* Mar 1995, Vol. 27, 3, pp. 303-4.
- Von Duvillard, SP. 2004.** Physiological profiles of junior alpine ski racers. *International Congress on Skiing and science (ICSS).* Aspen : s.n., 2004.
- White, AT et Johnson, SC. 1993.** Physiological aspects and injury in elite Alpine skiers. *Sports Med.* Mar 1993, Vol. 15, 3, pp. 170-8.
- White, AT et Johnson, SC. 1991.** Physiological comparison of international, national and. *Int J Sports Med.* Aug 1991, Vol. 12, 4, pp. 374-8.
- Wilmore, JH et Costill, DL. 2004.** *Physiology of sport and exercise.* [trad.] A Delamarche, et al. 3rd edition. s.l. : Human Kinetics, 2004. 978-2-8041-5018-1.

## **TEXTE LEGISLATIF :**

**Arrêté du 11 février 2004 fixant la nature et la périodicité des examens médicaux prévus aux articles L. 3621-2 et R. 3621-3 du Code de la Santé Publique.** *Code de la Santé Publique.* 2004. NOR : SPRK0470013A. [Article abrogé].

## Annexe 1.

### ABREVIATIONS UTILISEES DANS LES TABLEAUX ET FIGURES

**Tableau 30 : significations et unités des symboles utilisés**

Symboles	Signification	Unités
Specialite	Spécialité	
Catégories		
s.P	Polyvalent	
s.T	Spécialisé en Technique	
s.V	Spécialisé en Vitesse	
ss.specialite	Sous spécialité	
Catégories		
P	Polyvalent	
T	Polyvalence en Technique	
SL	Slalomeur	
GS	Géantiste	
SG	Super-Géantiste	
DH	Descendeur	
V	Polyvalence en Vitesse	
Equipe	Equipe : Appartenance ou non au collectif FFS	
Catégories		
0	Jamais appartenu en équipe	
1	Groupe Coupe du Monde	
2	Groupe Coupe d'Europe	
3	Groupe Relève	
DH.point	Point FIS en Descente	
DH.point.1	Très performant en Descente	
DH.point.2	Performant en Descente	
DH.point.3	Peu performant en Descente	
DH.point.4	Très peu performant en Descente	
DH.rank	Classement FIS en Descente	
SG.point	Point FIS en Super Géant	
SG.point.1	Très performant en Super-Géant	
SG.point.2	Performant en Super-Géant	
SG.point.3	Peu performant en Super-Géant	
SG.point.4	Très peu performant en Super-Géant	
SG.rank	Classement FIS en Super Géant	
GS.point	Point FIS en Géant	
GS.point.1	Très performant en Géant	
GS.point.2	Performant en Géant	
GS.point.3	Peu performant en Géant	
GS.point.4	Très peu performant en Géant	
GS.rank	Classement FIS en Géant	
SL.point	Point FIS en Slalom	
SL.point.1	Très performant en Slalom	
SL.point.2	Performant en Slalom	
SL.point.3	Peu performant en Slalom	
SL.point.4	Très peu performant en Slalom	
SL.rank	Classement FIS en Slalom	
age	Age de l'athlète à lors de la réalisation du test d'effort	Années
poids	Poids	kg

taille	Taille	cm
IMC	Indice de masse corporelle	kg.m <sup>-2</sup>
p.MG	%MG ou Pourcentage de Masse Grasse	%
MM	Masse Maigre	kg
PMA	Puissance Maximale Aérobie	W
PMA_poids	PMA rapportée au poids	W.kg <sup>-1</sup>
PMA_MM	PMA rapportée à la masse maigre	W.kgMM <sup>-1</sup>
VMA	Vitesse Maximale Aérobie	km.h <sup>-1</sup>
VMA_poids	VMA rapportée au poids	m.h <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>
VMA_MM	VMA rapportée à la masse maigre	m.h <sup>-1</sup> .KgMM <sup>-1</sup>
FCMR	Fréquence Cardiaque Maximale (Réelle)	min <sup>-1</sup>
VO2max	Consommation maximale d'oxygène	L.min <sup>-1</sup>
VO2max_poids	VO2max rapportée au poids	ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>
VO2max_MM	VO2max rapportée à la masse maigre	ml.kgMM <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>
VCO2max	Production maximale de CO2	L.min <sup>-1</sup>
Qrmax	QR max ou Quotient Respiratoire à VO2max	
Vemax	VEmax ou Débit Ventilatoire maximal	L.min <sup>-1</sup>
ERO2max	Equivalent Respiratoire d'O2	
ERCO2max	Equivalent Respiratoire de CO2	
Lamax	Lactatémie maximale en fin d'effort	mmol.L <sup>-1</sup>
Lamax_VO2max	Concentration de Lactate divisée par la VO2max	mmol.L <sup>-1</sup> .min.LO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>
PUISSs2	Puissance au seuil (en valeur brute)	W
PUISSs2_poids	Puissance au seuil rapportée au poids	W.kg <sup>-1</sup>
PUISSs2_MM	Puissance au seuil rapportée à la masse maigre	W.KgMM <sup>-1</sup>
PUISSs2_PMA	Puissance au seuil en pourcentage de PMA	%
Vcs2	Vitesse au seuil (en valeur brute)	km.h <sup>-1</sup>
Vcs2_poids	Vitesse au seuil rapportée au poids	m.h <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup>
Vcs2_MM	Vitesse au seuil rapportée à la masse maigre	m.h <sup>-1</sup> .kgMM <sup>-1</sup>
vits2_VMA	Vitesse au seuil en pourcentage de VMA	%
Fcs2	Fréquence Cardiaque au seuil	min <sup>-1</sup>
Fcs2_FCMR	Fréquence cardiaque au seuil en pourcentage de FCMR	%
VO2s2	Consommation d'oxygène au seuil	L.min <sup>-1</sup>
VO2s2_poids	Consommation d'oxygène au seuil rapportée au poids	ml.Kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>
VO2s2_MM	Consommation d'oxygène au seuil rapportée à la masse maigre	mL.KgMM <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup>
VO2s2_VO2max	Consommation d'oxygène au seuil en pourcentage de VO2max	%
VCO2s2	Production de CO2 au seuil (brute)	L.min <sup>-1</sup>
VCO2s2_VCO2max	Production de CO2 au seuil en pourcentage de VCO2max	%
Qrs2	Quotient Respiratoire au seuil	
Ves2	Débit Ventilatoire au seuil	L.min <sup>-1</sup>
Ves2_VEmax	Débit ventilatoire au seuil en pourcentage de VEmax	%
ERO2s2	Equivalent Respiratoire d'O2 au seuil	
ERO2s2_ERO2max	Equivalent respiratoire d'O2 au seuil en pourcentage de ERO2 maximal	%
ERCO2s2	Equivalent Respiratoire de CO2 au seuil	
ERCO2s2_ERCO2max	Equivalent Respiratoire de CO2 au seuil en pourcentage de ERCO2 maximal	%
Las2	Lactatémie au seuil	mmol.L <sup>-1</sup>
Las2_Lamax	Lactatémie au seuil en pourcentage de la lactatémie maximale	%
Las2_VO2s2	Lactatémie au seuil rapportée à la VO2 au seuil	mmol.L <sup>-1</sup> .min.LO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>

## Annexe 2.

### RESULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES

#### 1. DESCRITPION DE LA POPULATION :

Tableau 31 : Description des paramètres anthropométriques, physiologiques et de performances de la population globale selon le genre

	FEMMES					HOMMES				
	n = 513					n = 653				
	$\bar{x}$	M	min	Max	$\sigma$	$\bar{x}$	M	min	Max	$\sigma$
<b>Age</b>	19,41	18,42	13,71	32,17	3,81	20,04	19,25	13,40	33,94	4,27
<b>Poids</b>	62,20	62,00	43,00	83,20	7,82	75,43	75,20	42,80	101,00	10,40
<b>Taille</b>	165,79	165,00	151,00	182,00	5,60	177,24	178,00	151,50	191,00	6,28
<b>IMC</b>	22,62	22,30	16,90	29,96	2,52	23,94	23,97	17,14	30,60	2,45
<b>% MG</b>	21,30	21,00	8,90	31,45	3,80	11,45	10,93	5,61	23,70	2,93
<b>MM</b>	49,06	49,22	36,27	74,90	5,98	67,05	67,89	37,91	91,61	10,04
<b>PMA (W)</b>	243,84	240,00	160,00	390,00	34,01	334,89	330,00	200,00	450,00	49,10
<b>PMA (W.kg<sup>-1</sup>)</b>	4,06	4,12	2,55	5,20	0,51	4,53	4,51	2,63	5,85	0,51
<b>PMA (W.kgMM<sup>-1</sup>)</b>	5,18	5,21	3,61	6,29	0,54	5,13	5,16	3,76	6,48	0,50
<b>VMA (km.h<sup>-1</sup>)</b>	15,89	16,00	12,00	22,00	1,41	18,46	18,33	14,04	26,67	1,64
<b>FCMR (min<sup>-1</sup>)</b>	194,75	195,00	0,00	221,00	15,03	192,95	194,00	0,00	219,00	17,33
<b>VO2max (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,11	3,09	1,72	5,38	0,49	4,50	4,52	2,35	7,07	0,67
<b>VO2max (mL.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	50,16	49,90	28,67	71,70	6,10	59,89	59,70	38,92	78,88	6,67
<b>VO2max (mL.kgMM<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	63,44	63,70	45,37	86,53	6,77	67,12	66,83	44,61	89,83	7,72
<b>VCO2 max (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,39	3,35	1,92	5,92	0,53	4,97	4,98	2,56	8,77	0,79
<b>VE max (L.min<sup>-1</sup>)</b>	100,45	99,62	50,40	155,50	15,85	140,39	140,70	62,72	204,10	23,05
<b>La max (mmol.L<sup>-1</sup>)</b>	10,33	10,20	5,10	23,50	2,46	11,16	10,80	4,21	20,61	2,75
<b>DH Point</b>	75,25	58,31	1,02	596,97	70,07	89,99	71,14	4,15	376,38	68,62
<b>DH Rang</b>	302,61	190,50	3,00	1730,00	306,81	656,62	399,50	15,00	3266,00	632,57
<b>SG Point</b>	54,36	44,04	0,00	411,15	47,59	64,90	55,34	4,49	428,56	46,09
<b>SG Rang</b>	321,41	199,50	0,00	2186,00	359,20	663,30	420,00	15,00	5332,00	718,99
<b>SC Point</b>	47,90	29,48	3,41	261,63	52,85	46,34	33,59	1,43	176,05	39,85
<b>SC Rang</b>	226,47	123,00	4,00	1188,00	261,46	301,43	163,50	3,00	1335,00	347,38
<b>GS Point</b>	41,72	38,54	4,03	318,61	25,47	46,14	41,13	3,57	271,18	28,25
<b>GS Rang</b>	411,51	305,00	0,00	3374,00	392,99	804,49	533,00	5,00	7335,00	837,67
<b>SL Point</b>	64,88	51,95	0,32	270,91	50,05	66,65	55,65	0,21	369,40	49,15
<b>SL Rang</b>	753,55	527,50	0,00	4538,00	807,23	1275,62	809,00	2,00	7533,00	1332,56

$\bar{x}$  = moyenne ; M = médiane ; min = valeur minimal ; Max = valeur maximal ;  $\sigma$  = écart type.

## 2. CARACTERISTIQUES ANTHOPOMETRIQUES

**Tableau 32 : Effectifs par genre et discipline**

	Femmes					Hommes				
	Global	V	GS	SL	T	Global	V	GS	SL	T
1994/1995	35	14	6	8	3	55	17	14	15	3
1995/1996	28	11	5	8	1	44	17	12	12	1
1996/1997	44	20	11	6	1	58	18	25	12	3
1997/1998	48	22	11	11	2	41	12	18	8	1
1998/1999	24	7	8	6	2	19	10	5	3	1
1999/2000	26	11	7	7	1	40	15	11	12	2
2000/2001	36	10	13	6	4	52*	14	21	12	6
2001/2002	31	10	11	7	2	50	14	10	17	8
2002/2003	37	10	7	9	4	42**	8	7	15	11
2003/2004	33	11	7	8	3	28	6	10	7	4
2004/2005	32	3	5	6	2	32	3	9	3	5
2005/2006	33	5	7	4	3	57	13	14	4	4
2006/2007	31	5	4	2	0	47	5	10	8	6
2007/2008	37	6	5	8	1	25	1	1	0	4
2008/2009	18	4	1	3	2	37	5	9	6	3
2009/2010	20	5	5	5	2	22	6	4	5	2

V : spécialiste de vitesse

T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS)

SL : Slalomeur

GS : Géantiste

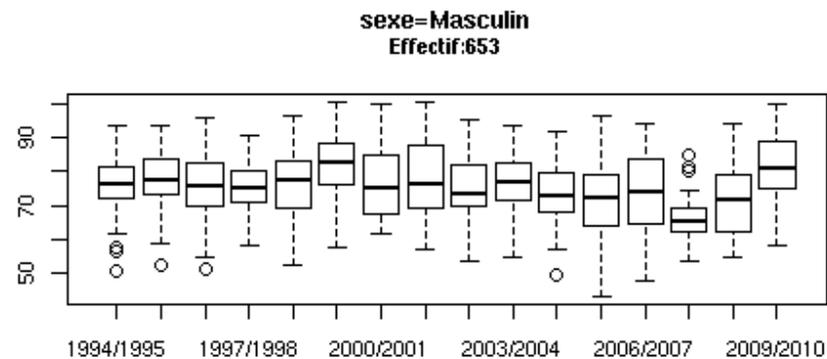
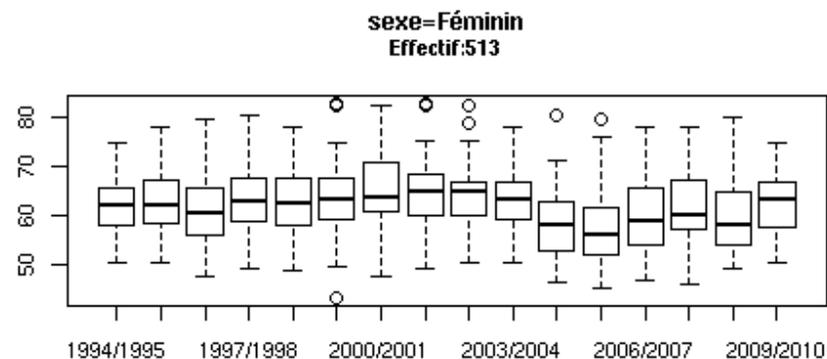
N.B.1 : les effectifs globaux peuvent différer de la somme des effectifs pour chacune des spécialités, car les polyvalents ne sont pas présentés.

\* = 54 skieurs pour le poids

\*\* = 44 skieurs pour le poids

## 2.1. Poids :

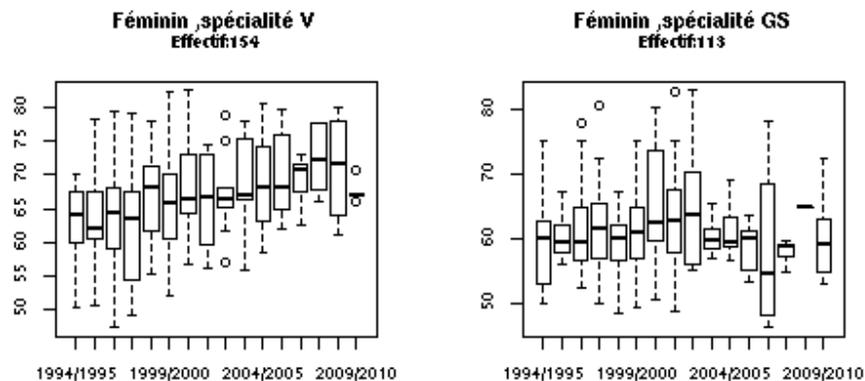
**Figure 56 : Evolution du poids par genre et par saison**  
 les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
 la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
 (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



Effectifs : se reporter au Tableau 32

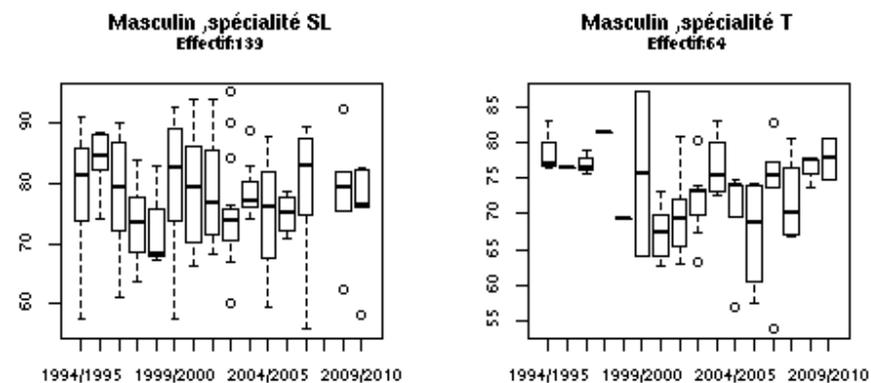
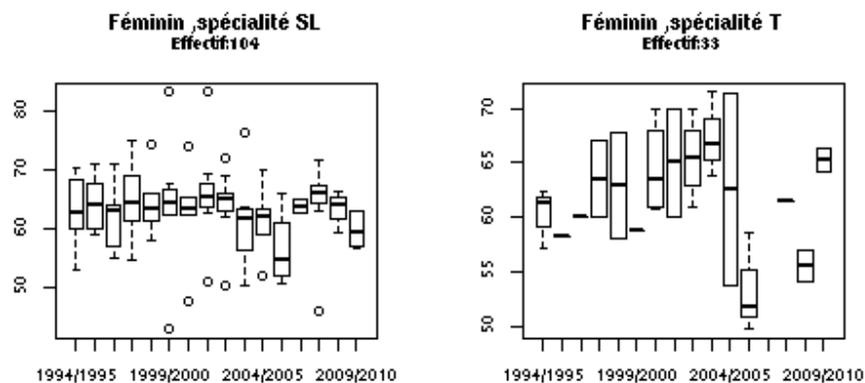
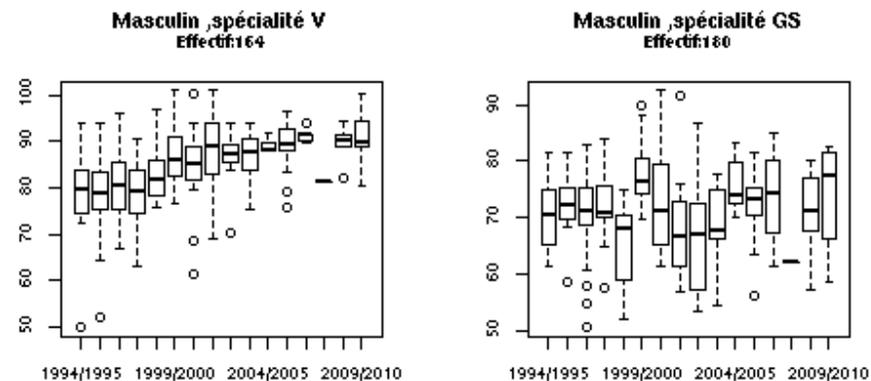
**Figure 57 : Evolution du poids par discipline et par saison chez les dames**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



**Figure 58 : Evolution du poids par discipline et par saison chez les hommes**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



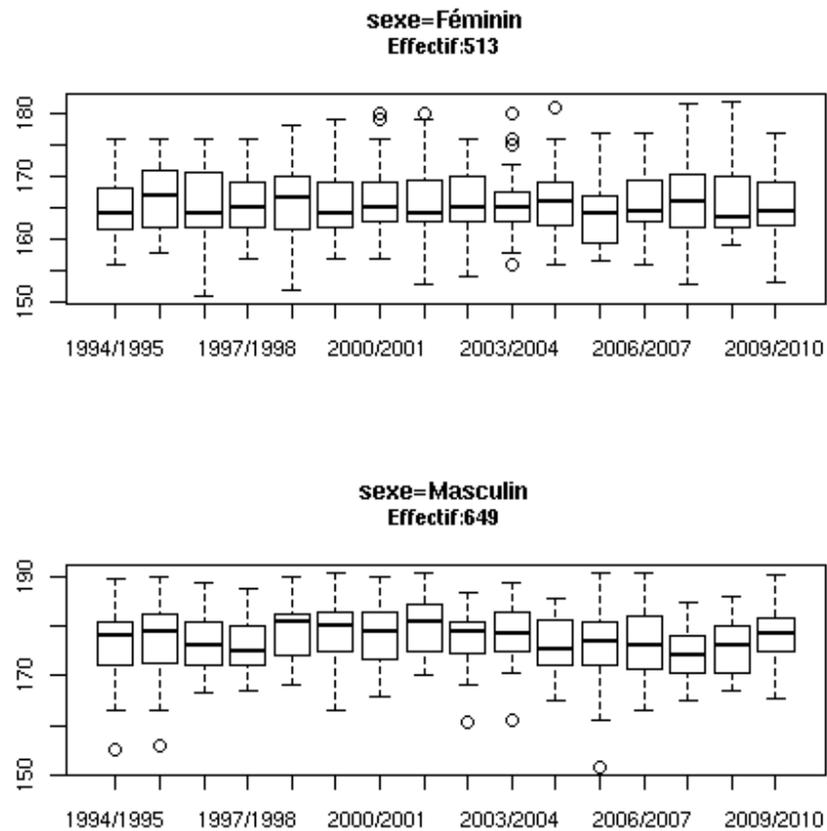
V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

## 2.2. Taille :

**Figure 59 : Evolution de la taille par genre et par saison**

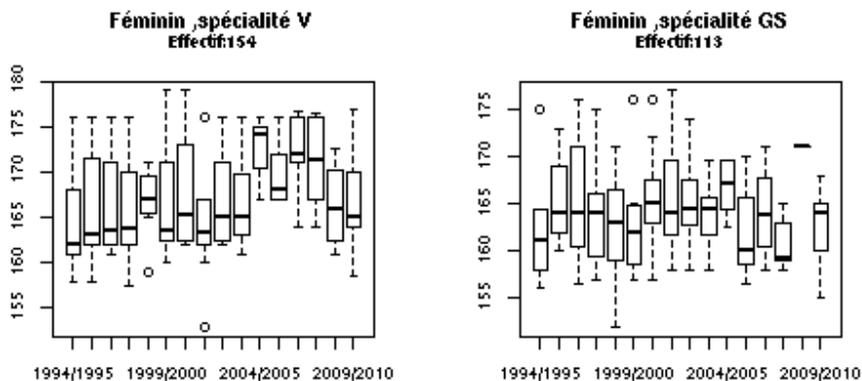
les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
(les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



Effectifs : se reporter au Tableau 32

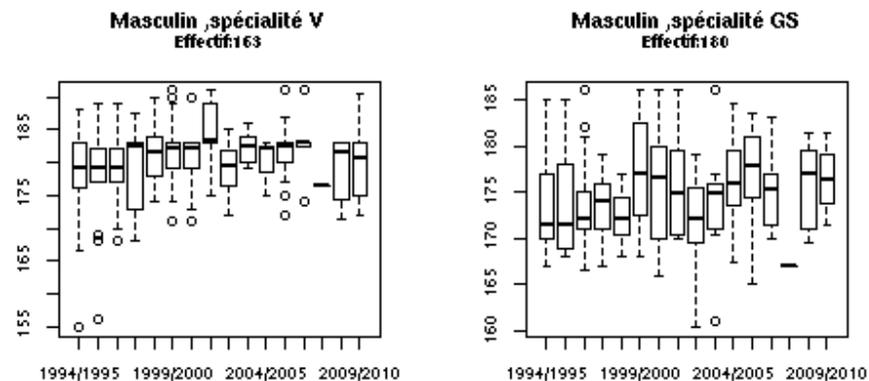
**Figure 60 : Evolution de la taille par discipline et par saison chez les dames**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)

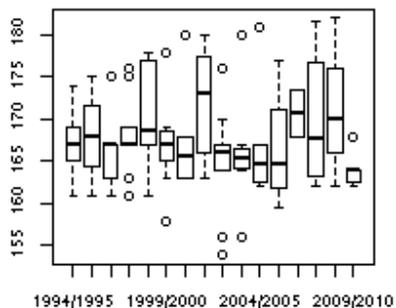


**Figure 61 : Evolution de la taille par discipline et par saison chez les hommes**

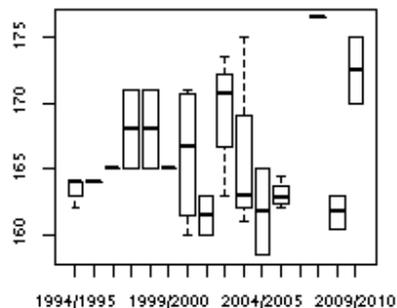
les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



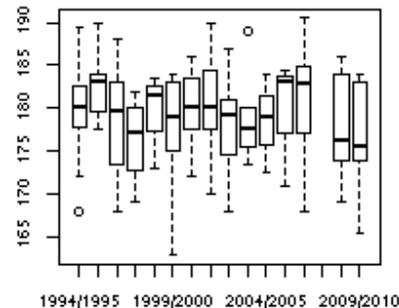
**Féminin ,spécialité SL Effectif:104**



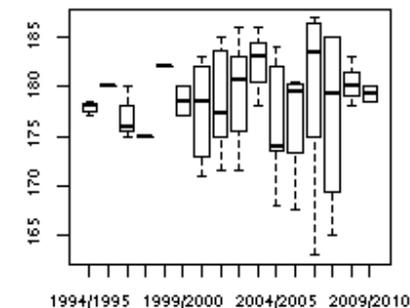
**Féminin ,spécialité T Effectif:33**



**Masculin ,spécialité SL Effectif:137**



**Masculin ,spécialité T Effectif:63**

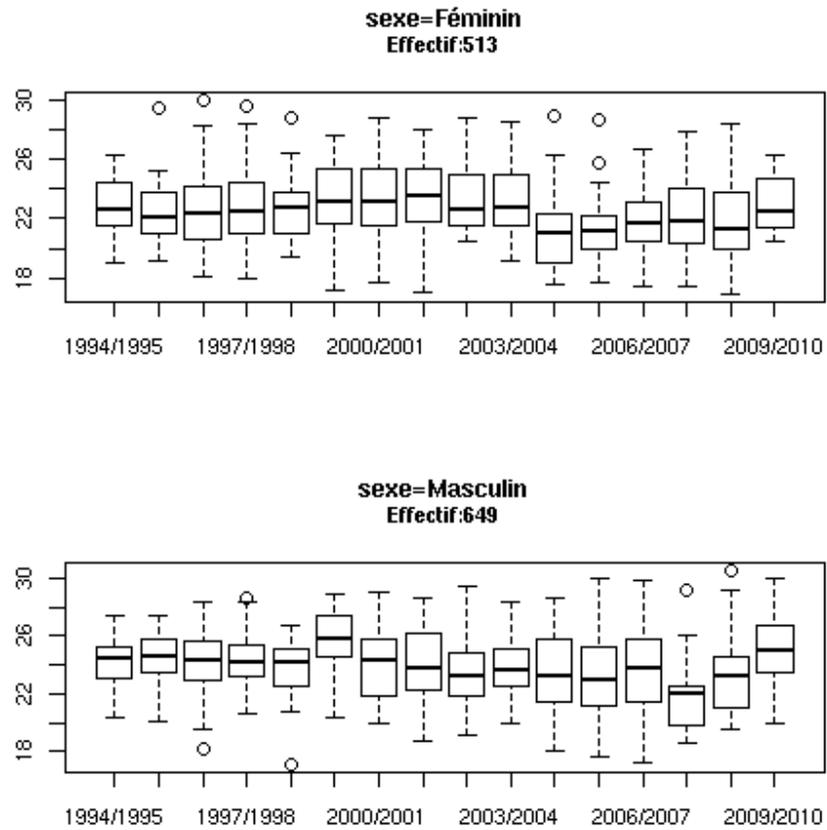


V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

## 2.3. IMC :

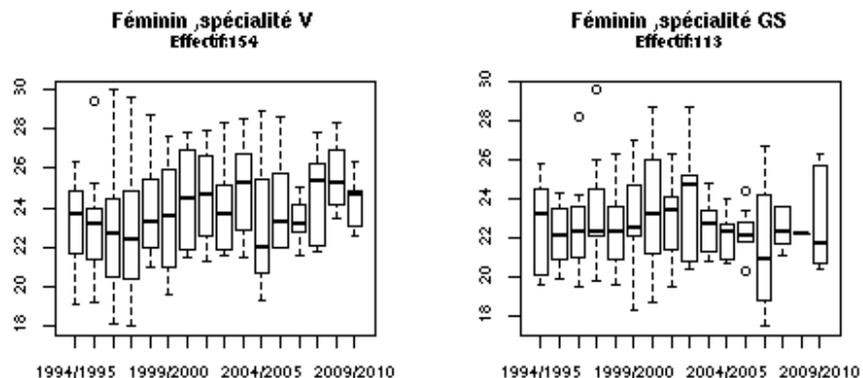
**Figure 62 : Evolution de l'IMC par genre et par saison**  
les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile,  
la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes  
(les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



Effectifs : se reporter au Tableau 32

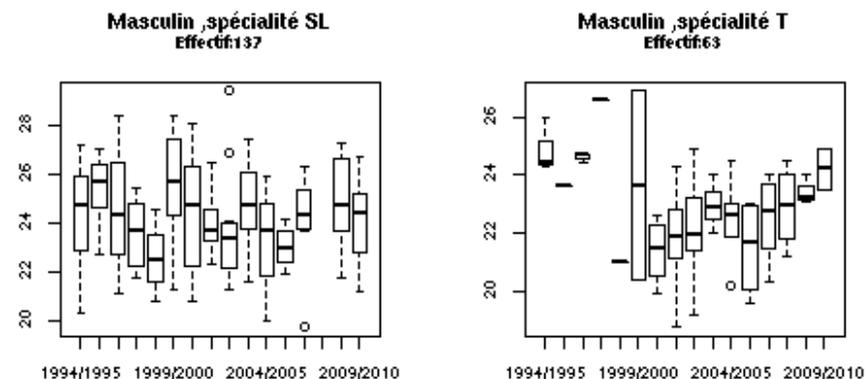
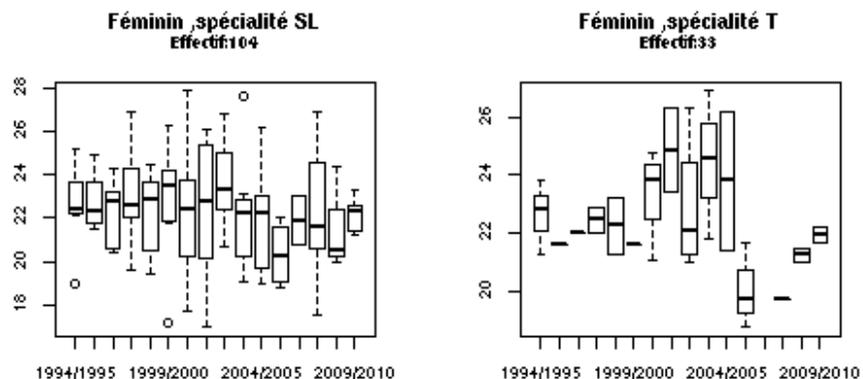
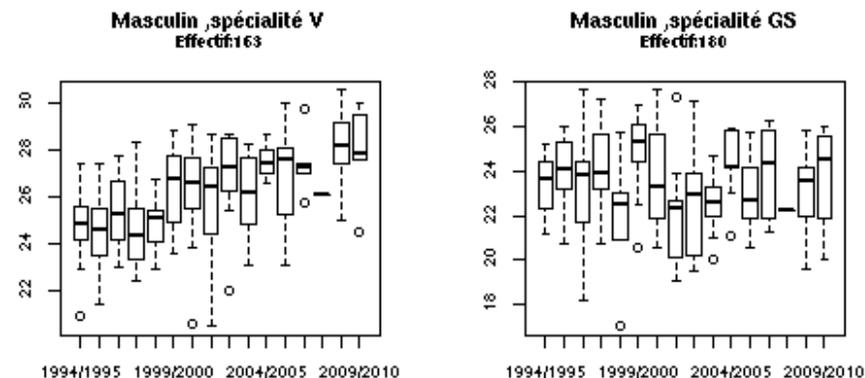
**Figure 63 : Evolution de l'IMC par discipline et par saison chez les dames**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



**Figure 64 : Evolution de l'IMC par discipline et par saison chez les hommes**

les extrémités des boîtes représentent le premier et le troisième quartile, la barre représente la médiane et les moustaches les extrêmes (les ronds sont des valeurs statistiquement aberrantes)



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 32

### 3. CARACTERISTIQUES PHYSIOLOGIQUES

#### 3.1. Effectifs :

Tableau 33 : Effectifs par saison selon le genre, le protocole et le n° d'épreuves d'efforts (premières ou suivantes)

	Tous protocoles				Protocole sur ergocycle				Protocole sur tapis-roulant			
	Femmes		Hommes		Femmes		Hommes		Femmes		Hommes	
	1° EFX	Autres EFX	1° EFX	Autres EFX	1° EFX	Autres EFX	1° EFX	Autres EFX	1° EFX	Autres EFX	1° EFX	Autres EFX
1994/1995	35	0	55	0	12	0	17	0	23	0	38	0
1995/1996	12	16	15	29	4	4	2	5	8	12	13	24
1996/1997	20	24	19	39	1	3	4	9	19	21	15	30
1997/1998	13	35	19	22	3	8	5	0	10	27	14	22
1998/1999	6	18	5	14	1	4	1	4	5	14	4	10
1999/2000	6	20	7	33	2	5	1	9	4	15	6	24
2000/2001	12	24	27	27	8	4	14	11	4	20	13	16
2001/2002	9	22	18	32	0	2	4	7	9	20	14	25
2002/2003	17	20	24	20	0	0	2	3	17	20	22	17
2003/2004	6	27	2	26	0	2	0	5	6	25	2	21
2004/2005	24	8	21	11	17	1	15	5	7	7	6	6
2005/2006	29	4	40	17	29	4	33	7	0	0	6	10
2006/2007	23	8	25	22	22	5	24	16	1	3	0	5
2007/2008	21	16	23	2	20	8	22	1	1	5	1	1
2008/2009	10	8	25	12	10	6	23	12	0	0	1	0
2009/2010	14	6	5	17	13	4	5	15	1	2	0	1

EFX = épreuve d'effort d'intensité maximale

**Tableau 34 : Effectifs par saison selon le genre et la spécialité**

	Effectifs tous types de protocole (ergocycle + tapis roulant)									
	Femmes					Hommes				
	Effectif global	V	GS	SL	T	Effectif global	V	GS	SL	T
1994/1995	35	14	6	8	3	55	17	14	15	3
1995/1996	28	11	5	8	1	44	17	12	12	1
1996/1997	44	20	11	6	1	58	18	25	12	3
1997/1998	48	22	11	11	2	41	12	18	8	1
1998/1999	24	7	8	6	2	19	10	5	3	1
1999/2000	26	11	7	7	1	40	15	11	12	2
2000/2001	36	10	13	6	4	54	14	21	12	6
2001/2002	31	10	11	7	2	50	14	10	17	8
2002/2003	37	10	7	9	4	44	8	7	15	11
2003/2004	33	11	7	8	3	28	6	10	7	4
2004/2005	32	3	5	6	2	32	3	9	3	5
2005/2006	33	5	7	4	3	57	13	14	4	4
2006/2007	31	5	4	2	0	47	5	10	8	6
2007/2008	37	6	5	8	1	25	1	1	0	4
2008/2009	18	4	1	3	2	37	5	9	6	3
2009/2010	20	5	5	5	2	22	6	4	5	2

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

N.B.1 : les effectifs globaux peuvent différer de la somme des effectifs pour chacune des spécialités, car les polyvalents ne sont pas représentés.

NB.2 : Colonnes « technique » = effectif faible

**Tableau 35 : Effectifs des épreuves réalisés sur ergocycle par saison selon le genre et la spécialité**

	Effectifs des épreuves réalisés sur ergocycle									
	Femmes					Hommes				
	Effectif global	V	GS	SL	T	Effectif global	V	GS	SL	T
1994/1995	12	3	3	3	1	17	6	3	5	0
1995/1996	8	4	1	2	0	7	3	0	2	0
1996/1997	4	2	1	1	0	13	6	5	2	0
1997/1998	11	5	3	2	0	5	1	3	1	0
1998/1999	5	1	1	1	1	5	4	1	0	0
1999/2000	7	5	1	1	0	10	8	1	1	0
2000/2001	12	1	5	3	2	25	5	11	4	4
2001/2002	2	1	1	0	0	11	3	3	3	2
2002/2003	0	0	0	0	0	5	2	0	1	2
2003/2004	2	1	0	0	1	5	1	1	2	1
2004/2005	18	0	0	3	0	20	1	4	2	1
2005/2006	33	5	7	4	3	40	7	8	2	2
2006/2007	27	4	2	1	0	40	5	8	6	5
2007/2008	28	2	2	7	1	23	1	1	0	2
2008/2009	16	2	1	3	2	35	5	7	6	3
2009/2010	17	4	5	5	1	20	6	4	3	2

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

N.B.1 : les effectifs globaux peuvent différer de la somme des effectifs pour chacune des spécialités, car les polyvalents ne sont pas représentés.

NB.2 : effectif faible pour toutes les sous-spécialités

**Tableau 36 : Effectifs des épreuves réalisés sur tapis roulant  
par saison selon le genre et la spécialité**

	Femmes					Hommes				
	Effectif global	V	GS	SL	T	Effectif global	V	GS	SL	T
1994/1995	23	11	3	5	2	38	11	11	10	3
1995/1996	20	7	4	6	1	37	14	12	10	1
1996/1997	40	18	10	5	1	45	12	20	10	3
1997/1998	37	17	8	9	2	36	11	15	7	1
1998/1999	19	6	7	5	1	14	6	4	3	1
1999/2000	19	6	6	6	1	30	7	10	11	2
2000/2001	24	9	8	3	2	29	9	10	8	2
2001/2002	29	9	10	7	2	39	11	7	14	6
2002/2003	37	10	7	9	4	39	6	7	14	9
2003/2004	31	10	7	8	2	23	5	9	5	3
2004/2005	14	3	5	3	2	12	2	5	1	4
2005/2006	0	0	0	0	0	16	6	6	2	2
2006/2007	4	1	2	1	0	5	0	2	2	1
2007/2008	6	1	3	1	0	2	0	0	0	2
2008/2009	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
2009/2010	3	1	0	0	1	1	0	0	1	0

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

N.B.1 : les effectifs globaux peuvent différer de la somme des effectifs pour  
chacune des spécialités, car les polyvalents ne sont pas représentés.

NB.2 : en rouge = effectifs faibles

### 3.2. $\dot{V}O_2 max$ :

Figure 65 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$   
par genre et par saison

Femmes  
Effectif:513

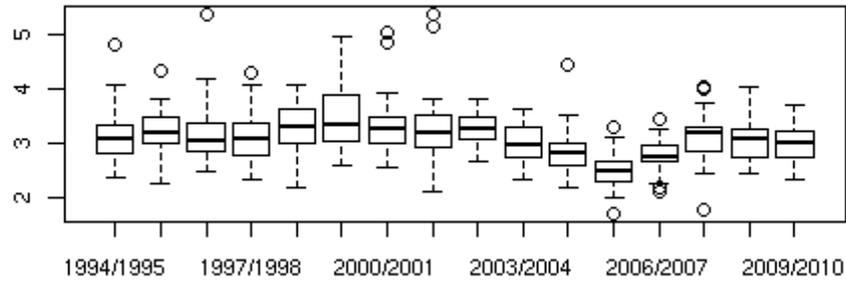
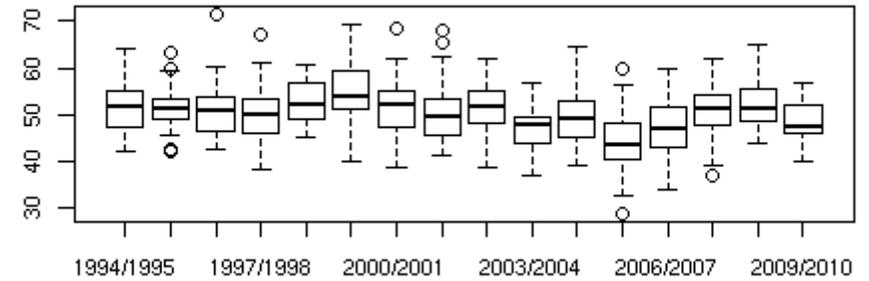
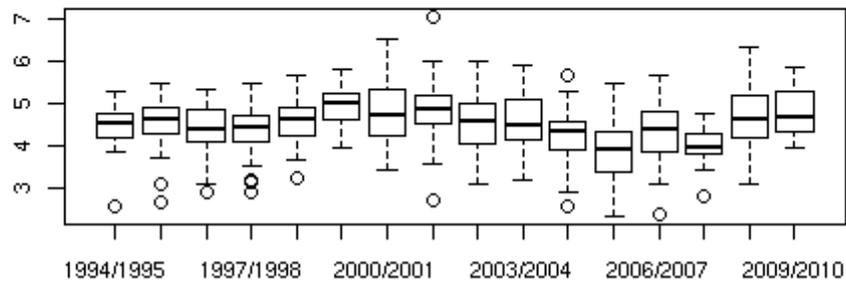


Figure 66 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  rapporté au poids  
par genre et par saison

Femmes  
Effectif:513

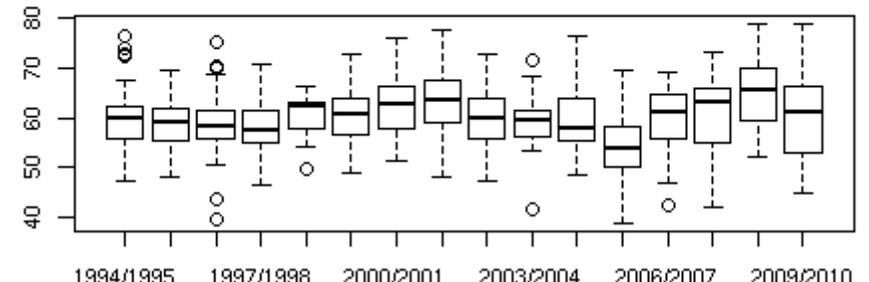


Hommes  
Effectif:653



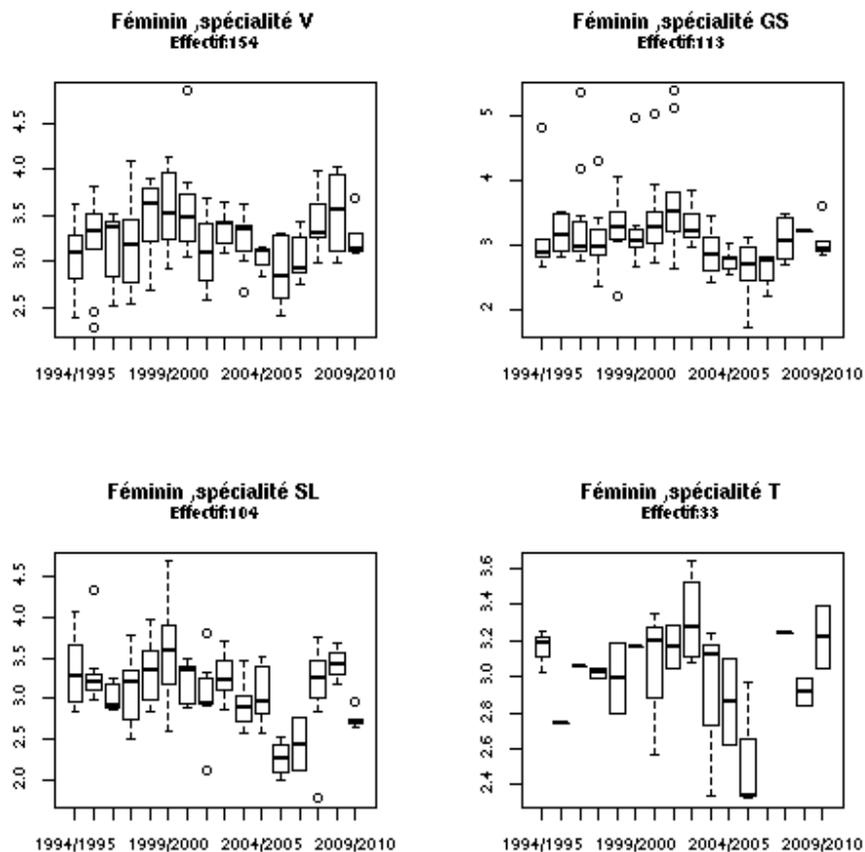
Effectifs : se reporter au Tableau 34.

Hommes  
Effectif:653



Effectifs : se reporter au Tableau 34.

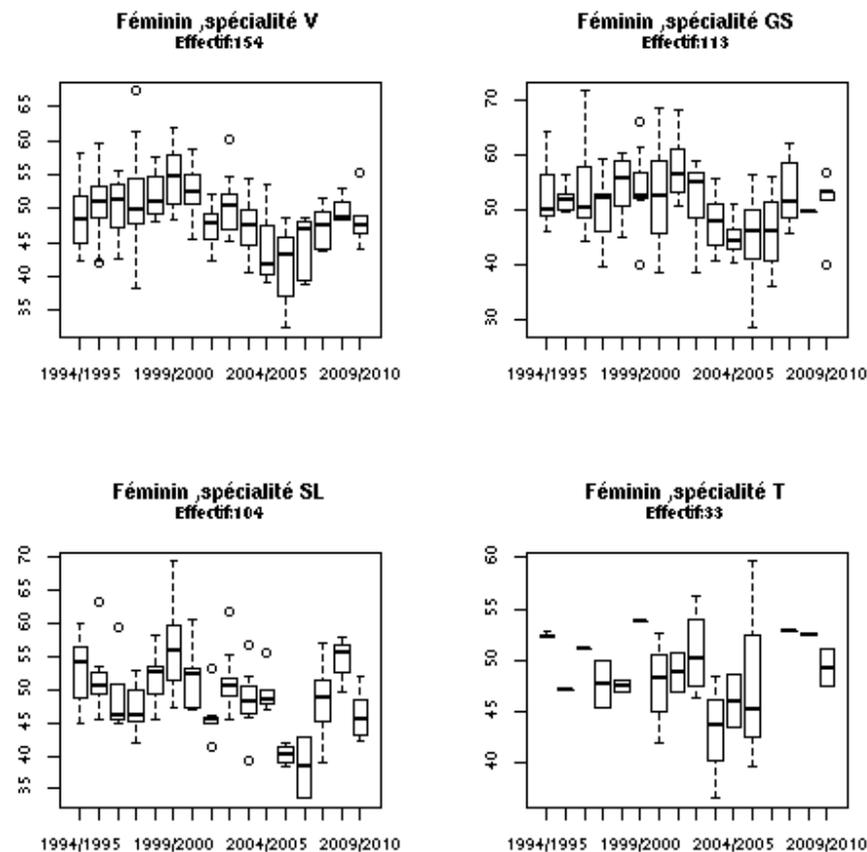
Figure 67 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 \max$  par discipline et par saison chez les dames



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

**ATTENTION: Effectifs techniques faibles (cf. Tableau 34).**

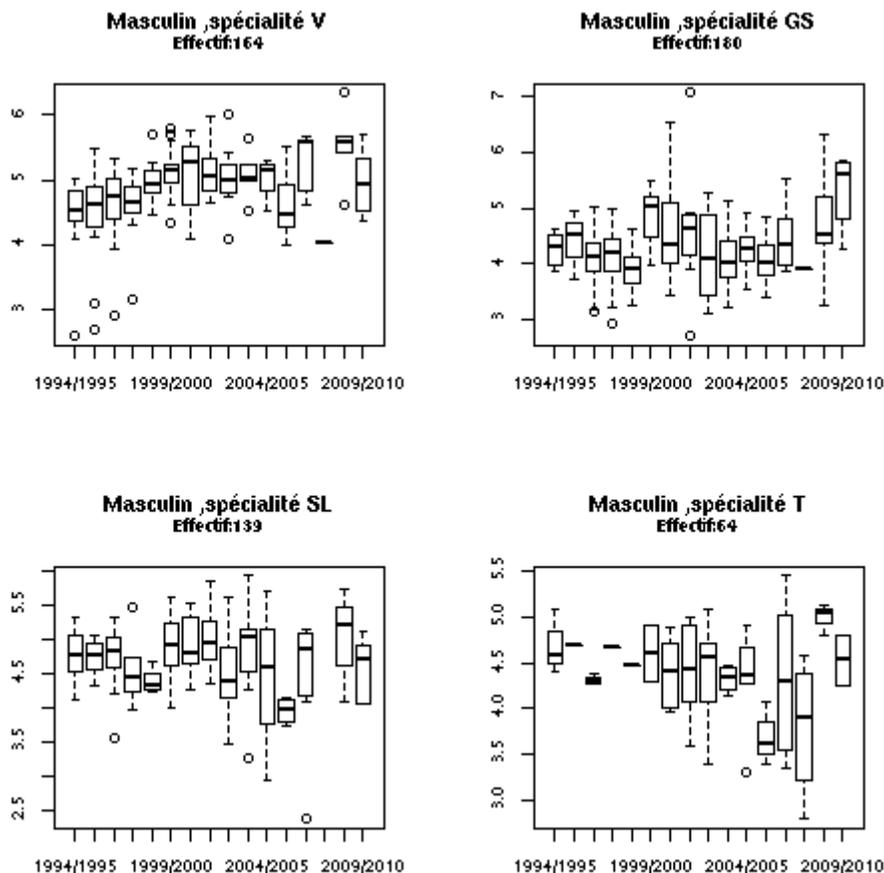
Figure 68 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 \max$  rapporté au poids par discipline et par saison chez les dames



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

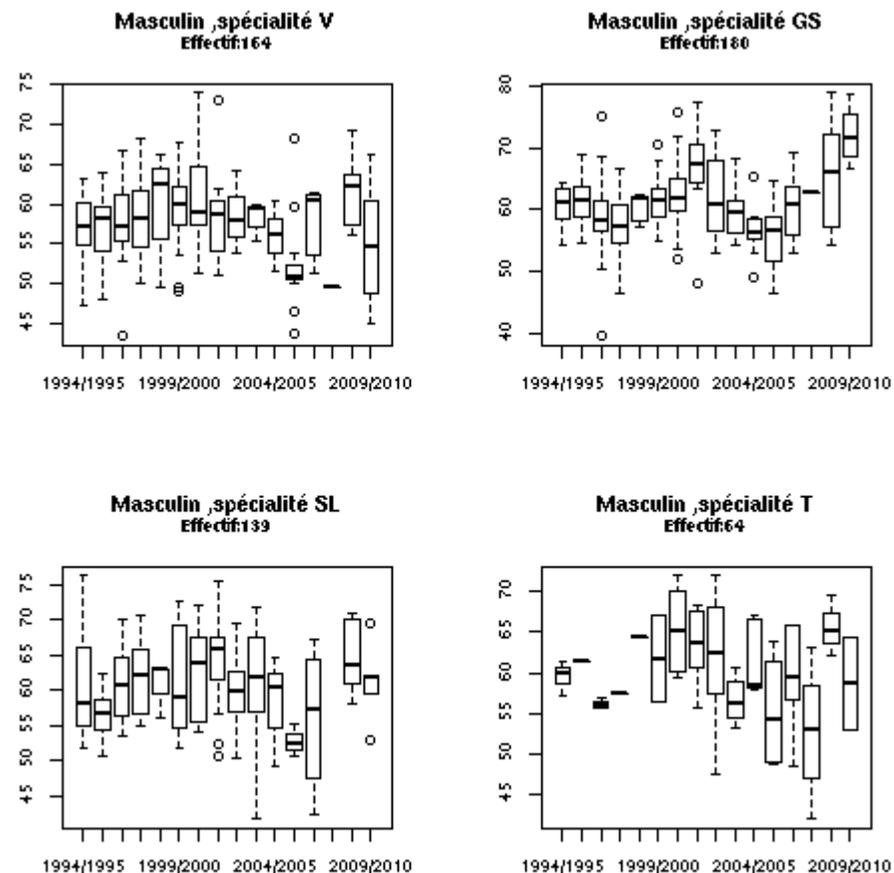
**ATTENTION: Effectifs techniques faibles (cf. Tableau 34).**

Figure 69 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  par discipline et par saison chez les hommes



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
**ATTENTION : Effectifs techniques faibles (cf. Tableau 34).**

Figure 70 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  rapporté au poids par discipline et par saison chez les hommes



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
**ATTENTION : Effectifs techniques faibles (cf. Tableau 34).**

Figure 71 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  par genre, par saison et par nombres d'épreuves

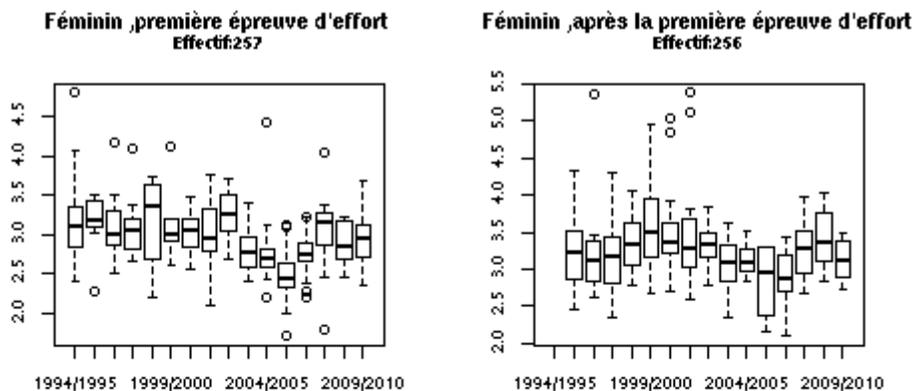
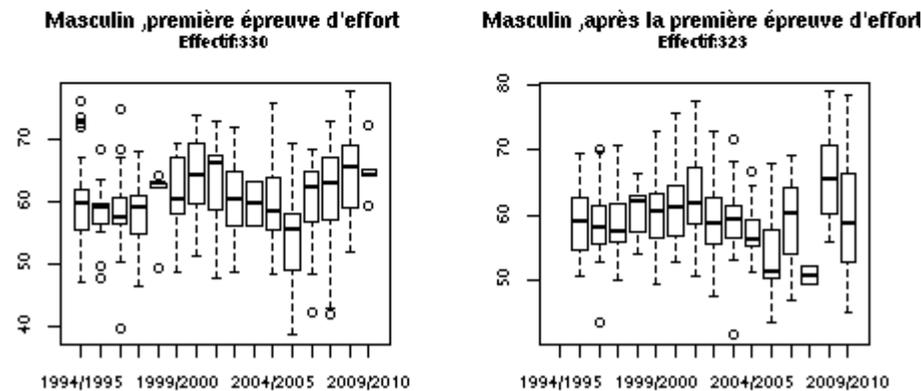
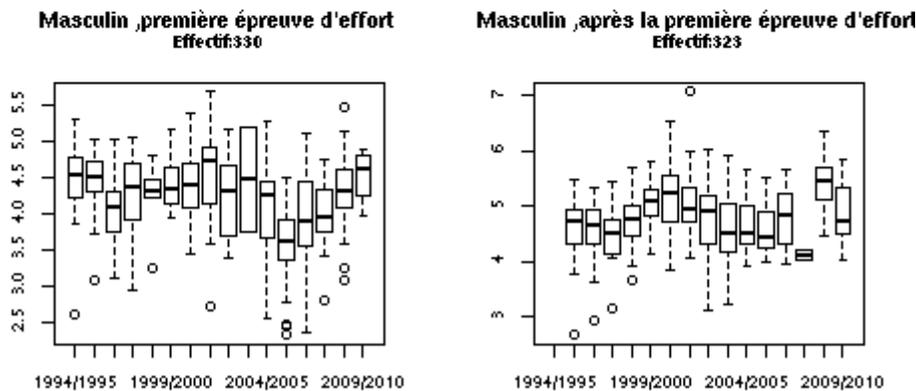
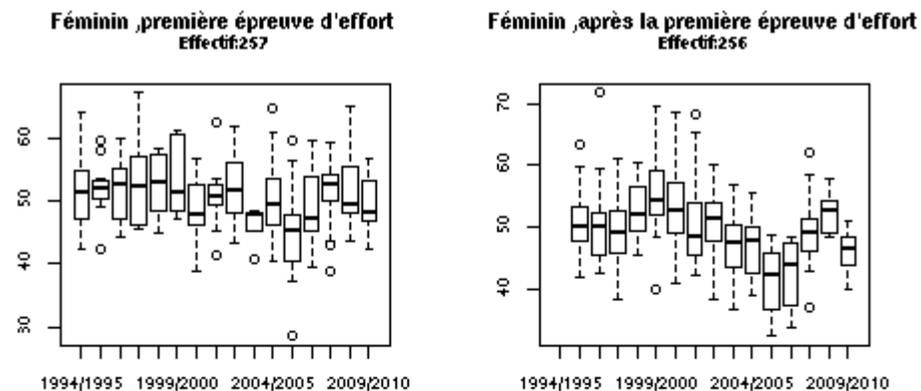


Figure 72 : Evolution de la  $\dot{V}O_2 max$  rapporté au poids par genre, par saison et par nombre d'épreuve



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 33.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 33.

### 3.3. PMA :

Figure 73 : Evolution de la PMA par genre, par saison

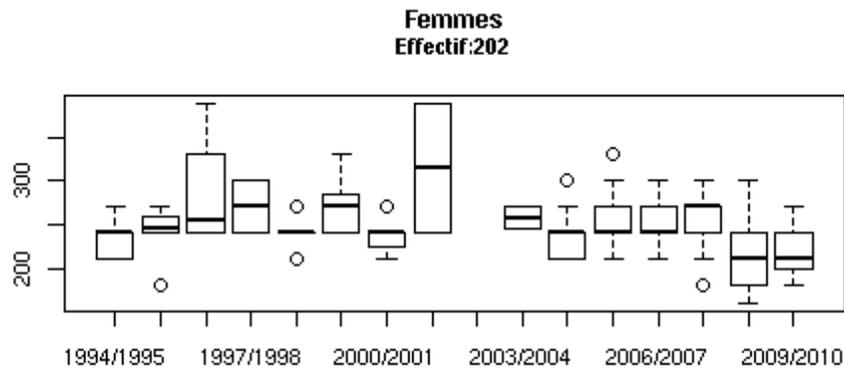


Figure 74 : Evolution de la PMA rapportée au poids par genre, par saison

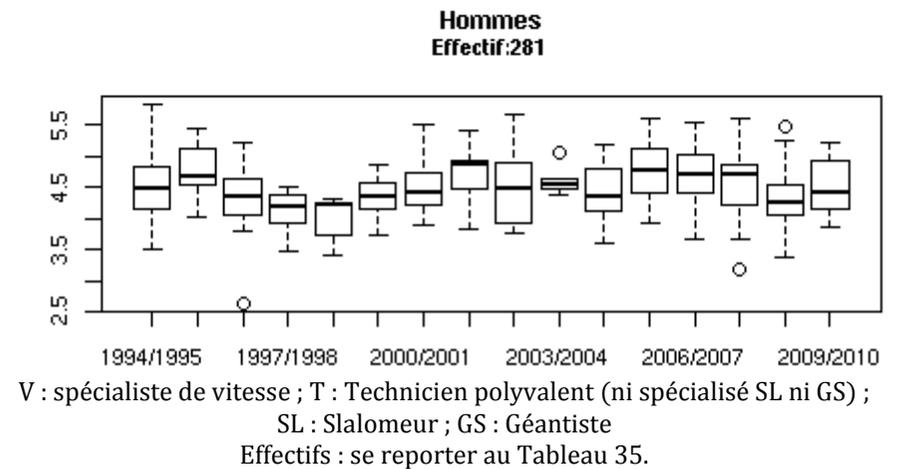
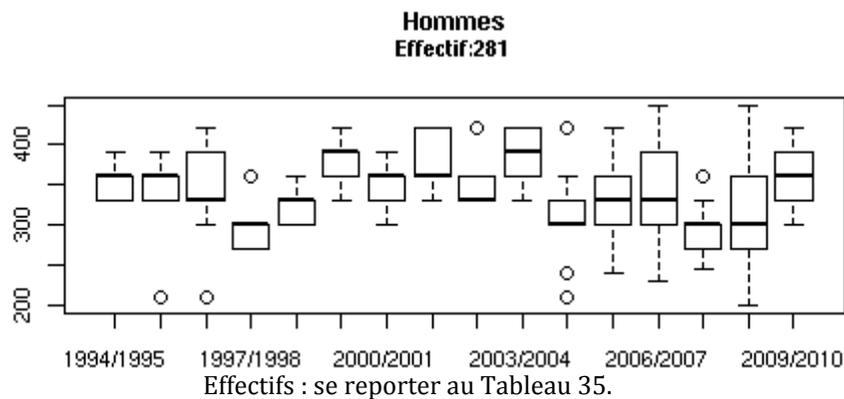
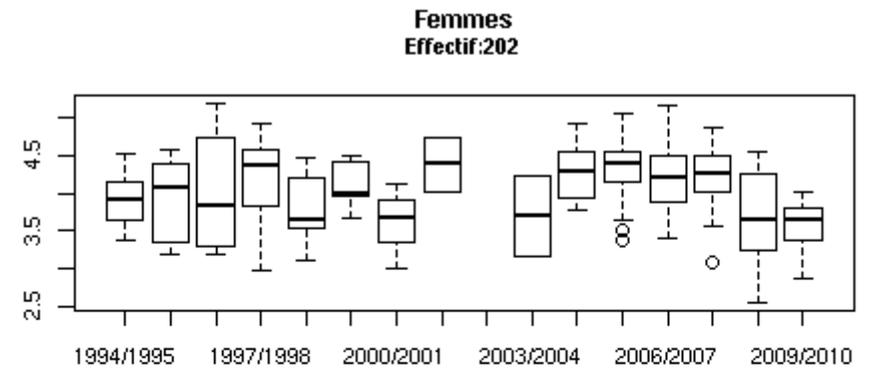


Figure 75 : Evolution de la PMA par discipline et par saison chez les dames

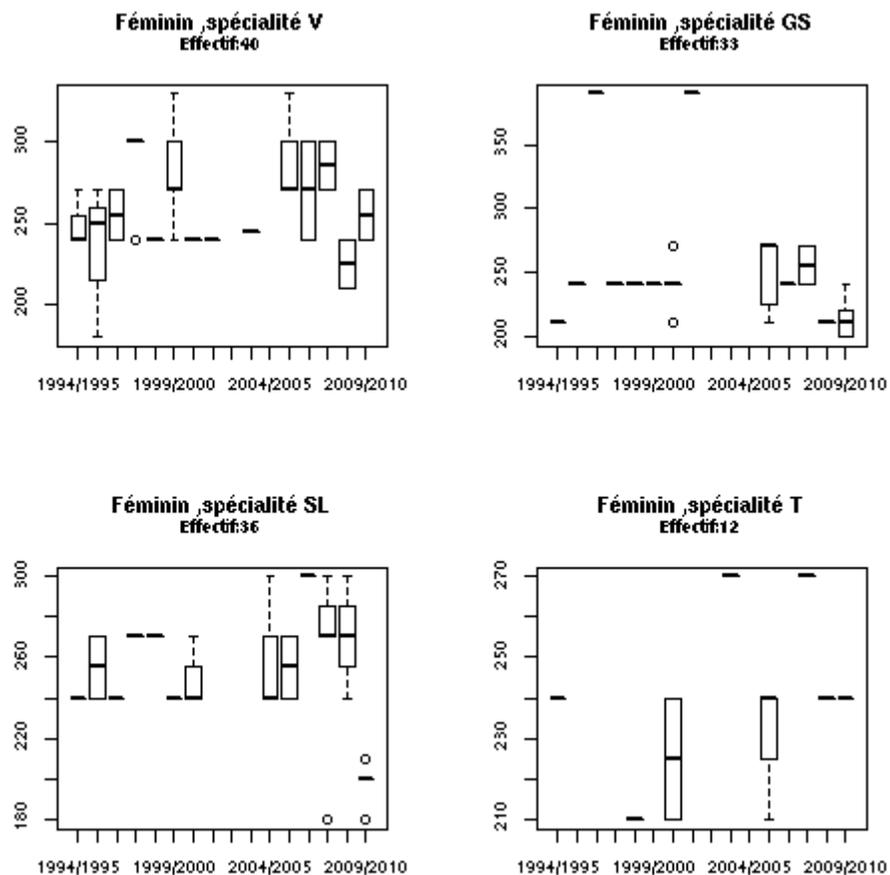
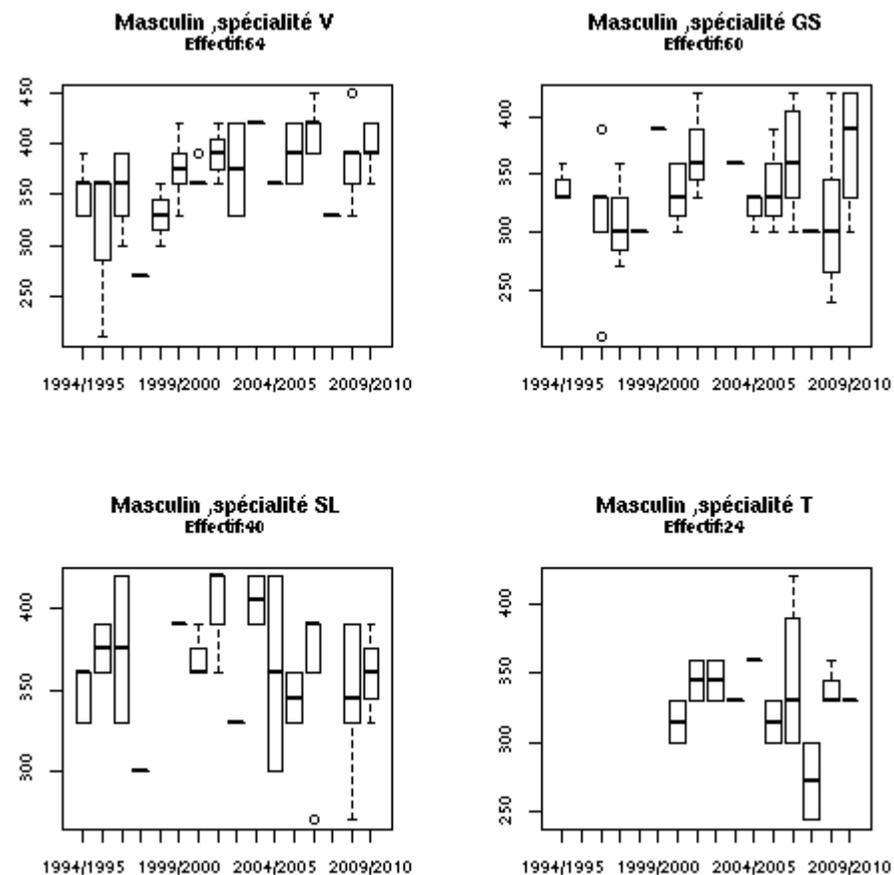


Figure 76 : Evolution de la PMA par discipline et par saison chez les hommes



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

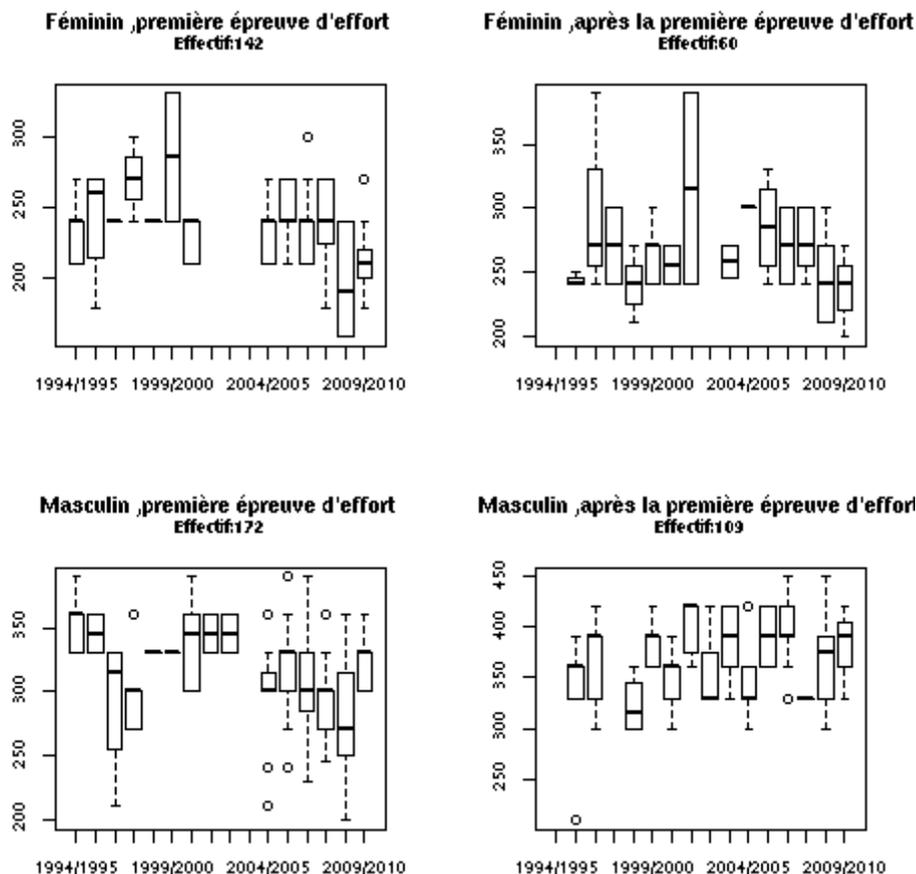
**ATTENTION : EFFECTIFS TROP FAIBLES (cf. Tableau 35).**

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

**ATTENTION : EFFECTIFS TROP FAIBLES (cf. Tableau 35).**

N'ayant pas d'effectifs suffisants, les figures montrant l'évolution par saison de la PMA rapportée au poids en fonction du genre et de la spécialité ne sont pas présentées.

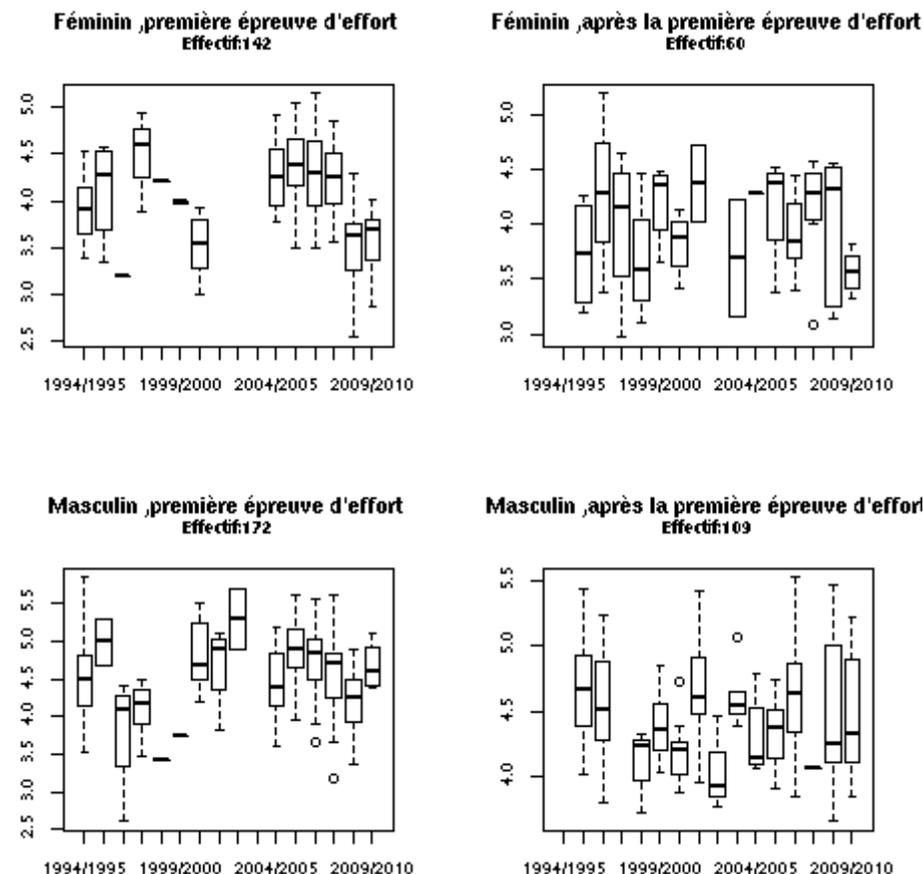
**Figure 77 : Evolution de la PMA par genre, par saison et par nombre d'épreuve**



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

**ATTENTION : EFFECTIFS TROP FAIBLE (cf. Tableau 33).**

**Figure 78 : Evolution de la PMA rapportée au poids par genre, par saison et par nombre d'épreuve**

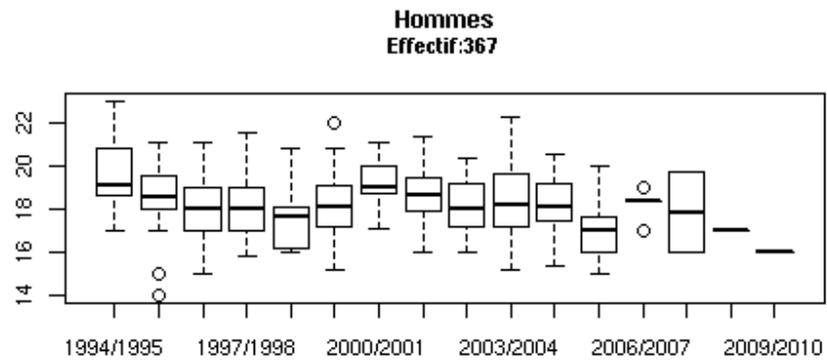
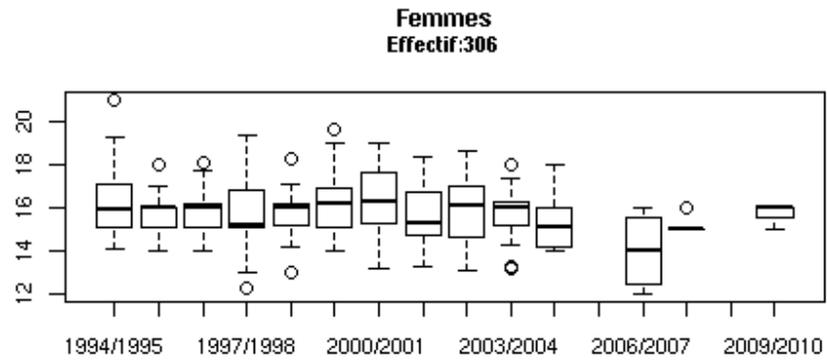


V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste

**ATTENTION : EFFECTIFS TROP FAIBLE (cf. Tableau 33).**

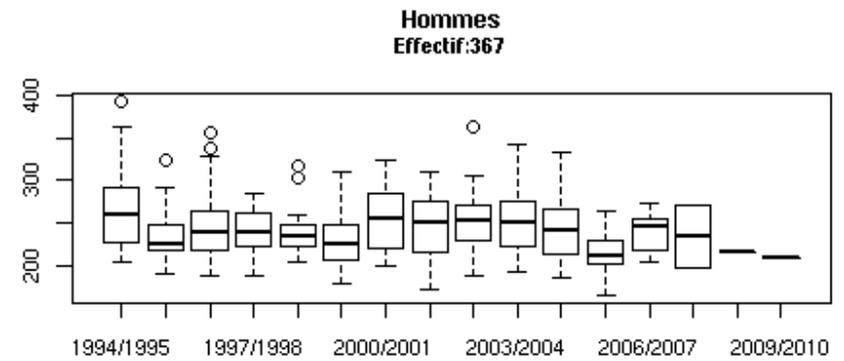
### 3.4. Evolution de la VMA :

Figure 79 : Evolution de la VMA par genre, par saison



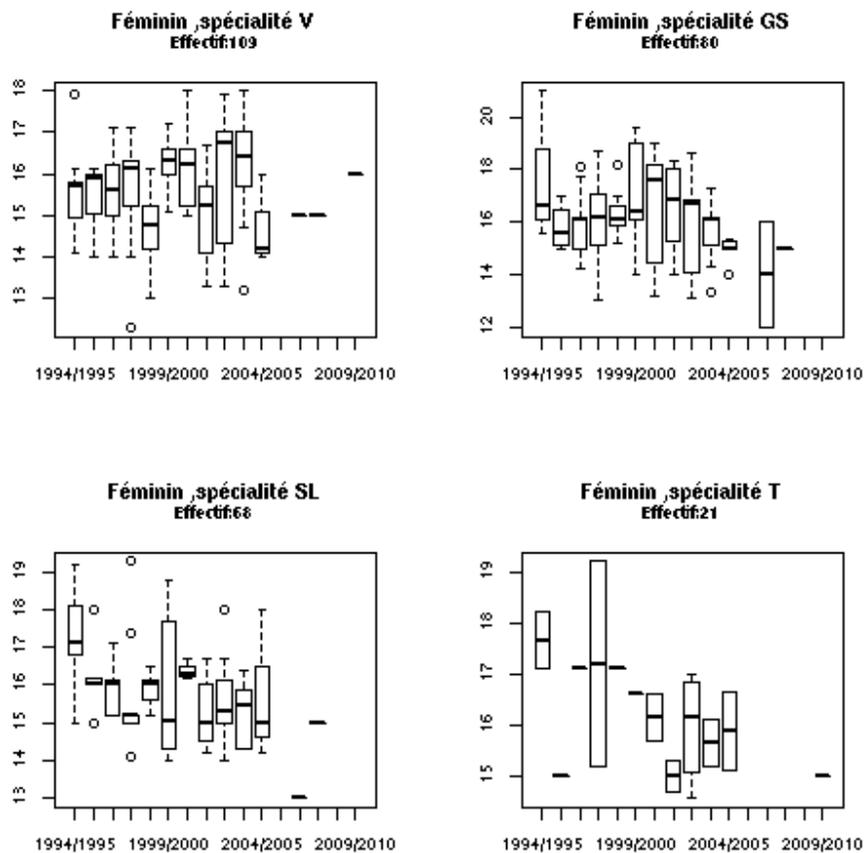
Effectifs : se reporter au Tableau 36.

Figure 80 : Evolution de la VMA rapportée au poids par genre, par saison



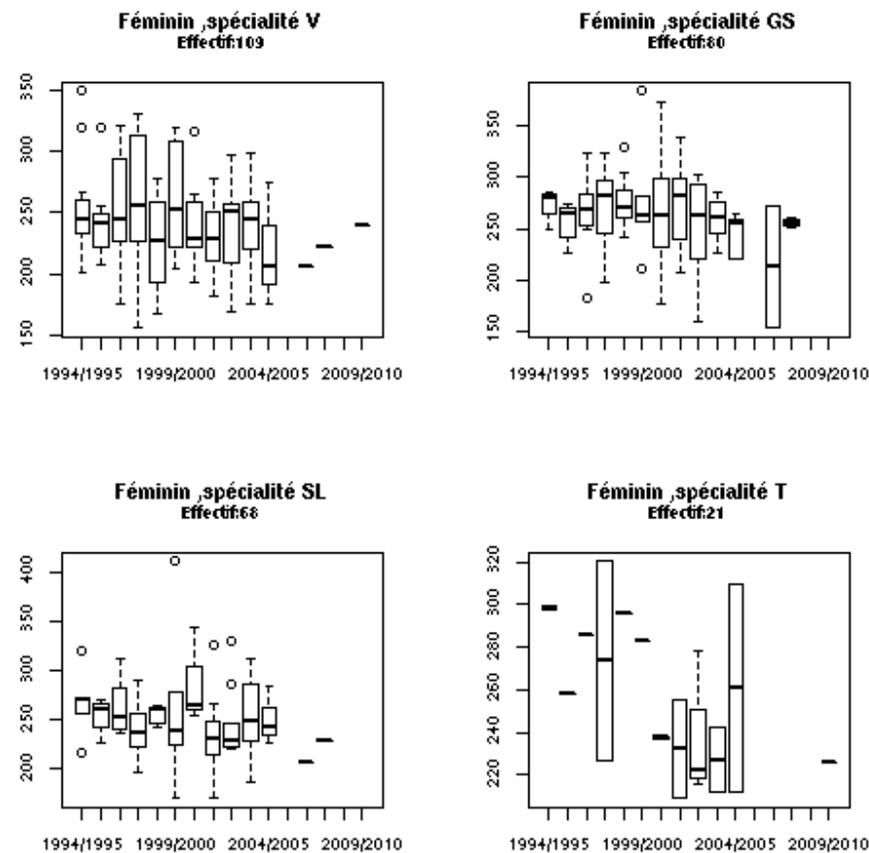
Effectifs : se reporter au Tableau 36.

**Figure 81 : Evolution de la VMA par discipline et par saison chez les dames**



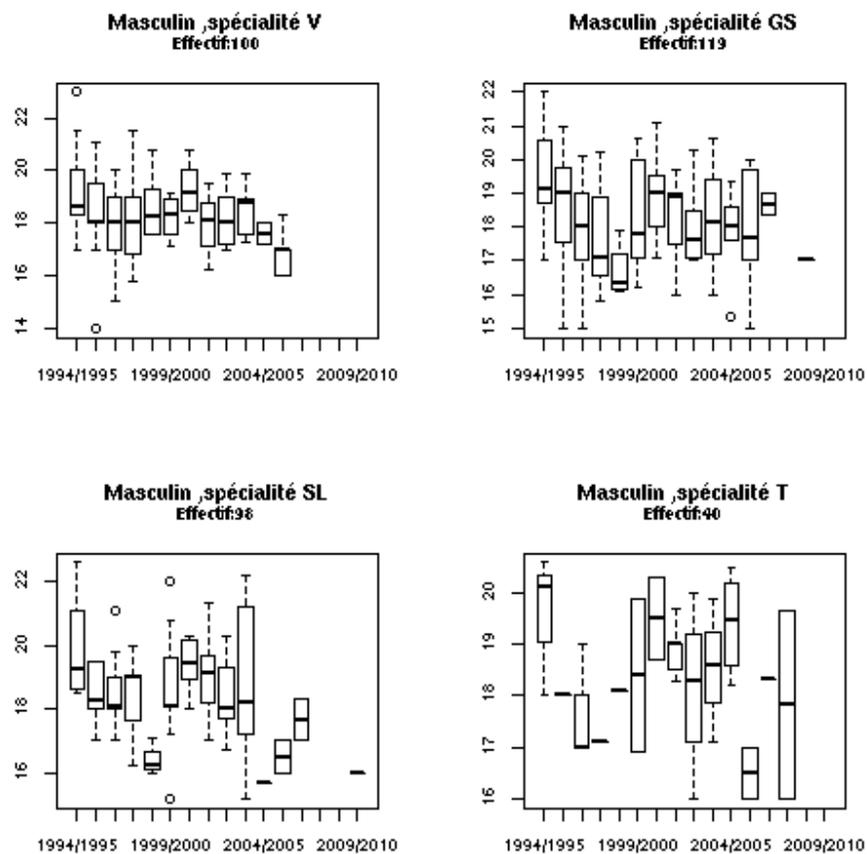
V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 36.

**Figure 82 : Evolution de la VMA rapportée au poids par discipline et par saison chez les dames**



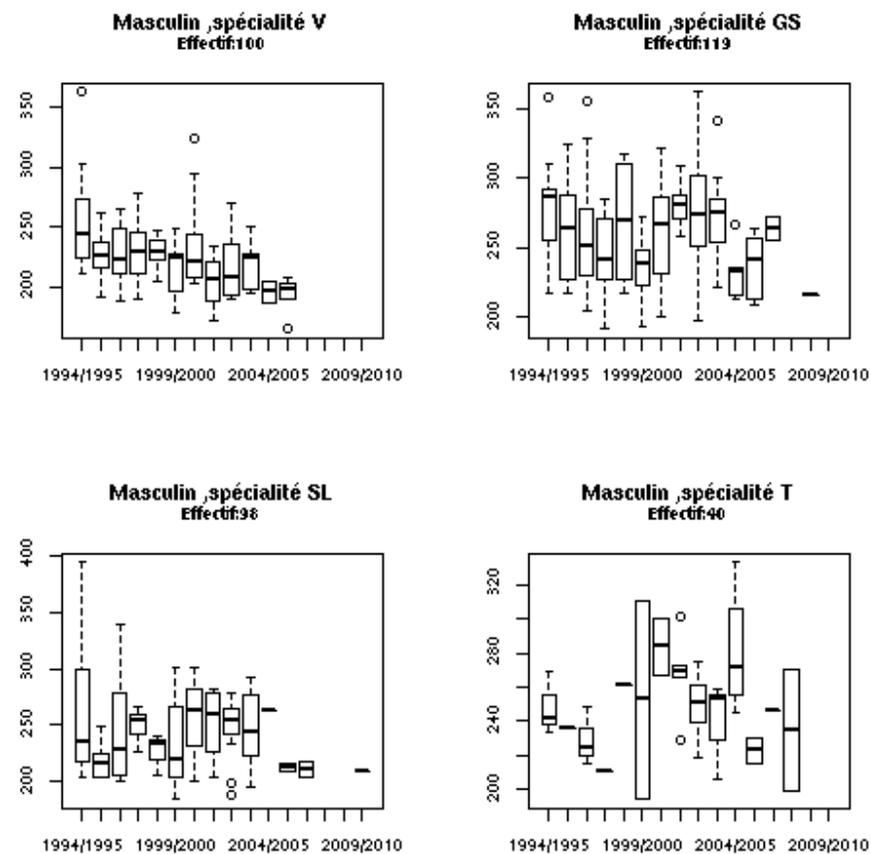
V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 36.

**Figure 83 : Evolution de la VMA par discipline et par saison chez les hommes**



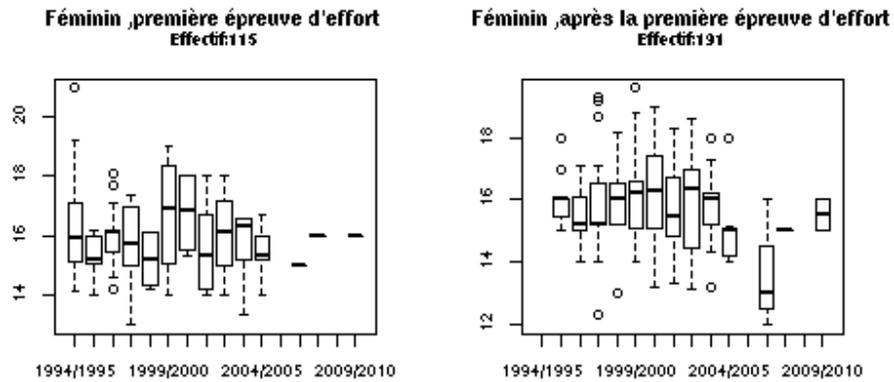
V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 36.

**Figure 84 : Evolution de la VMA rapportée au poids par discipline et par saison chez les hommes**

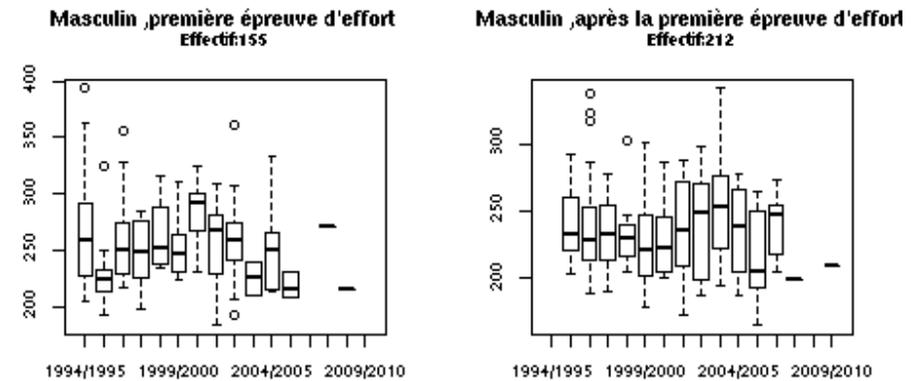
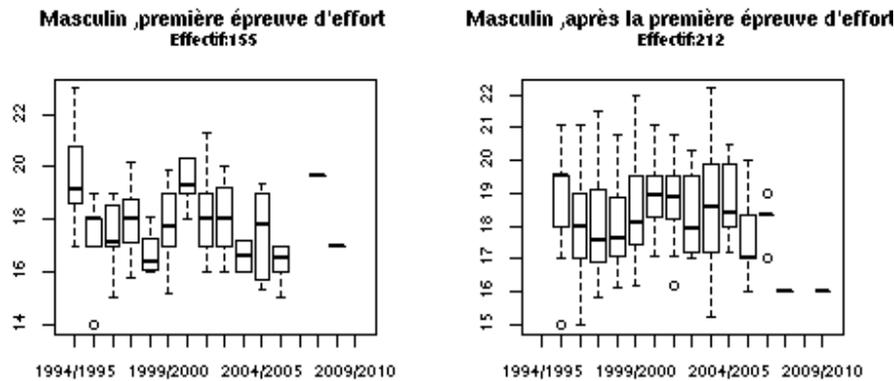
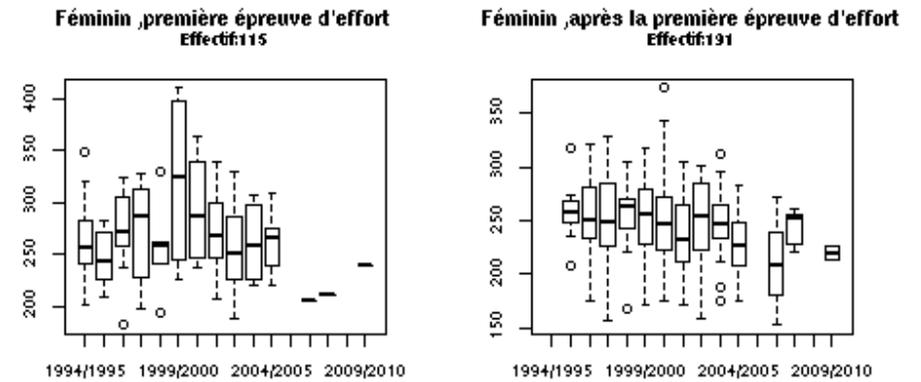


V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 36.

**Figure 85 : Evolution de la VMA  
par genre, par saison et par nombre d'épreuve**



**Figure 86 : Evolution de la VMA rapportée au poids  
par genre, par saison et par nombre d'épreuve**



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 33.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 33.

## 4. PERFORMANCES :

### 4.1. Effectifs :

Tableau 37 : Effectifs par saison selon la discipline et la spécialité

	Points en DH selon la spécialité				Points en SG selon la spécialité				Points en GS selon la spécialité				Points en SL selon la spécialité			
	V	T	SL	GS												
1994/1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995/1996	27	2	20	17	28	2	20	17	27	2	20	17	28	2	20	17
1996/1997	37	3	18	35	38	4	18	35	38	4	18	35	38	4	18	35
1997/1998	34	2	15	25	34	2	16	27	34	2	16	27	33	2	16	27
1998/1999	17	2	7	13	17	2	8	13	17	2	9	13	14	2	9	13
1999/2000	26	1	14	14	26	2	15	18	26	2	17	18	23	2	17	18
2000/2001	22	7	16	26	24	8	18	31	24	10	18	34	22	10	18	34
2001/2002	24	7	20	16	24	8	21	20	24	10	24	21	22	10	24	21
2002/2003	18	10	19	13	18	12	23	14	18	15	24	14	17	15	24	14
2003/2004	17	7	11	15	17	7	13	17	17	7	14	17	16	7	14	17
2004/2005	6	6	6	12	6	6	7	13	6	7	7	13	5	7	7	13
2005/2006	18	5	8	19	18	5	8	20	18	6	8	20	18	6	8	20
2006/2007	10	4	9	11	10	6	10	13	10	6	10	14	10	6	10	14
2007/2008	7	3	6	6	7	4	6	6	7	5	7	6	7	5	7	6
2008/2009	9	5	8	9	9	5	9	10	9	5	9	10	9	5	9	10
2009/2010	10	4	7	9	11	4	7	9	11	4	9	9	11	4	9	9

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ; SL : Slalomeur ;  
GS : Géantiste

N.B.1 : les effectifs globaux peuvent différer de la somme des effectifs pour chacune des spécialités,  
car les polyvalents ne sont pas représentés.

N.B.2 : **en rouge = effectifs faibles**

## 4.2. Graphiques

Figure 87 : Evolution des points FIS en Descente (DH) par saison et par spécialité

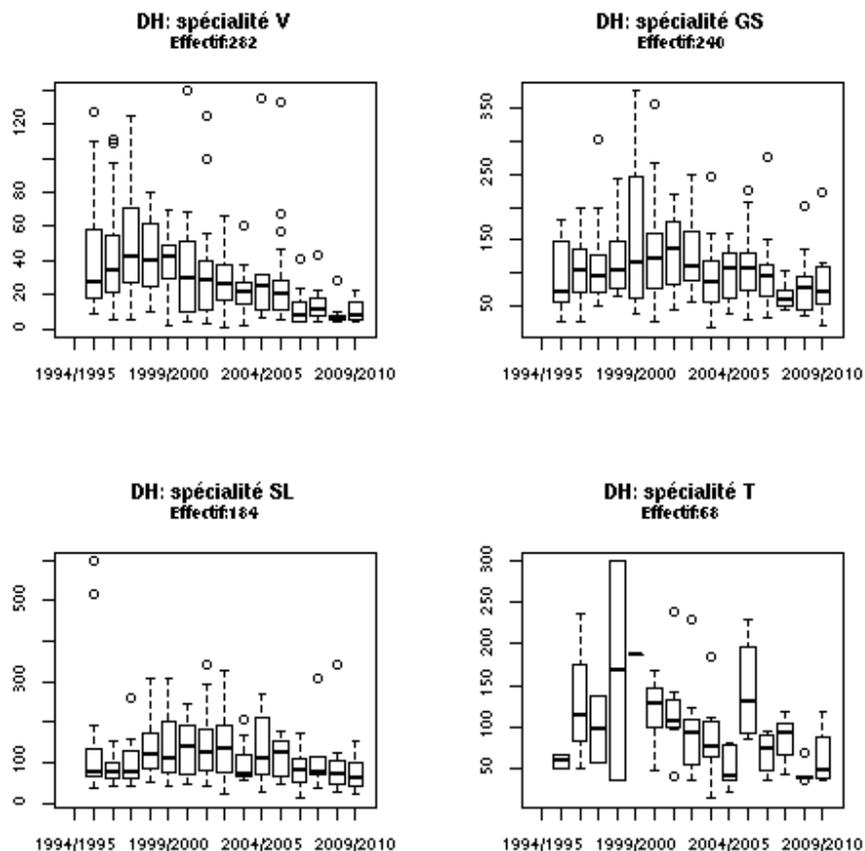
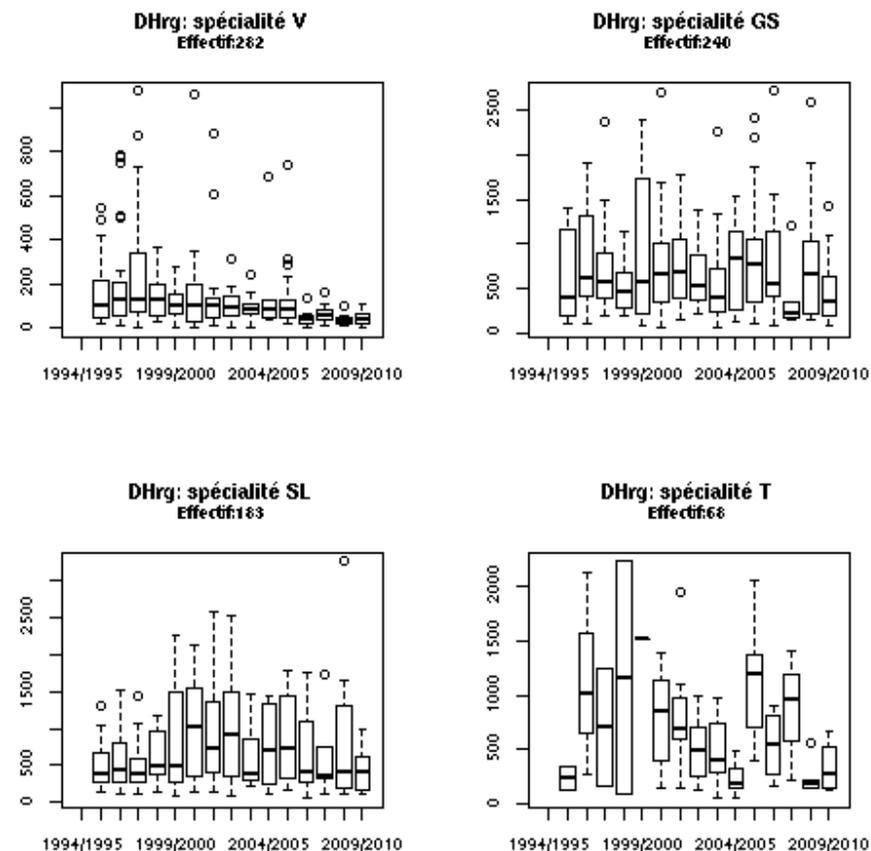


Figure 88 : Evolution du classement FIS en Descente (DH) par saison et par spécialité



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 37.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 37.

Figure 89 : Evolution des points FIS en Super Géant (SG) par saison et par spécialité

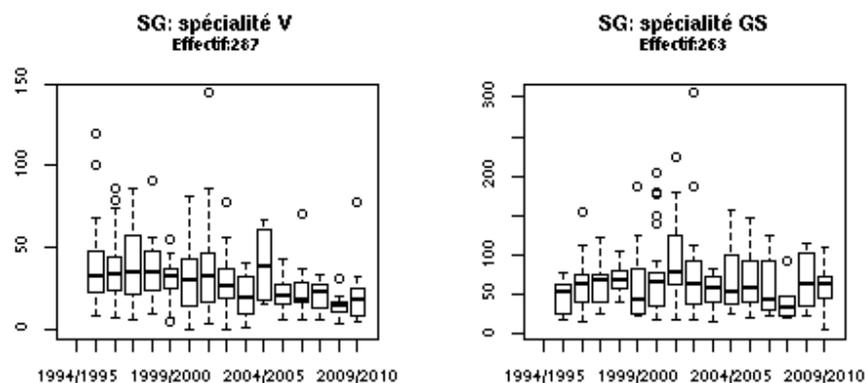
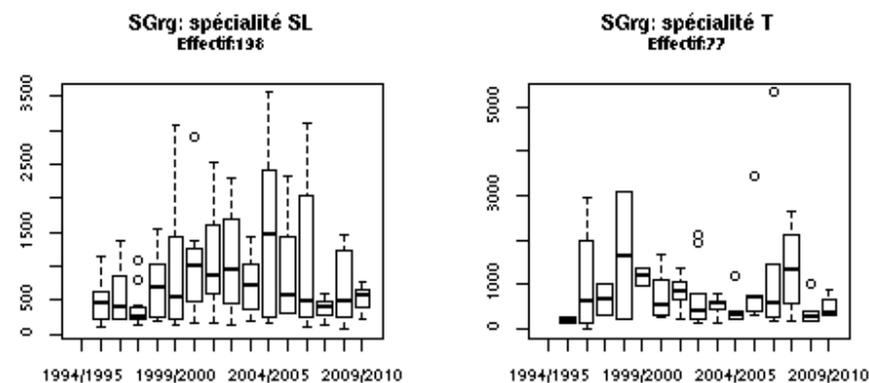
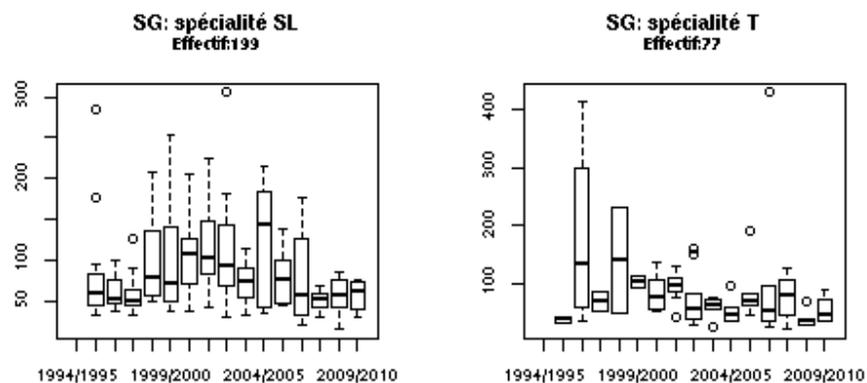
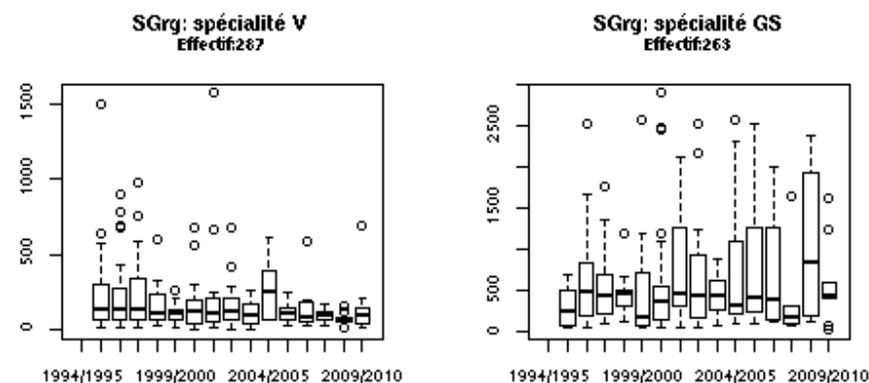


Figure 90 : Evolution du classement FIS en Super Géant (SG) par saison et par spécialité



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 37.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
 SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
 Effectifs : se reporter au Tableau 37.

Figure 91 : Evolution des points FIS en Géant (GS)  
par saison et par spécialité

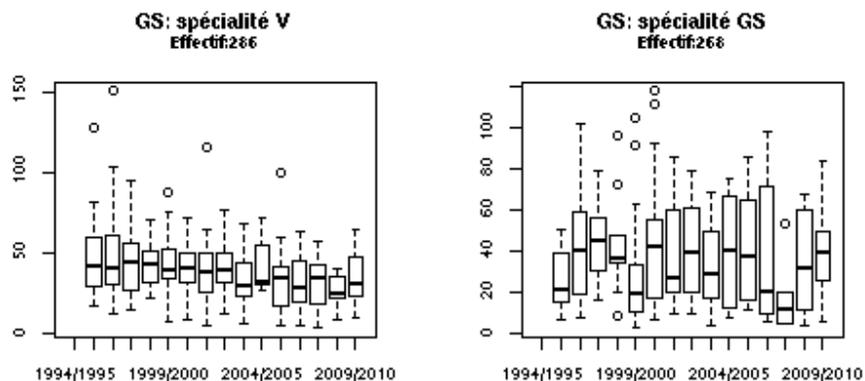
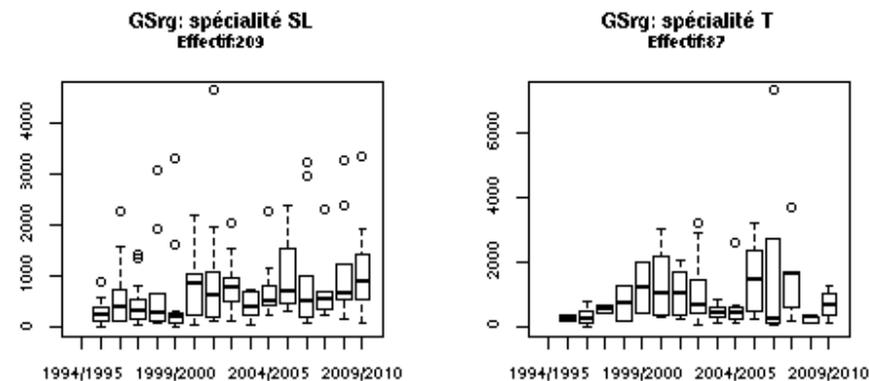
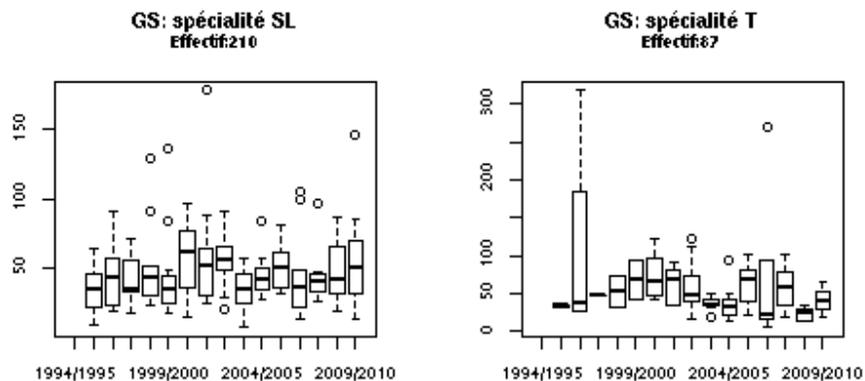
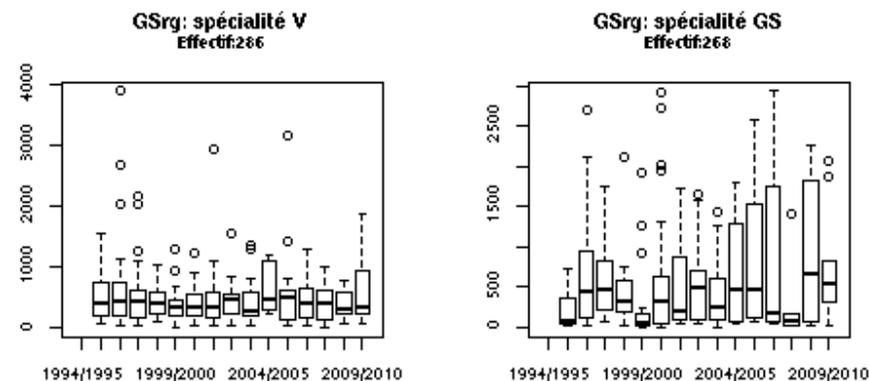


Figure 92 : Evolution du classement FIS en Géant (GS)  
par saison et par spécialité



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 37.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 37.

Figure 93 : Evolution des points FIS en Slalom (SL)  
par saison et par spécialité

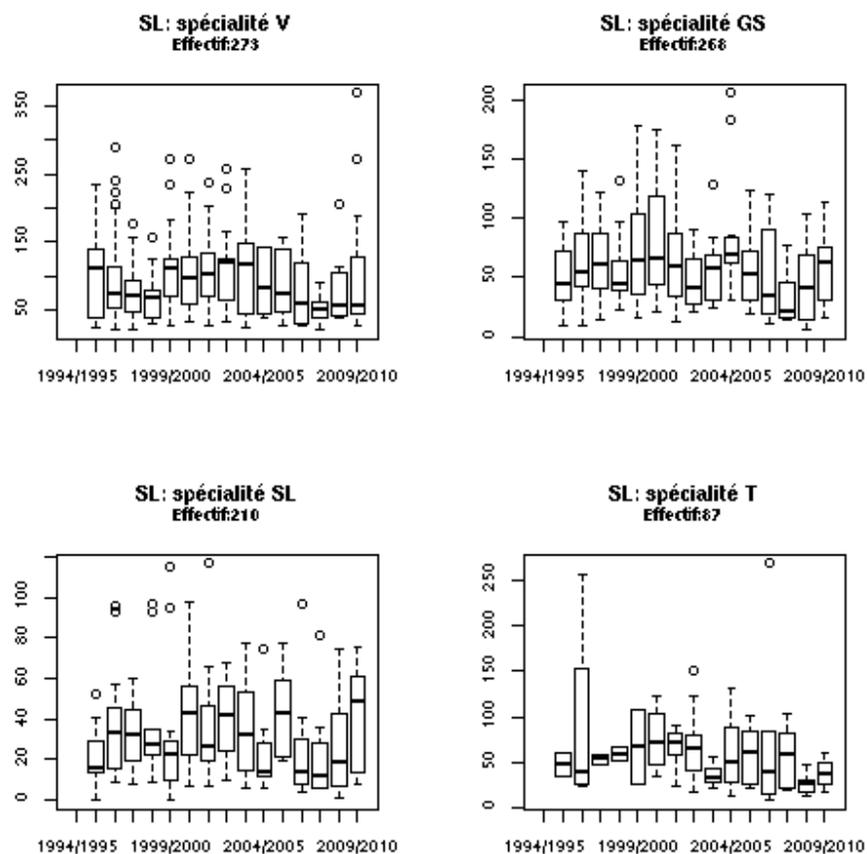
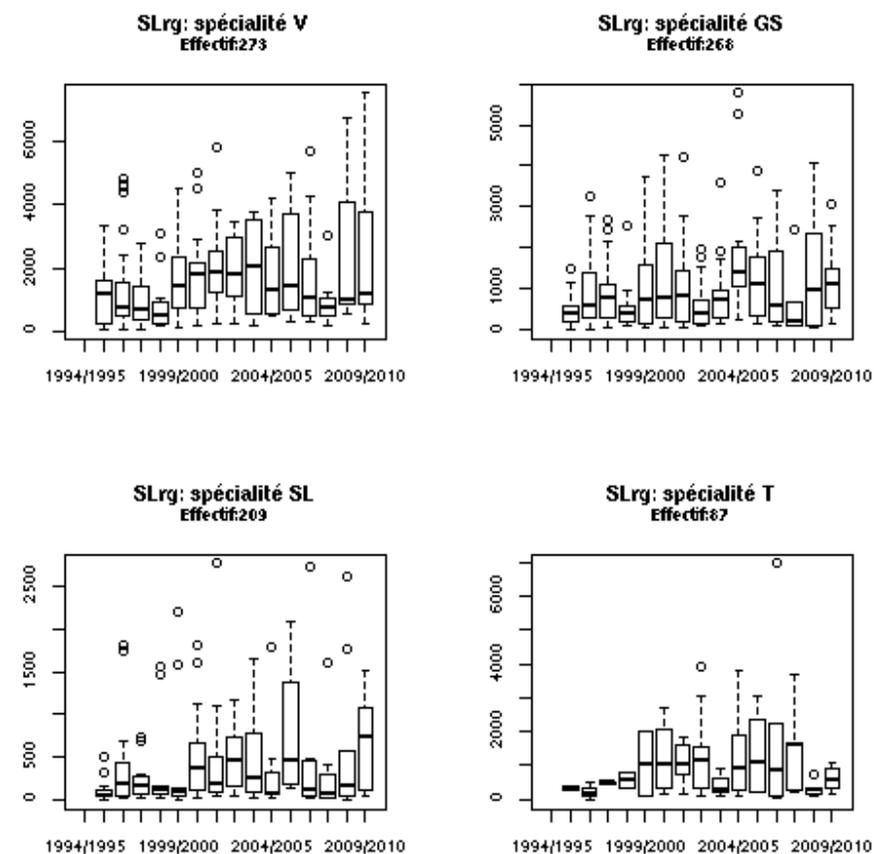


Figure 94 : Evolution des points FIS en Slalom (SL)  
par saison et par spécialité



V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 37.

V : spécialiste de vitesse ; T : Technicien polyvalent (ni spécialisé SL ni GS) ;  
SL : Slalomeur ; GS : Géantiste  
Effectifs : se reporter au Tableau 37.

## Annexe 3.

# RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION : FEMMES, EN EQUIPE, SUR TAPIS ROULANT

La sous-population F-TR-Eq compte 211 individus.

## 1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :

**Tableau 38 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la population F-TR-Eq.**

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤7	≤9,21	≤14,4	≤16,5
Performant	]7 - 15,7]	]9,21 - 18,9]	]14,4 - 18,8]	]16,5 - 23,5]
Peu performant	]15,7 - 60,3]	]18,9 - 42]	]18,8 - 36,8]	]23,5 - 58,6]
Très peu performants	]60,3 - 597]	]42 - 411]	]36,8 - 319]	]58,6 - 271]

## 2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

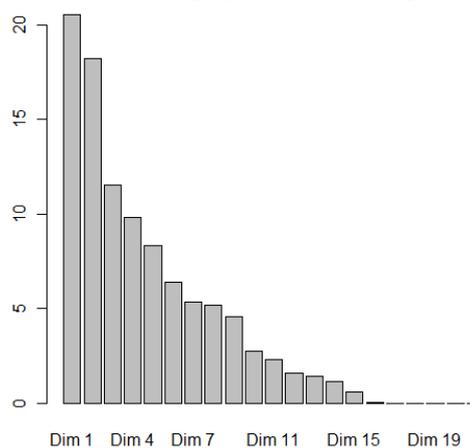
24 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 187 dans cette analyse.

### 2.1. Inertie des dimensions :

**Tableau 39 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Dimensions	Valeur propre	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulée d'inertie
dim 1	4,31	20,54	20,54
dim 2	3,83	18,25	38,79
dim 3	2,43	11,57	50,35
dim 4	2,06	9,83	60,18
dim 5	1,75	8,33	68,51
dim 6	1,34	6,39	74,89
dim 7	1,12	5,36	80,25
dim 8	1,09	5,17	85,42
dim 9	0,96	4,58	90,01
dim 10	0,58	2,78	92,79
dim 11	0,49	2,32	95,11
dim 12	0,34	1,61	96,72
dim 13	0,30	1,45	98,17
dim 14	0,25	1,17	99,34
dim 15	0,12	0,59	99,93
dim 16	0,01	0,03	99,95
dim 17	0,00	0,02	99,97
dim 18	0,00	0,01	99,98
dim 19	0,00	0,01	99,99
dim 20	0,00	0,01	100,0
dim 21	0,00	0,00	100

**Figure 95 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**



## 2.2. Résultats de l'ACP

### 2.2.1. Graphiques :

Figure 96 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

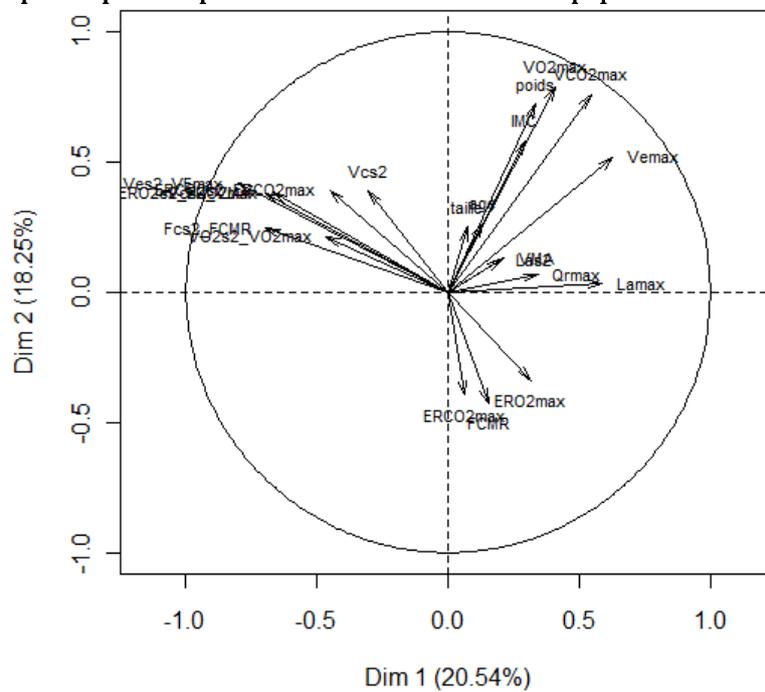


Figure 97 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

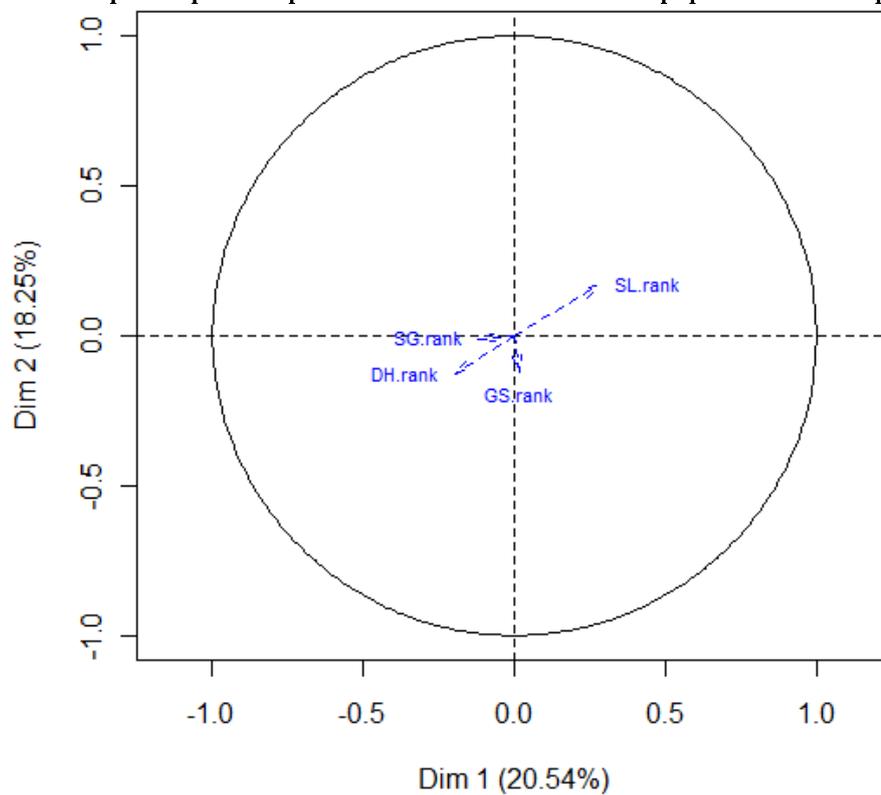
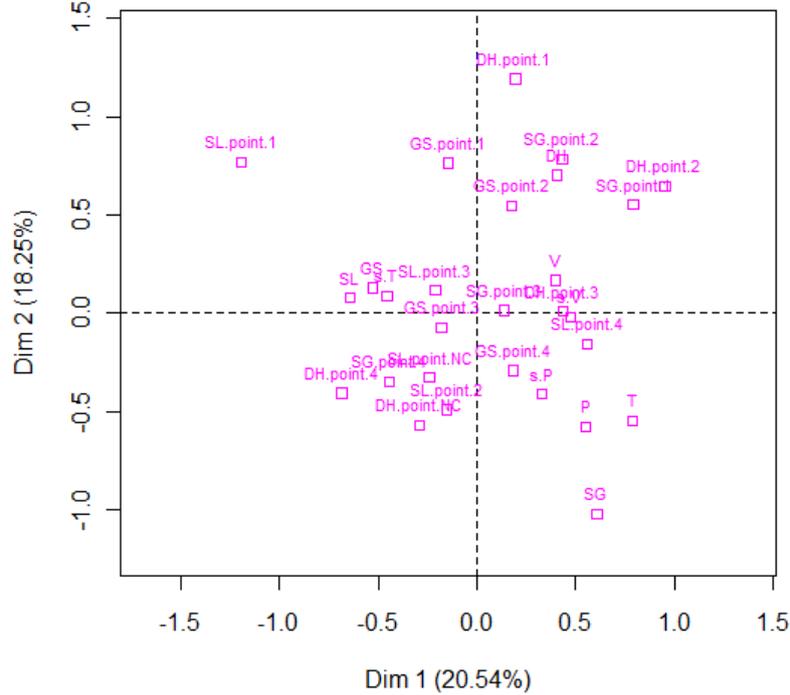


Figure 98 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq



## 2.2.2. Tableaux :

Tableau 40 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
VEmax	0,627	*	DH.point	0,080	0,004	SL.point.4	0,805	0,008
Lamax	0,585	*	specialite	0,048	0,011	SL	-0,869	0,047
VCO2max	0,545	*	SL.point	0,065	0,016	SL.point.1	-0,945	0,033
VO2max	0,406	*	ss.spécialité	0,073	0,031	SG.point.4	-0,674	0,021
Qrmax	0,344	*				s.T	-0,572	0,016
poids	0,331	*				DH.point.4	-0,806	0,004
ERO2max	0,314	*						
IMC	0,294	*						
SL.rank	0,277	*						
VMA	0,211	0,004						
Las2	0,202	0,006						
FCMR	0,154	0,036						
DH.rank	-0,197	0,007						
Vcs2	-0,305	*						
ERC02s2_ERC02max	-0,451	*						
VO2s2_VO2max	-0,465	*						
ERO2s2_ERO2max	-0,668	*						
Fcs2_FCMR	-0,695	*						
Vcs2_VMA	-0,695	*						
VEs2_VEmax	-0,802	*						

$\rho$  et  $r^2$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 41 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VO2max	0,788	*	ss.specialite	0,089	0,010	DH.point.1	1,020	0,012
VCO2max	0,761	*	DH.point	0,067	0,013	DH	0,858	0,031
poids	0,724	*				SG	-0,869	0,042
IMC	0,583	*				SG.point.4	-0,598	0,030
VEmax	0,519	*				DH.point.4	-0,581	0,029
VEs2_VEmax	0,418	*						
ERCO2s2_ERCO2max	0,392	*						
Vcs2	0,388	*						
ERO2s2_ERO2max	0,385	*						
Vcs2_VMA	0,382	*						
age	0,266	*						
taille	0,250	0,001						
Fcs2_FCMR	0,246	0,001						
VO2s2_VO2max	0,214	0,003						
SL.rank	0,168	0,021						
ERO2max	-0,337	*						
ERCO2max	-0,394	*						
FCMR	-0,425	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 42 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
ERO2max	0,617	*	ss.specialite	0,104	0,003	V	3,811	0,002
ERCO2max	0,534	*				SL.point.3	-0,463	0,044
VO2s2_VO2max	0,480	*				s.T	-0,407	0,023
poids	0,460	*				DH.point.4	-0,497	0,021
IMC	0,383	*				SL	-0,755	0,019
Vcs2_VMA	0,267	*				GS	-1,308	<0,001
Fcs2_FCMR	0,227	0,002						
VEmax	0,226	0,002						
age	0,195	0,008						
VEs2_VEmax	0,170	0,020						
taille	0,150	0,040						
VCO2max	-0,172	0,019						
DH.rank	-0,186	0,011						
FCMR	-0,198	0,007						
ERO2s2_ERO2max	-0,217	0,003						
VO2max	-0,231	0,001						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,343	*						
Vcs2	-0,388	*						
VMA	-0,669	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

## 2.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse en Composantes Principales :

Tableau 43 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

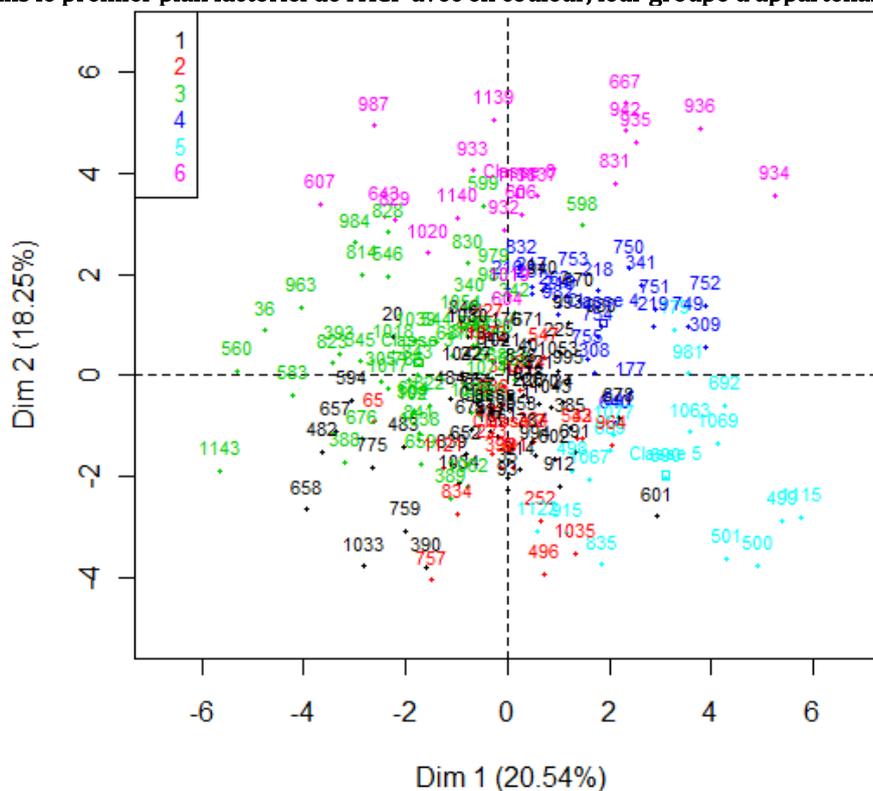
	1° groupe	2° groupe	3° groupe	4° groupe	5° groupe	6° groupe
Effectifs	56	23	49	22	17	20

Tableau 44 : Test du Chi-2 de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

	p	df
SG.point	<0,001	15
ss.specialite	0,001	30
specialite	0,002	10
DH.point	0,002	20
GS.point	0,006	15
SL.point	0,048	20

### 2.3.1. Graphiques :

Figure 99 : Distribution des skieuses (sous-population F-TR-Eq) dans le premier plan factoriel de l'ACP avec en couleur, leur groupe d'appartenance



## 2.3.2. Tableaux :

Tableau 45 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.3	39,437	50,000	37,968	0,041	2,041
ss.specialite=DH	12,766	10,714	25,134	0,004	-2,918

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
**Grp/Cat** : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
**Cat/Grp** : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
**Global** : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
**v.test** : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERO2max	7,126	34,310	31,717	2,577	3,245	<0,001
ERCO2max	6,484	32,784	30,464	2,959	3,190	<0,001
VO2s2_VO2max	2,395	85,750	83,984	5,517	6,576	0,017
Vcs2	2,158	12,679	12,376	0,862	1,250	0,031
ERO2s2_ERO2max	-2,193	86,039	87,777	5,452	7,068	0,028
SL.rank	-2,453	490,019	745,412	692,287	928,336	0,014
ERCO2s2_ERCO2max	-2,459	95,311	97,002	5,185	6,133	0,014
VCO2max	-2,927	3,269	3,440	0,403	0,518	0,003
Las2	-3,107	3,938	4,207	0,565	0,771	0,002
IMC	-3,401	22,621	23,579	2,203	2,511	0,001
poids	-3,420	62,750	65,484	6,214	7,128	0,001
VO2max	-3,583	3,111	3,298	0,289	0,466	<0,001

Tableau 46 : Description du 2<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SG.point=SG.point.4	19,737	65,217	40,642	0,020	2,318
SL.point=SL.point.3	19,444	60,870	38,503	0,036	2,101
GS.point=GS.point.3	3,947	13,043	40,642	0,005	-2,786

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
**Grp/Cat** : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
**Cat/Grp** : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
**Global** : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
**v.test** : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERCO2s2_ERCO2max	3,989	101,792	97,002	5,041	6,133	<0,001
FCMR	3,253	201,217	195,824	8,787	8,469	0,001
ERO2s2_ERO2max	2,321	90,989	87,777	5,779	7,068	0,020
GS.rank	2,134	327,609	241,460	282,565	206,145	0,033
Fcs2_FCMR	-2,406	91,835	93,030	1,431	2,539	0,016
age	-2,486	19,939	21,634	2,843	3,481	0,013
ERO2max	-2,591	30,071	31,717	1,998	3,245	0,010
Vcs2	-2,658	11,726	12,376	0,796	1,250	0,008
VEs2_VEmax	-2,729	69,289	73,682	5,435	8,223	0,006
VEmax	-3,323	94,493	104,132	7,986	14,814	0,001
IMC	-3,672	21,774	23,579	1,656	2,511	<0,001
poids	-3,910	60,026	65,484	4,947	7,128	<0,001
Vcs2_VMA	-4,699	73,490	78,579	3,485	5,532	<0,001
VO2s2_VO2max	-6,032	76,217	83,984	5,004	6,576	<0,001

**Tableau 47 : Description du 3<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ss.specialite=SG	6,250	4,082	17,112	0,005	-2,827	VEs2_VEmax	5,955	79,708	73,682	7,072	8,223	<0,001
						Vcs2_VMA	4,855	81,884	78,579	4,425	5,532	<0,001
						Fcs2_FCMR	4,548	94,451	93,030	1,808	2,539	<0,001
						ERO2s2_ERO2max	4,379	91,585	87,777	5,602	7,068	<0,001
						VO2s2_VO2max	3,828	87,082	83,984	5,903	6,576	<0,001
						ERCO2s2_ERCO2max	2,374	98,794	97,002	3,932	6,133	0,018
						VO2max	-2,210	3,171	3,298	0,386	0,466	0,027
						Qrmax	-3,079	1,015	1,044	0,067	0,077	0,002
						ERCO2max	-3,127	29,237	30,464	2,397	3,190	0,002
						VCO2max	-3,601	3,210	3,440	0,370	0,518	<0,001
						Lamax	-3,948	8,363	9,399	1,551	2,132	<0,001
						ERO2max	-5,351	29,581	31,717	1,977	3,245	<0,001
						VEmax	-5,797	93,564	104,132	11,298	14,814	<0,001
						VMA	-5,839	14,816	15,768	0,907	1,325	<0,001

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
 Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
 Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
 Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
 v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 48 : Description du 4<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.1	45,000	40,909	10,695	<0,001	3,841	IMC	6,839	27,027	23,579	1,612	2,511	<0,001
specialite=s.V	21,795	77,273	41,711	0,001	3,376	poids	5,295	73,064	65,484	4,208	7,128	<0,001
DH.point=DH.point.1	38,889	31,818	9,626	0,003	2,940	Las2	4,976	4,977	4,207	1,030	0,771	<0,001
DH.point=DH.point.2	33,333	27,273	9,626	0,019	2,339	age	4,438	24,736	21,634	4,590	3,481	<0,001
SL.point=SL.point.4	19,178	63,636	39,037	0,024	2,260	Lamax	3,784	11,018	9,399	1,734	2,132	<0,001
GS.point=GS.point.2	30,000	27,273	10,695	0,034	2,117	VEmax	3,716	115,185	104,132	8,375	14,814	<0,001
ss.specialite=DH	21,277	45,455	25,134	0,045	2,002	SL.rank	3,442	1387,136	745,412	1156,471	928,336	0,001
SG.point=SG.point.4	5,263	18,182	40,642	0,034	-2,115	VCO2max	2,958	3,747	3,440	0,289	0,518	0,003
specialite=s.T	4,301	18,182	49,733	0,003	-3,001	VO2max	2,114	3,496	3,298	0,286	0,466	0,035
						ERO2max	2,051	33,053	31,717	2,374	3,245	0,040
						Qrmax	1,981	1,075	1,044	0,072	0,077	0,048
						Fcs2_FCMR	-2,004	92,009	93,030	2,205	2,539	0,045
						taille	-2,085	164,455	166,714	3,441	5,397	0,037
						DH.rank	-2,381	120,364	253,313	205,100	278,061	0,017
						VMA	-3,124	14,936	15,768	1,062	1,325	0,002
						Vcs2	-3,837	11,414	12,376	0,925	1,250	<0,001

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
 Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
 Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
 Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
 v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 49 : Description du 5° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.4	16,438	70,588	39,037	0,012	2,508
specialite=s.T	3,226	17,647	49,733	0,010	-2,585

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Lamax	4,365	11,556	9,399	3,170	2,132	<0,001
FCMR	3,834	203,353	195,824	8,196	8,469	<0,001
VO2s2_VO2max	-2,690	79,882	83,984	5,200	6,576	0,007
Vcs2	-2,795	11,567	12,376	0,587	1,250	0,005
Fcs2_FCMR	-5,538	89,771	93,030	2,874	2,539	<0,001
Vcs2_VMA	-5,616	71,376	78,579	3,842	5,532	<0,001
ERCO2s2_ERCO2max	-6,653	87,541	97,002	4,908	6,133	<0,001
VEs2_VEmax	-6,839	60,642	73,682	5,747	8,223	<0,001
ERO2s2_ERO2max	-7,269	75,864	87,777	4,163	7,068	<0,001

**Tableau 50 : Description du 6° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population F-TR-Eq**

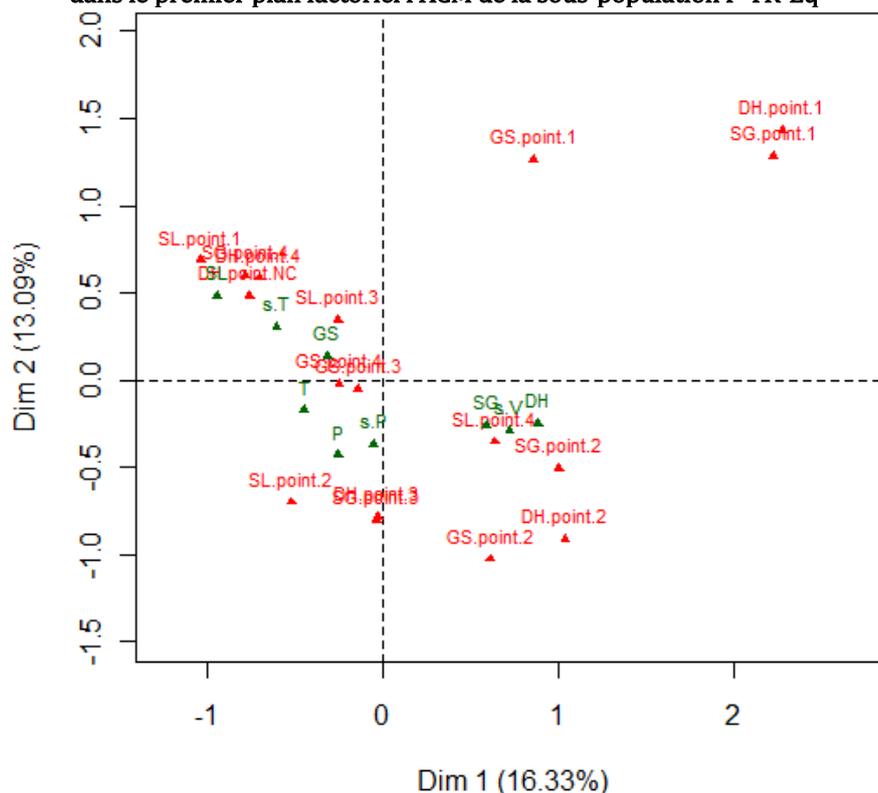
catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
ss.specialite=GS	22,449	55,000	26,203	0,007	2,688
specialite=s.T	16,129	75,000	49,733	0,029	2,181
ss.specialite=SG	0,000	0,000	17,112	0,037	-2,082

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Vcs2	8,593	14,652	12,376	1,043	1,250	<0,001
VO2max	8,443	4,132	3,298	0,531	0,466	<0,001
VCO2max	8,086	4,327	3,440	0,492	0,518	<0,001
VMA	7,575	17,895	15,768	1,162	1,325	<0,001
VEmax	4,915	119,559	104,132	19,716	14,814	<0,001
poids	3,281	70,440	65,484	6,036	7,128	0,001
Vcs2_VMA	2,889	81,966	78,579	4,482	5,532	0,004
ERCO2s2_ERCO2max	2,743	100,566	97,002	5,121	6,133	0,006
ERO2s2_ERO2max	2,576	91,635	87,777	5,608	7,068	0,010
VEs2_VEmax	2,538	78,105	73,682	7,068	8,223	0,011
IMC	2,351	24,830	23,579	1,316	2,511	0,019
FCMR	-3,190	190,100	195,824	5,620	8,469	0,001
ERO2max	-4,090	28,905	31,717	2,852	3,245	<0,001
ERCO2max	-4,377	27,506	30,464	2,205	3,190	<0,001



Figure 102 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population F-TR-Eq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 52 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,633	*	SG.point	0,844	*	SG.point.1	1,181	*
age	0,545	*	DH.point	0,813	*	DH.point.1	1,393	*
IMC	0,352	*	ss.specialite	0,478	*	DH	0,702	*
poids	0,330	*	specialite	0,399	*	SL.point.4	0,677	*
VO2max	0,179	0,009	SL.point	0,320	*	DH.point.2	0,492	*
VEmax	0,162	0,019	GS.point	0,146	*	s.V	0,510	*
VCO2max	0,156	0,023				SG.point.2	0,292	*
Vcs2_VMA	-0,138	0,046				SG	0,489	*
VEs2_VEmax	-0,143	0,038				GS.point.1	0,428	*
GS.rank	-0,182	0,008				GS.point.2	0,248	0,040
FCMR	-0,224	0,001				GS	-0,170	0,024
SG.rank	-0,471	*				T	-0,269	0,018
DH.rank	-0,530	*				GS.point.3	-0,299	*
						GS.point.4	-0,377	*
						SL.point.1	-0,541	*
						DH.point.3	-0,286	*
						s.T	-0,456	*
						SL	-0,627	*
						DH.point.NC	-0,819	*
						SG.point.3	-0,465	*
						DH.point.4	-0,780	*
						SG.point.4	-1,009	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 53 : Description de la 2<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
DH.rank	0,368	*	DH.point	0,648	*	DH.point.1	0,831	*
SG.rank	0,269	*	SG.point	0,589	*	SG.point.1	0,743	*
ERCO2s2_ERCO2max	0,218	0,001	GS.point	0,273	*	GS.point.1	0,798	*
ERO2s2_ERO2max	0,217	0,002	SL.point	0,192	*	DH.point.4	0,277	*
age	0,170	0,014	specialite	0,092	*	SG.point.4	0,297	*
ERCO2max	-0,149	0,031	ss.specialite	0,088	0,002	SL.point.1	0,452	*
ERO2max	-0,212	0,002				s.T	0,275	*
VEmax	-0,213	0,002				SL	0,370	*
						SL.point.3	0,228	0,001
						DH.point.NC	0,209	0,022
						SL.point.4	-0,227	0,005
						SL.point.2	-0,453	*
						SG.point.2	-0,422	*
						GS.point.2	-0,697	*
						DH.point.2	-0,701	*
						DH.point.3	-0,615	*
						SG.point.3	-0,618	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 54 : Description de la 3<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,212	0,002	GS.point	0,663	*	SL.point.2	0,824	*
DH.rank	0,205	0,003	SL.point	0,524	*	GS.point.3	0,247	*
VO2s2_VO2max	0,177	0,010	DH.point	0,173	*	GS.point.2	0,359	*
VEs2_VEmax	0,166	0,016	ss.specialite	0,119	*	DH.point.4	0,333	*
SL.rank	-0,320	*	specialite	0,086	*	GS	0,264	0,001
GS.rank	-0,624	*				s.T	0,153	0,013
						GS.point.1	0,121	0,043
						DH.point.1	0,212	0,047
						s.V	-0,208	0,005
						SG	-0,354	*
						SL.point.1	-0,354	*
						DH.point.NC	-0,768	*
						SL.point.4	-0,554	*
						GS.point.4	-0,728	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 55 : Description de la 4<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SG.rank	0,249	*	DH.point	0,547	*	SG.point.2	0,730	*
age	0,180	0,009	SG.point	0,430	*	DH.point.NC	0,721	*
taille	0,140	0,042	GS.point	0,239	*	DH.point.2	0,554	*
						GS.point.2	0,609	*
						SL	0,181	0,032
						SL.point.3	-0,147	0,023
						SG.point.1	-0,248	0,001
						DH.point.4	-0,236	*
						DH.point.1	-0,394	*
						GS.point.1	-0,578	*
						SG.point.3	-0,482	*
						DH.point.3	-0,645	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

### 3.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse des Correspondances Multiples :

Tableau 56 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

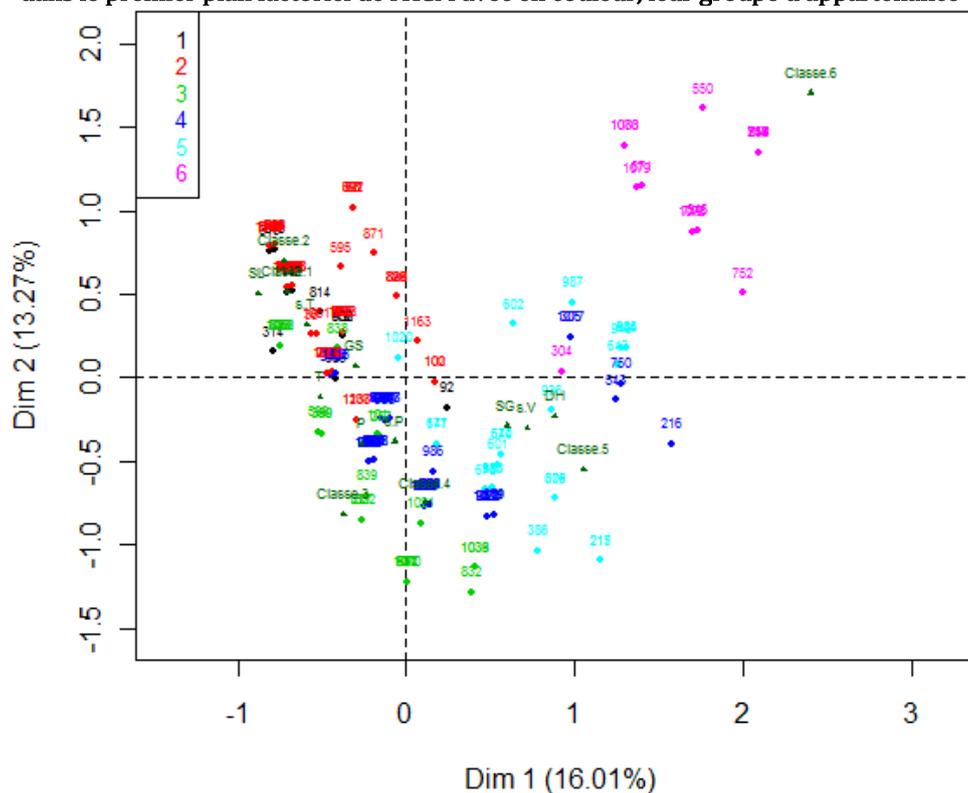
	1° groupe	2° groupe	3° groupe	4° groupe	5° groupe	6° groupe
Effectifs	11	71	24	68	21	16

Tableau 57 : Test du Chi-2 de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

	p	df
SG.point	<0,001	20
DH.point	<0,001	20
SL.point	<0,001	20
specialite	<0,001	10
ss.specialite	<0,001	30
GS.point	<0,001	15

#### 3.3.1. Graphiques :

Figure 103 : Distribution des skieuses (sous-population F-TR-Eq) dans le premier plan factoriel de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.3.2. Tableaux :

Tableau 58 : Description du 1° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.NC	100,000	100,000	5,213	<0,001	8,718
SG.point=SG.point.NC	100,000	18,182	0,948	0,005	2,809
specialite=s.T	9,524	90,909	49,763	0,009	2,600
DH.point=DH.point.4	0,000	0,000	37,915	0,009	-2,614
DH.point=DH.point.3	0,000	0,000	37,915	0,009	-2,614
specialite=s.V	0,000	0,000	41,706	0,004	-2,852

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.rank	6,970	972,778	245,411	780,683	354,640	<0,001
GS.rank	2,508	411,000	254,379	323,444	212,240	0,012
poids	-1,963	61,200	65,291	4,416	7,081	0,050
IMC	-2,932	21,373	23,511	1,674	2,479	0,003

Légende : se référer au Tableau 59

Tableau 59 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SG.point=SG.point.4	70,238	83,099	39,810	<0,001	9,201
DH.point=DH.point.4	68,750	77,465	37,915	<0,001	8,376
specialite=s.T	57,143	84,507	49,763	<0,001	7,278
SL.point=SL.point.3	54,878	63,380	38,863	<0,001	5,043
SL.point=SL.point.1	85,714	25,352	9,953	<0,001	4,974
ss.specialite=SL	67,442	40,845	20,379	<0,001	4,957
GS.point=GS.point.1	59,091	18,310	10,427	0,018	2,371
ss.specialite=GS	46,429	36,620	26,540	0,030	2,173
DH.point=DH.point.NC	0,000	0,000	5,213	0,019	-2,343
SL.point=SL.point.2	5,000	1,408	9,479	0,004	-2,859
ss.specialite=SG	11,765	5,634	16,114	0,004	-2,914
DH.point=DH.point.3	20,000	22,535	37,915	0,001	-3,187
DH.point=DH.point.2	0,000	0,000	9,479	<0,001	-3,588
DH.point=DH.point.1	0,000	0,000	9,479	<0,001	-3,588
GS.point=GS.point.2	0,000	0,000	9,953	<0,001	-3,707
SG.point=SG.point.2	0,000	0,000	9,953	<0,001	-3,707
SG.point=SG.point.1	0,000	0,000	9,953	<0,001	-3,707
SG.point=SG.point.3	14,458	16,901	39,336	<0,001	-4,755
SL.point=SL.point.4	8,537	9,859	38,863	<0,001	-6,358
ss.specialite=DH	0,000	0,000	24,645	<0,001	-6,712
specialite=s.V	4,545	5,634	41,706	<0,001	-8,008

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
DH.rank	7,131	427,662	243,375	319,424	266,685	<0,001
SG.rank	3,851	377,746	245,411	385,689	354,640	<0,001
ERO2s2_ERO2max	3,250	89,882	87,638	7,293	7,123	0,001
VEs2_VEmax	2,441	75,544	73,529	8,378	8,520	0,015
ERCO2s2_ERCO2max	2,358	98,353	96,960	6,059	6,099	0,018
Vcs2_VMA	2,093	79,665	78,511	5,972	5,693	0,036
Fcs2_FCMR	2,061	93,523	92,995	2,331	2,640	0,039
Lamax	-2,004	9,026	9,435	1,907	2,107	0,045
IMC	-2,469	22,918	23,511	2,316	2,479	0,014
poids	-2,632	63,485	65,291	6,863	7,081	0,008
VEmax	-2,926	99,762	103,919	13,232	14,664	0,003
age	-3,023	20,489	21,524	3,062	3,533	0,003
SL.rank	-5,576	252,845	760,805	308,574	940,077	<0,001

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Tableau 60 : Description du 3<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.2	90,000	75,000	9,479	<0,001	8,841
GS.point=GS.point.2	57,143	50,000	9,953	<0,001	5,368
specialite=s.T	17,143	75,000	49,763	0,015	2,442
SG.point=SG.point.3	18,072	62,500	39,336	0,026	2,222
ss.specialite=GS	19,643	45,833	26,540	0,050	1,964
SL.point=SL.point.3	4,878	16,667	38,863	0,026	-2,226
ss.specialite=SG	0,000	0,000	16,114	0,022	-2,283
ss.specialite=DH	1,923	4,167	24,645	0,014	-2,449
SL.point=SL.point.4	2,439	8,333	38,863	0,001	-3,271
specialite=s.V	1,136	4,167	41,706	<0,001	-4,126
GS.point=GS.point.4	0,000	0,000	39,810	<0,001	-4,616

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
VO2s2_VO2max	2,471	87,167	83,919	6,394	6,821	0,013
SL.rank	-2,865	242,042	760,805	433,618	940,077	0,004
GS.rank	-3,479	112,167	254,379	53,557	212,240	0,001

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population

Tableau 61 : Description du 4<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.3	66,265	80,882	39,336	<0,001	8,496	GS.rank	3,216	322,676	254,379	216,583	212,240	0,001
specialite=s.V	60,227	77,941	41,706	<0,001	7,305	SL.rank	2,841	1028,030	760,805	873,214	940,077	0,005
SL.point=SL.point.4	54,878	66,176	38,863	<0,001	5,451	VEmax	2,243	107,209	103,919	15,304	14,664	0,025
DH.point=DH.point.3	55,000	64,706	37,915	<0,001	5,359	Fcs2_FCMR	-2,426	92,354	92,995	2,922	2,640	0,015
ss.specialite=DH	55,769	42,647	24,645	<0,001	3,928	VEs2_VEmax	-2,564	71,343	73,529	7,691	8,520	0,010
GS.point=GS.point.4	46,429	57,353	39,810	0,001	3,425	ERO2s2_ERO2max	-2,647	85,751	87,638	6,349	7,123	0,008
ss.specialite=SG	58,824	29,412	16,114	0,001	3,325	ERCO2s2_ERCO2max	-2,887	95,198	96,960	5,667	6,099	0,004
DH.point=DH.point.2	65,000	19,118	9,479	0,003	2,942	age	-3,457	20,301	21,524	2,785	3,533	0,001
ss.specialite=V	100,000	5,882	1,896	0,020	2,321	SG.rank	-3,521	120,441	245,411	59,298	354,640	<0,001
GS.point=GS.point.2	9,524	2,941	9,953	0,025	-2,234	DH.rank	-3,976	137,279	243,375	128,698	266,685	<0,001
DH.point=DH.point.NC	0,000	0,000	5,213	0,024	-2,252							
ss.specialite=GS	17,857	14,706	26,540	0,010	-2,590							
SL.point=SL.point.2	0,000	0,000	9,479	0,001	-3,467							
DH.point=DH.point.1	0,000	0,000	9,479	0,001	-3,467							
SL.point=SL.point.1	0,000	0,000	9,953	<0,001	-3,584							
SG.point=SG.point.2	0,000	0,000	9,953	<0,001	-3,584							
GS.point=GS.point.1	0,000	0,000	10,427	<0,001	-3,698							
DH.point=DH.point.4	13,750	16,176	37,915	<0,001	-4,493							
ss.specialite=SL	2,326	1,471	20,379	<0,001	-5,137							
SG.point=SG.point.4	9,524	11,765	39,810	<0,001	-5,877							
specialite=s.T	11,429	17,647	49,763	<0,001	-6,468							

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population

Tableau 62 : Description du 5<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.2	100,000	100,000	9,953	<0,001	11,193	age	3,863	24,357	21,524	2,372	3,533	<0,001
ss.specialite=DH	23,077	57,143	24,645	0,002	3,160	SL.rank	3,765	1495,450	760,805	1235,032	940,077	<0,001
specialite=s.V	17,045	71,429	41,706	0,008	2,668	poids	2,265	68,619	65,291	6,109	7,081	0,024
DH.point=DH.point.2	30,000	28,571	9,479	0,015	2,441	VMA	2,135	16,437	15,827	1,706	1,377	0,033
SL.point=SL.point.4	15,854	61,905	38,863	0,043	2,024	Las2	2,086	4,541	4,207	0,900	0,771	0,037
DH.point=DH.point.4	3,750	14,286	37,915	0,027	-2,208	taille	2,043	169,000	166,704	5,203	5,414	0,041
specialite=s.T	4,762	23,810	49,763	0,021	-2,311	FCMR	-2,289	192,048	196,071	7,364	8,467	0,022
ss.specialite=SL	0,000	0,000	20,379	0,013	-2,493	DH.rank	-2,497	105,143	243,375	150,066	266,685	0,013
GS.point=GS.point.4	2,381	9,524	39,810	0,003	-2,940	SG.rank	-2,682	48,000	245,411	16,648	354,640	0,007
SG.point=SG.point.3	0,000	0,000	39,336	<0,001	-4,195							
SG.point=SG.point.4	0,000	0,000	39,810	<0,001	-4,236							

Légendes : cf. Tableau 63

Tableau 63 : Description du 6<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population F-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.1	76,190	100,000	9,953	<0,001	9,090	SL.rank	6,829	2307,385	760,805	994,135	940,077	<0,001
DH.point=DH.point.1	75,000	93,750	9,479	<0,001	8,532	age	6,573	27,119	21,524	3,472	3,533	<0,001
specialite=s.V	17,045	93,750	41,706	<0,001	4,269	IMC	3,235	25,444	23,511	2,690	2,479	0,001
GS.point=GS.point.1	31,818	43,750	10,427	0,001	3,415	poids	2,856	70,163	65,291	4,386	7,081	0,004
ss.specialite=DH	19,231	62,500	24,645	0,002	3,117	FCMR	-2,456	191,063	196,071	4,235	8,467	0,014
SL.point=SL.point.NC	50,000	18,750	2,844	0,013	2,496	GS.rank	-2,510	126,063	254,379	140,246	212,240	0,012
SL.point=SL.point.4	13,415	68,750	38,863	0,024	2,257	SG.rank	-2,742	11,188	245,411	9,098	354,640	0,006
ss.specialite=SL	0,000	0,000	20,379	0,045	-2,007	DH.rank	-3,608	11,563	243,375	10,271	266,685	<0,001
SL.point=SL.point.3	2,439	12,500	38,863	0,038	-2,075							
ss.specialite=GS	0,000	0,000	26,540	0,012	-2,525							
DH.point=DH.point.3	1,250	6,250	37,915	0,008	-2,648							
DH.point=DH.point.4	0,000	0,000	37,915	0,001	-3,401							
SG.point=SG.point.3	0,000	0,000	39,336	<0,001	-3,507							
SG.point=SG.point.4	0,000	0,000	39,810	<0,001	-3,542							
specialite=s.T	0,000	0,000	49,763	<0,001	-4,289							

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
 Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
 Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
 Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
 v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population

## Annexe 4.

# RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES FEMMES, HORS EQUIPE, SUR TAPIS ROULANT

La sous-population F-TR-HEq compte 63 individus.

## 1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :

Tableau 64 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la sous-population F-TR-HEq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤51,1	≤45,2	≤42,2	≤47,6
Performant	]51,1 ; 64,1]	]45,2 ; 54,4]	]42,2 ; 46,2]	]47,6 ; 53,2]
Peu performant	]64,1 ; 97,6]	]54,4 ; 67,2]	]46,2 ; 65,2]	]53,2 ; 72,9]
Très peu performants	]97,6 ; 207]	]67,2 ; 176]	]65,2 ; 120]	]72,9 ; 161]

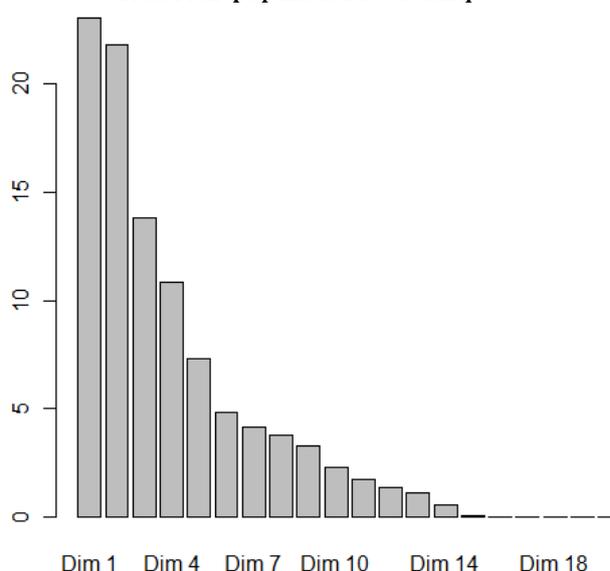
## 2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

### 2.1. Inertie des dimensions

Tableau 65 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq

Dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	4,61	23,03	23,03
dim 2	4,36	21,82	44,86
dim 3	2,77	13,84	58,69
dim 4	2,17	10,86	69,55
dim 5	1,46	7,3	76,85
dim 6	0,96	4,82	81,67
dim 7	0,83	4,17	85,85
dim 8	0,76	3,79	89,63
dim 9	0,66	3,28	92,91
dim 10	0,46	2,28	95,19
dim 11	0,35	1,74	96,93
dim 12	0,28	1,38	98,31
dim 13	0,22	1,09	99,39
dim 14	0,11	0,55	99,94
dim 15	0,01	0,03	99,97
dim 16	0	0,01	99,98
dim 17	0	0,01	99,99
dim 18	0	0,01	99,99
dim 19	0	0	100
dim 20	0	0	100

Figure 104 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq



## 2.2. Résultats de l'ACP :

### 2.2.1. Graphiques :

Figure 105 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq

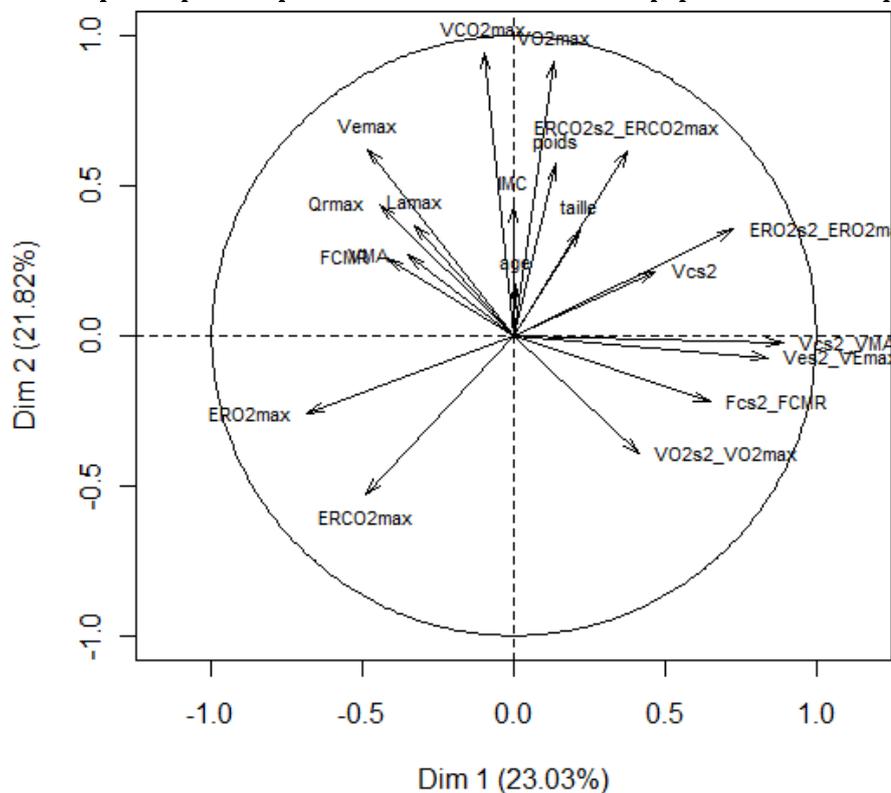


Figure 106 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq

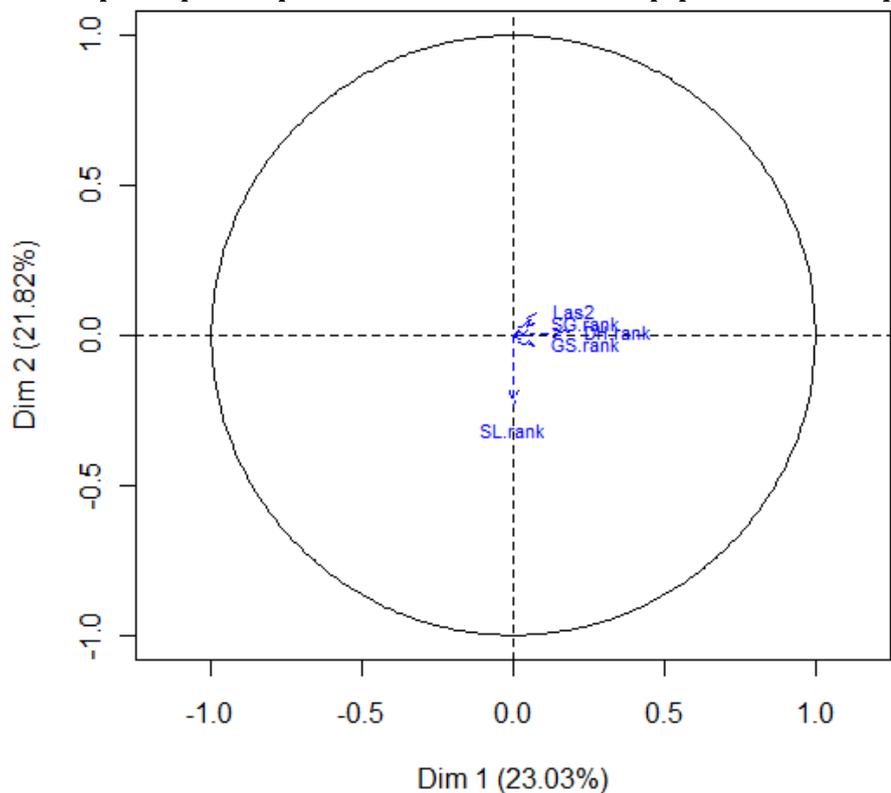
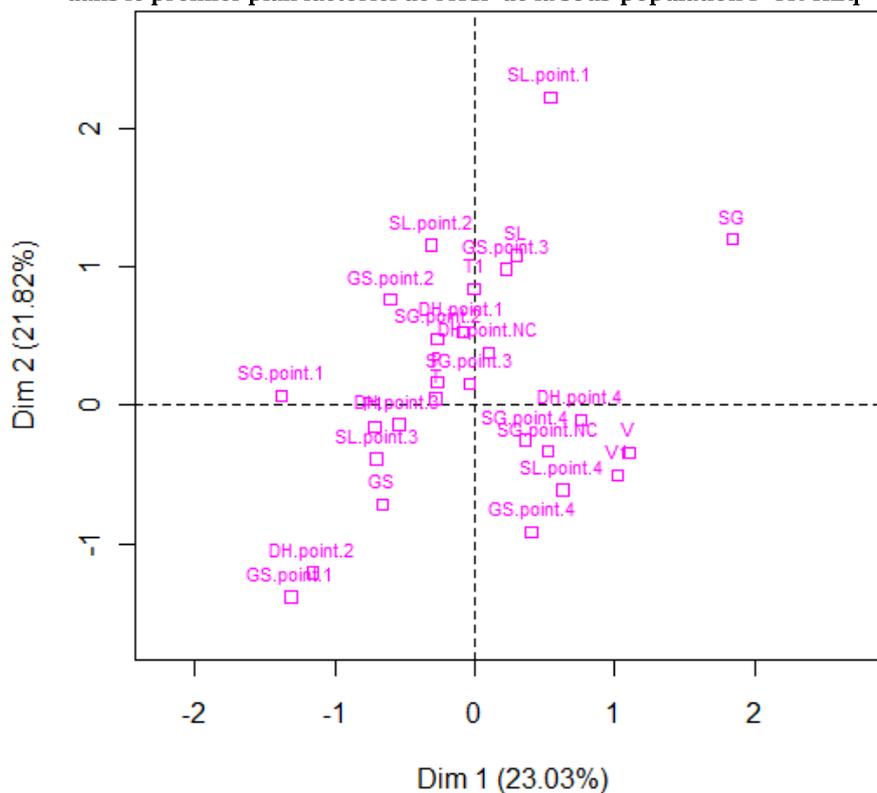


Figure 107 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq



### 2.2.2. Tableaux :

Tableau 66 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Vcs2_VMA	0,89	*	--	--	--	V	0,92	0,04
Ves2_VEmax	0,84	*						
ERO2s2_ERO2max	0,73	*						
Fcs2_FCMR	0,65	*						
Vcs2	0,47	*						
VO2s2_VO2max	0,41	0,002						
ERCO2s2_ERCO2max	0,38	0,005						
Lamax	-0,33	0,014						
VMA	-0,35	0,008						
FCMR	-0,42	0,001						
Qrmax	-0,44	0,001						
VEmax	-0,48	*						
ERCO2max	-0,49	*						
ERO2max	-0,68	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 67 : Description de la 2<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VCO2max	0,95	*	GS.point	0,23	0,004	GS.point.3	1,12	0,009
VO2max	0,92	*	SL.point	0,22	0,005	SL.point.1	1,63	0,009
VEmax	0,62	*				GS.point.1	-1,24	0,041
ERCO2s2_ERCO2max	0,62	*				SL.point.3	-0,98	0,026
poids	0,57	*				SL.point.4	-1,21	0,018
Qrmax	0,44	0,001						
IMC	0,43	0,001						
Lamax	0,37	0,006						
ERO2s2_ERO2max	0,35	0,008						
taille	0,35	0,008						
VMA	0,27	0,048						
VO2s2_VO2max	-0,39	0,003						
ERCO2max	-0,53	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 68 : Description de la 3<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
poids	0,72	*	SL.point	0,17	0,023	SL	1,29	0,013
IMC	0,63	*	specialite	0,11	0,047	T	0,74	0,014
ERO2max	0,54	*				SL.point.2	1,13	0,050
VO2s2_VO2max	0,49	*				GS.point.4	-0,90	0,034
ERCO2max	0,42	0,001				SL.point.4	-1,09	0,010
VEmax	0,41	0,002						
taille	0,31	0,022						
VEs2_VEmax	0,28	0,042						
Lamax	-0,32	0,016						
VMA	-0,44	0,001						
FCMR	-0,45	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 69 : Description de la 4<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Vcs2	0,75	0,00	--	--	--	--	--	--
VMA	0,69	0,00						
VO2s2_VO2max	0,47	0,00						
Qrmax	0,37	0,01						
Fcs2_FCMR	0,32	0,02						
FCMR	-0,28	0,04						
ERO2s2_ERO2max	-0,36	0,01						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,44	0,00						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

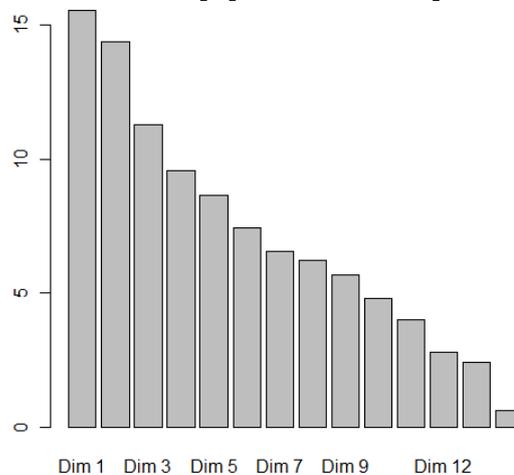
### 3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES :

#### 3.1. Inertie des dimensions

Tableau 70 : Inertie des dimensions de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq

Dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	0,54	15,55	15,55
dim 2	0,50	14,37	29,91
dim 3	0,40	11,30	41,21
dim 4	0,33	9,56	50,77
dim 5	0,30	8,67	59,44
dim 6	0,26	7,43	66,87
dim 7	0,23	6,58	73,45
dim 8	0,22	6,23	79,68
dim 9	0,20	5,68	85,35
dim 10	0,17	4,82	90,18
dim 11	0,14	3,99	94,17
dim 12	0,10	2,81	96,98
dim 13	0,08	2,41	99,39
dim 14	0,02	0,61	100,0

Figure 108 : Diagramme des inerties de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq



#### 3.2. Résultats de l'ACM

##### 3.2.1. Graphiques :

Figure 109 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq

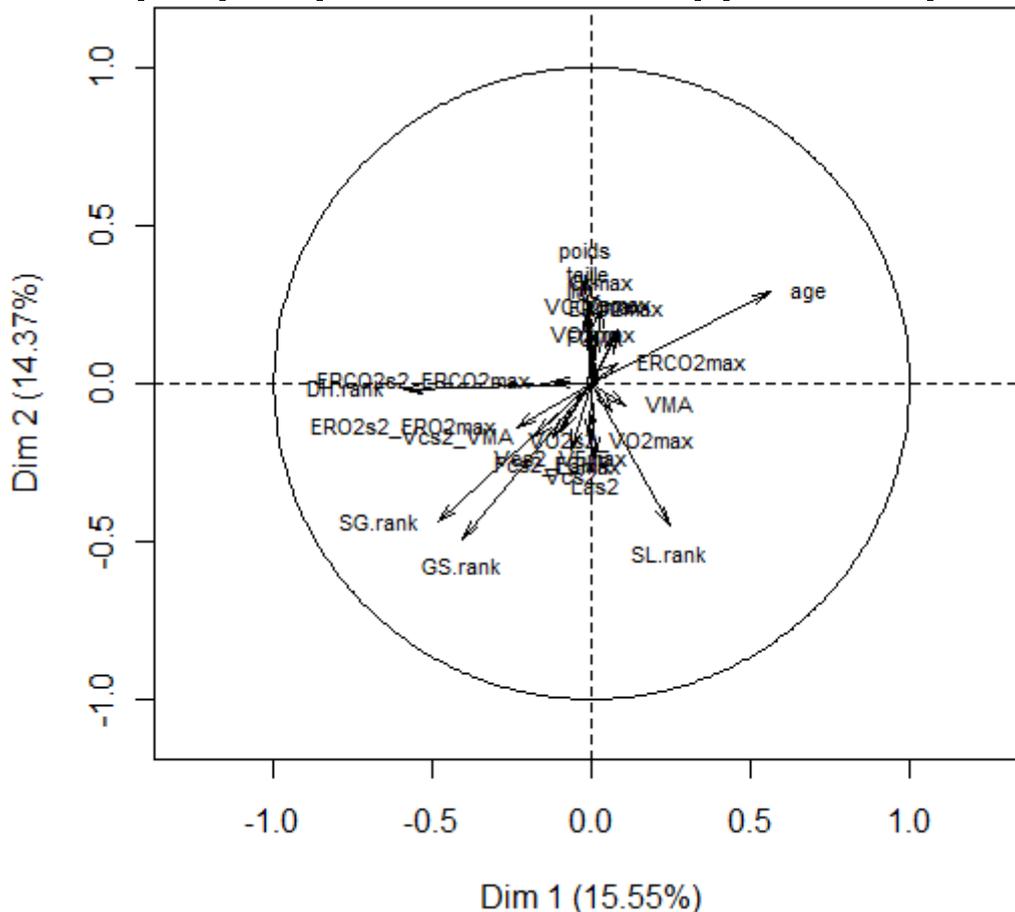
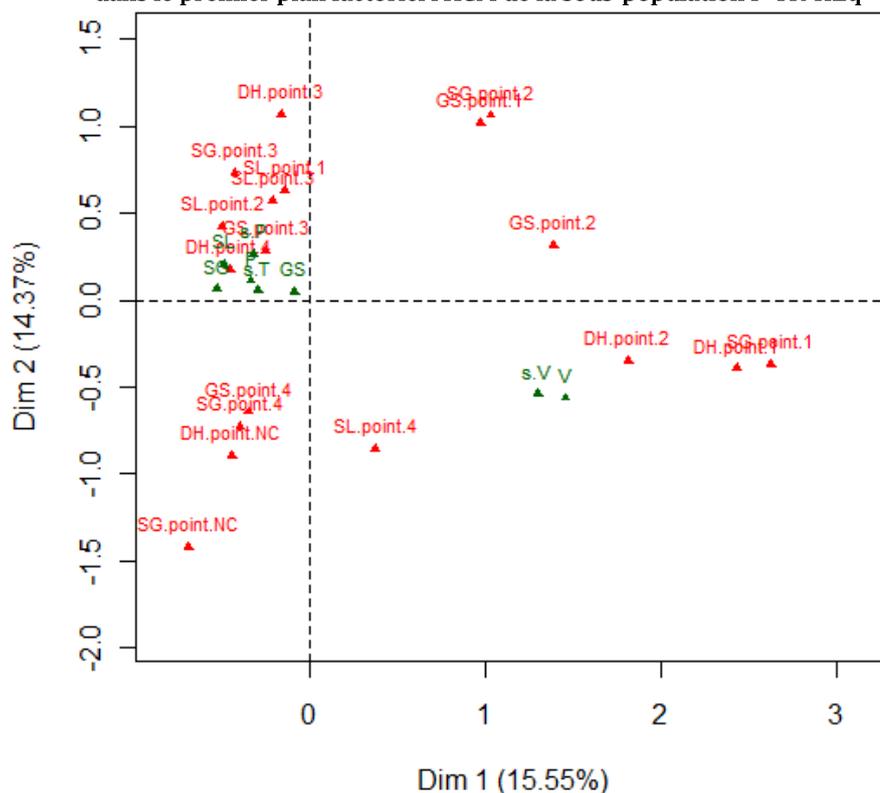


Figure 110 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population F-TR-HEq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 71 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,57	*	SG.point	0,91	*	SG.point.1	1,62	*
GS.rank	-0,41	0,001	DH.point	0,80	*	DH.point.1	1,32	*
SG.rank	-0,48	*	ss.specialite	0,47	*	s.V	0,79	*
DH.rank	-0,59	*	specialite	0,40	*	V	1,08	*
			GS.point	0,36	*	DH.point.2	0,87	*
						SG.point.2	0,44	**
						GS.point.2	0,70	0,001
						GS.point.1	0,39	0,041
						SL.point.4	0,36	0,042
						SL	-0,34	0,015
						s.P	-0,41	0,001
						s.T	-0,39	*
						GS.point.4	-0,58	*
						GS.point.3	-0,51	*
						DH.point.3	-0,59	*
						SG.point.NC	-0,83	*
						DH.point.NC	-0,80	*
						DH.point.4	-0,81	*
						SG.point.4	-0,61	*
						SG.point.3	-0,63	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 72 : Description de la 2° dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
poids	0,34	0,006	SG.point	0,62	*	DH.point.3	0,81	*
age	0,29	0,020	DH.point	0,59	*	SG.point.3	0,62	*
taille	0,26	0,040	SL.point	0,48	*	SG.point.2	0,86	*
SG.rank	-0,44	*	GS.point	0,32	*	GS.point.1	0,55	0,005
SL.rank	-0,45	*				SL.point.3	0,27	0,018
GS.rank	-0,49	*				s.V	-0,33	0,017
						SG.point.4	-0,41	*
						GS.point.4	-0,63	*
						SG.point.NC	-0,91	*
						DH.point.NC	-0,58	*
						SL.point.4	-0,74	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 73 : Description de la 3° dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
ERCO2s2_ERCO2max	0,38	0,002	SL.point	0,69	*	SL.point.1	0,94	*
DH.rank	0,35	0,005	SG.point	0,40	*	SG.point.2	0,86	*
VO2max	0,27	0,036	GS.point	0,34	*	GS.point.2	0,75	*
SG.rank	0,26	0,042	DH.point	0,16	0,038	SG.point.4	0,38	0,002
age	0,25	0,049				DH.point.4	0,42	0,006
						SL.point.4	-0,21	0,019
						SG.point.NC	-0,89	*
						GS.point.1	-0,69	*
						SL.point.3	-0,77	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 74 : Description de la 4° dimension de l'ACM de la sous-population F-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
DH.rank	-0,30	0,018	GS.point	0,42	*	SL.point.2	0,85	*
			SL.point	0,35	*	GS.point.1	0,63	*
			DH.point	0,30	*	GS.point.3	0,28	0,005
			SG.point	0,27	0,001	SG.point.4	0,33	0,009
						SG.point.2	0,45	0,019
						GS	0,29	0,034
						SG	-0,59	0,031
						GS.point.4	-0,25	0,025
						SL.point.3	-0,30	0,004
						SL.point.1	-0,47	0,003
						DH.point.4	-0,51	*
						GS.point.2	-0,65	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

## Annexe 5.

### RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES FEMMES, EN EQUIPE, SUR ERGOCYCLE

La sous-population F-V-Eq compte 74 individus.

#### **1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :**

**Tableau 75 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la population F-V-Eq.**

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤8,46	≤11,2	≤13,1	≤12,5
Performant	]8,46 ; 18,7]	]11,2 ; 21,3]	]13,1 ; 19,1]	]12,5 ; 17,5]
Peu performant	]18,7 ; 52,3]	]21,3 ; 45,3]	]19,1 ; 38,3]	]17,5 ; 42,7]
Très peu performants	]52,3 ; 518]	]45,3 ; 285]	]38,3 ; 65,2]	]42,7 ; 271]

#### **2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :**

##### **2.1. Inertie des dimensions :**

**Tableau 76 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population F-V-Eq**

Dimension	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	5,29	25,19	25,20
dim 2	4,26	20,31	45,50
dim 3	2,55	12,16	57,66
dim 4	1,97	9,39	67,05
dim 5	1,40	6,66	73,71
dim 6	1,37	6,53	80,24
dim 7	0,97	4,60	84,84
dim 8	0,83	3,94	88,78
dim 9	0,60	2,86	91,64
dim 10	0,47	2,22	93,86
dim 11	0,46	2,17	96,03
dim 12	0,31	1,47	97,50
dim 13	0,24	1,13	98,63
dim 14	0,15	0,74	99,36
dim 15	0,11	0,52	99,89
dim 16	0,01	0,06	99,94
dim 17	0,004	0,02	99,96
dim 18	0,004	0,02	99,98
dim 19	0,003	0,01	99,99
dim 20	0,001	0,01	100,00
dim 21	0,0007	0,00	100,00

**Figure 111 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population F-V-Eq**

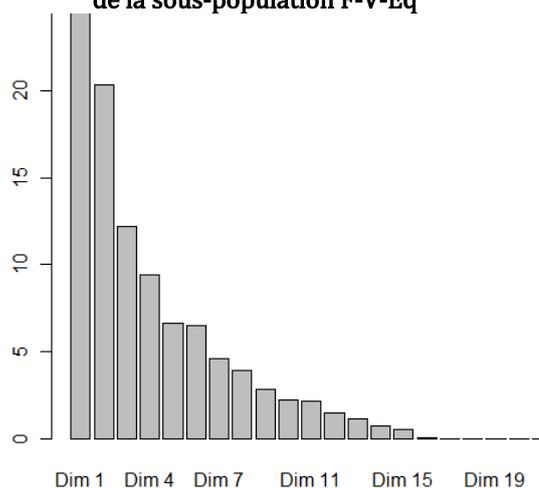
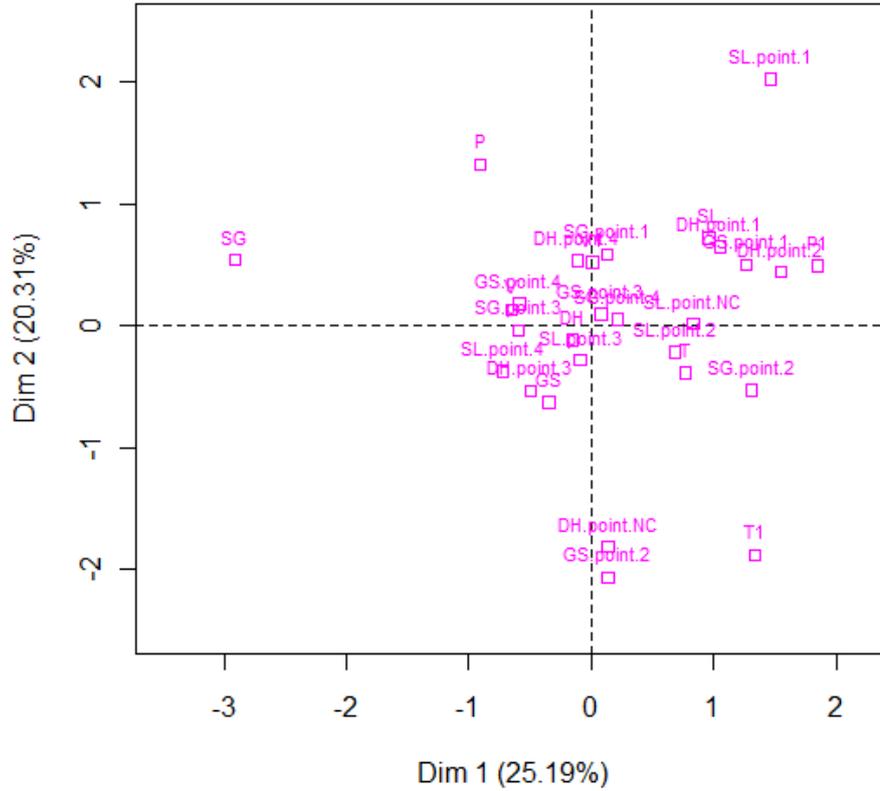




Figure 114 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population F-V-Eq



### 2.2.2. Tableaux :

Tableau 77 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population F-V-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VEs2_VEmax	0,89	*	ss.specialite	0,22	0,032	T	1,04	0,021
ERO2s2_ERO2max	0,79	*	specialite	0,10	0,042	SG	-3,01	0,001
Ps2_PMA	0,68	*						
ERCO2s2_ERCO2max	0,67	*						
VO2s2_VO2max	0,64	*						
Fcs2_FCMR	0,59	*						
Las2	0,27	0,036						
PMA	-0,40	0,001						
VO2max	-0,41	0,001						
VCO2max	-0,45	*						
ERO2max	-0,48	*						
ERCO2max	-0,49	*						
Lamax	-0,59	*						
VEmax	-0,82	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 78 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Ps2	0,83	*	--	--	--	SL.point.1	1,79	0,015
VCO2max	0,78	*				GS.point.2	-1,75	0,019
VO2max	0,78	*						
PMA	0,75	*						
taille	0,67	*						
poids	0,59	*						
age	0,32	0,013						
VEmax	0,31	0,014						
DH.rank	0,31	0,015						
Ps2_PMA	0,30	0,018						
VO2s2_VO2max	0,30	0,018						
VEs2_VEmax	0,26	0,045						
ERCO2max	-0,49	*						
ERO2max	-0,49	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 79 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
ERO2max	0,64	*	--	--	--	P	-1,01	0,029
VO2s2_VO2max	0,59	*						
Qrmax	0,57	*						
Fcs2_FCMR	0,55	*						
Ps2_PMA	0,41	0,001						
Ps2	0,36	0,005						
ERCO2max	0,32	0,013						
VEmax	0,26	0,045						
VO2max	-0,30	0,020						
ERO2s2_ERO2max	-0,44	*						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,51	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 80 : Description de la 4° dimension de l'ACP de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
IMC	0,74	*	DH.point	0,18	0,025	DH.point.2	1,55	0,004
poids	0,51	*				DH.point.3	-0,70	*
ERCO2max	0,50	*						
age	0,29	0,022						
taille	-0,26	0,047						
Lamax	-0,30	0,017						
Qrmax	-0,57	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

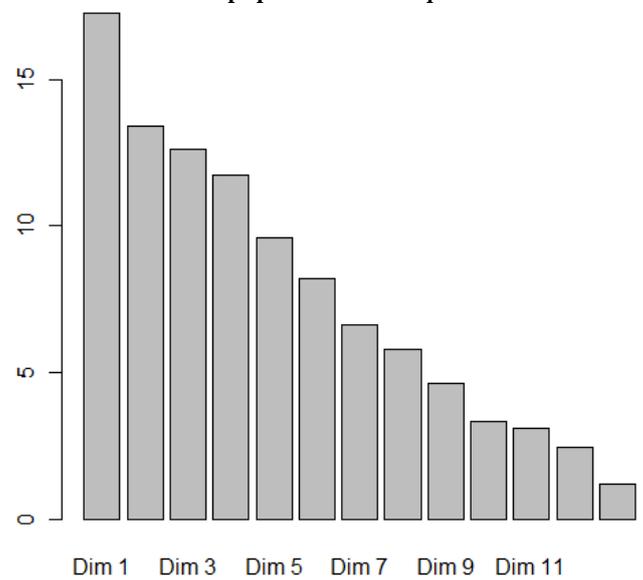
### 3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES :

#### 3.1. Inertie des dimensions :

Tableau 81 : Inertie des dimensions de l'ACM de la sous-population F-V-Eq

Dimension	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	0,6	17,4	17,4
dim 2	0,4	13,0	30,4
dim 3	0,4	12,4	42,8
dim 4	0,4	11,9	54,7
dim 5	0,3	9,6	64,3
dim 6	0,3	8,1	72,4
dim 7	0,2	6,7	79,1
dim 8	0,2	5,7	84,8
dim 9	0,2	4,7	89,5
dim 10	0,1	3,4	92,8
dim 11	0,1	3,2	96,0
dim 12	0,1	2,8	98,8
dim 13	0,0	1,2	100,0

Figure 115 : Diagramme des inerties de l'ACM de la sous-population F-V-Eq



#### 3.2. Résultats de l'ACM :

##### 3.2.1. Graphiques :

Figure 116 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACM de la sous-population F-V-Eq

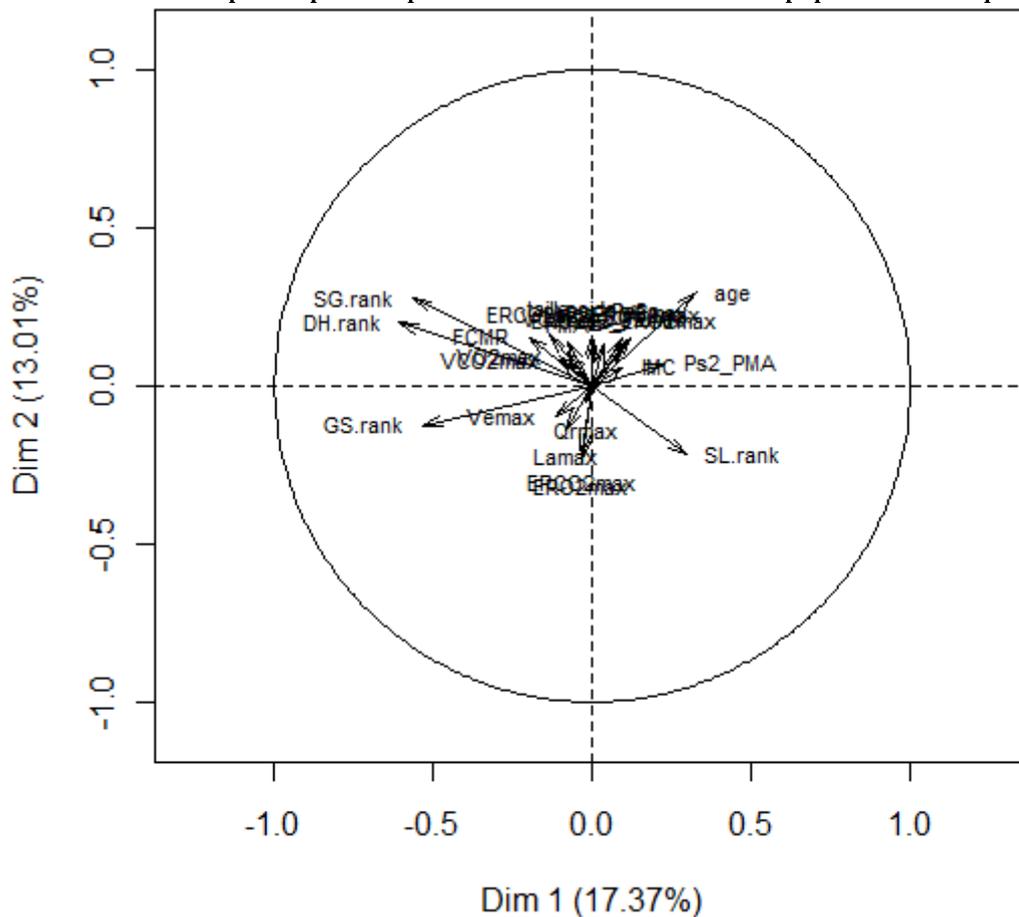
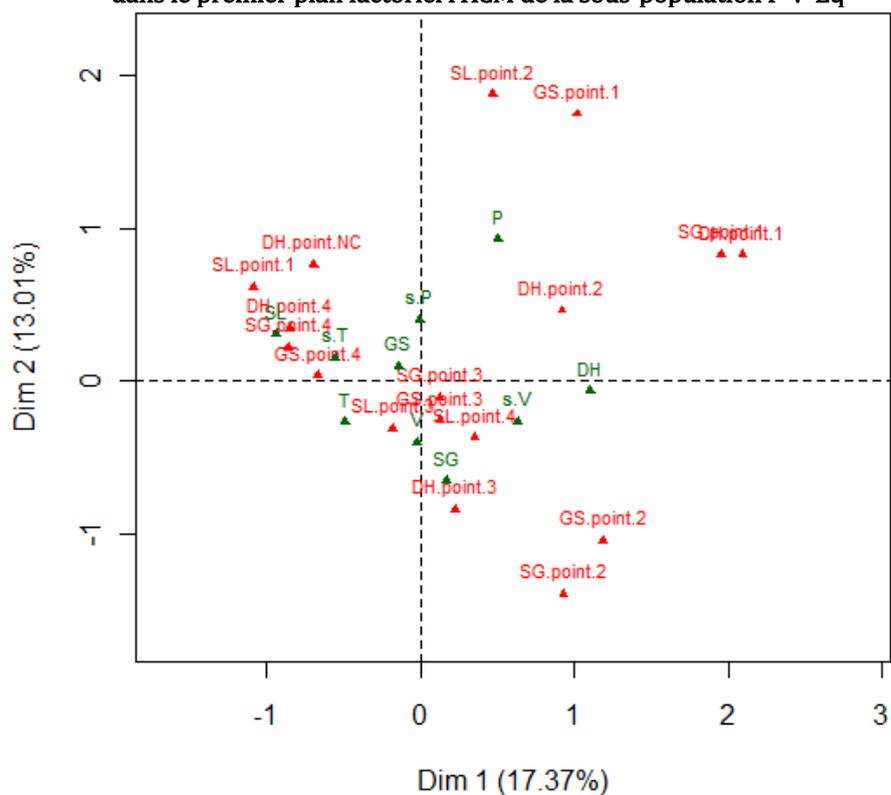


Figure 117 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population F-V-Eq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 82 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population F-V-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,33	0,005	DH.point	0,81	*	DH.point.1	1,32	*
SL.rank	0,30	0,011	SG.point	0,80	*	SG.point.1	1,06	*
GS.rank	-0,53	*	ss.specialite	0,52	*	DH	0,81	*
SG.rank	-0,57	*	GS.point	0,43	*	DH.point.2	0,44	*
DH.rank	-0,61	*	specialite	0,31	*	s.V	0,46	0,001
			SL.point	0,21	0,001	GS.point.2	0,58	0,002
						SG.point.2	0,29	0,007
						GS.point.1	0,45	0,009
						SL.point.4	0,35	0,024
						SL.point.2	0,44	0,030
						T	-0,39	0,043
						SL.point.1	-0,73	*
						s.T	-0,44	*
						SG.point.3	-0,31	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 83 : Description de la 2° dimension de l'ACM de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,30	0,011	SL.point	0,51	*	GS.point.1	1,06	*
SG.rank	0,28	0,017	GS.point	0,46	*	SL.point.2	0,93	*
ERO2max	-0,23	0,046	DH.point	0,43	*	SG.point.1	0,61	*
			SG.point	0,28	*	P	0,61	0,035
						DH.point.1	0,33	0,047
						GS.point.3	-0,25	0,012
						SG.point.2	-0,83	*
						GS.point.2	-0,76	*
						SL.point.4	-0,54	*
						SL.point.3	-0,49	*
						DH.point.3	-0,75	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 84 : Description de la 3° dimension de l'ACM de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
--	--	--	DH.point	0,70	*	DH.point.2	1,11	*
			SG.point	0,39	*	SL.point.2	0,59	*
			SL.point	0,36	*	SG.point.2	0,59	*
			GS.point	0,16	0,005	SG.point.3	0,36	0,001
			ss.specialite	0,19	0,026	GS.point.1	0,46	0,010
						DH.point.NC	0,30	0,014
						P	0,62	0,023
						s.T	-0,23	0,040
						DH	-0,31	0,038
						SL	-0,38	0,013
						GS.point.2	-0,63	0,001

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 85 : Description de la 4° dimension de l'ACM de la sous-population F-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,31	0,007	SG.point	0,55	*	DH.point.NC	0,93	*
			DH.point	0,42	*	GS.point.3	0,52	*
			GS.point	0,32	*	SL.point.4	0,46	*
			SL.point	0,26	*	SG.point.2	0,38	0,005
						GS.point.4	0,29	0,017
						SL.point.3	-0,22	0,044
						GS.point.1	-0,52	0,001
						DH.point.4	-0,39	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

## Annexe 6.

# RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES HOMMES, EN EQUIPE, SUR TAPIS ROULANT

La sous-population H-TR-Eq compte 210 individus.

### 1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :

**Tableau 86 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la population H-TR-Eq.**

	DH	SG	GS	SL
Très performant	$\leq 22,4$	$\leq 18,4$	$\leq 14,4$	$\leq 14,3$
Performant	]22,4 ; 28,5]	]18,4 ; 25,2]	]14,4 ; 19,4	]14,3 ; 21,1]
Peu performant	]28,5 ; 70,8]	]25,2 ; 54,7]	]19,4 ; 35,7	]21,1 ; 52]
Très peu performants	]70,8 ; 376]	]54,7 ; 237]	]35,7 ; 91,3	]52 ; 207]

### 2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

30 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 180 dans cette analyse.

#### 2.1. Inertie des dimensions :

**Tableau 87 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

Dimension	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	4,78	22,77	22,77
dim 2	3,71	17,68	40,45
dim 3	2,72	12,93	53,38
dim 4	1,73	8,23	61,61
dim 5	1,49	7,09	68,69
dim 6	1,35	6,43	75,12
dim 7	1,08	5,16	80,29
dim 8	0,98	4,65	84,94
dim 9	0,91	4,33	89,26
dim 10	0,62	2,94	92,20
dim 11	0,50	2,36	94,56
dim 12	0,45	2,14	96,70
dim 13	0,35	1,65	98,35
dim 14	0,21	1,02	99,36
dim 15	0,12	0,56	99,92
dim 16	0,01	0,03	99,95
dim 17	0,00	0,02	99,97
dim 18	0,00	0,01	99,98
dim 19	0,00	0,01	99,99
dim 20	0,00	0,01	100,00
dim 21	0,00	0,00	100,00

**Figure 118 : diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

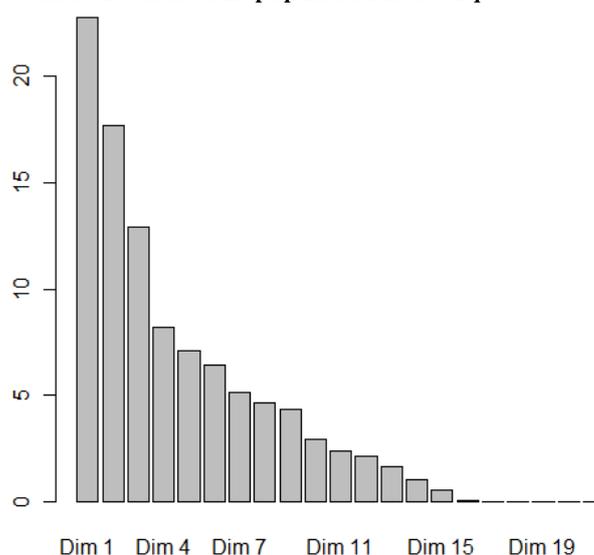
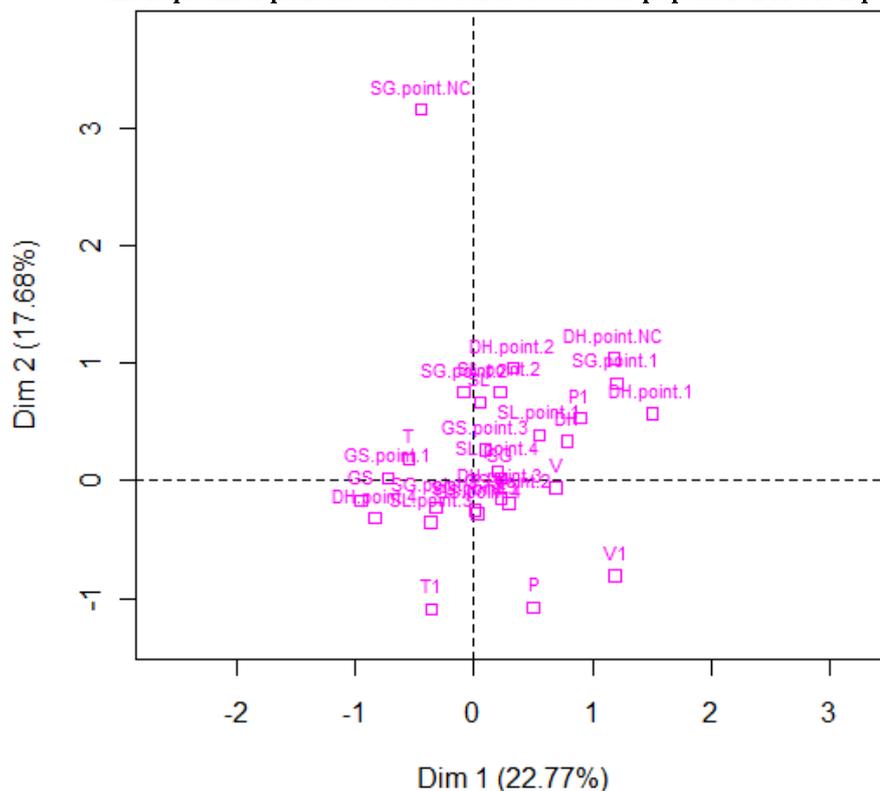




Figure 121 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq



### 2.2.2. Tableaux :

Tableau 88 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VCO2max	0,82	*	DH.point	0,12	*	DH.point.1	1,02	0,038
VEmax	0,82	*	specialite	0,08	0,001	GS	-1,21	0,005
VO2max	0,76	*	ss.specialite	0,10	0,005	T	-0,76	0,003
poids	0,66	*				DH.point.4	-1,32	0,001
IMC	0,57	*						
Lamax	0,52	*						
taille	0,42	*						
VMA	0,37	*						
age	0,28	*						
Qrmax	0,25	0,001						
SL.rank	0,17	0,021						
DH.rank	-0,22	0,004						
ERC02s2_ERC02max	-0,31	*						
VO2s2_VO2max	-0,35	*						
ERO2s2_ERO2max	-0,46	*						
Vcs2_VMA	-0,46	*						
Fcs2_FCMR	-0,58	*						
VEs2_VEmax	-0,59	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 89 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Vcs2	0,68	*	ss.specialite	0,09	0,015	T	0,50	0,033
VEs2_VEmax	0,63	*	SG.point	0,06	0,023	P	-0,76	0,041
Vcs2_VMA	0,56	*				DH.point.4	-0,74	0,038
ERO2s2_ERO2max	0,54	*				T	-1,02	0,035
VO2max	0,51	*				SG.point.4	-1,08	0,016
ERCO2s2_ERCO2max	0,48	*				SL.point.3	-0,57	0,015
VCO2max	0,43	*				SG.point.3	-1,10	0,012
IMC	0,42	*						
age	0,41	*						
poids	0,40	*						
VO2s2_VO2max	0,33	*						
Fcs2_FCMR	0,29	*						
VMA	0,27	*						
taille	0,16	0,037						
FCMR	-0,19	0,010						
ERCO2max	-0,58	*						
ERO2max	-0,60	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 90 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VO2s2_VO2max	0,59	*	ss.specialite	0,17	*	V	1,20	0,008
ERCO2max	0,58	*	specialite	0,06	0,005	GS.point.3	0,49	0,014
taille	0,55	*	GS.point	0,07	0,008	SL.point.1	0,69	0,022
poids	0,53	*				GS.point.4	0,51	0,030
ERO2max	0,42	*				SL.point.3	-0,45	0,024
Vcs2_VMA	0,41	*				GS.point.2	-0,80	0,010
VEmax	0,32	*				T	-0,51	0,009
Fcs2_FCMR	0,32	*				GS	-1,22	*
VEs2_VEmax	0,29	*						
IMC	0,27	*						
FCMR	-0,15	0,041						
ERO2s2_ERO2max	-0,16	0,030						
Vcs2	-0,18	0,017						
Qrmax	-0,21	0,005						
Lamax	-0,25	0,001						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,43	*						
VMA	-0,59	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 91 : Description de la 4° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Qrmax	0,55	*	specialite	0,10	*	T	0,56	*
Vcs2	0,54	*	ss.specialite	0,12	0,001	GS.point.1	0,49	0,039
ERO2max	0,41	*	GS.point	0,06	0,013	DH	-0,68	0,018
VMA	0,40	*	SL.point	0,06	0,015	GS.point.4	-0,51	0,007
VO2s2_VO2max	0,36	*				SL.point.4	-0,52	0,006
Fcs2_FCMR	0,28	*						
Vcs2_VMA	0,23	0,002						
age	0,20	0,006						
FCMR	0,17	0,021						
DH.rank	0,16	0,036						
GS.rank	-0,16	0,032						
VO2max	-0,19	0,013						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,19	0,012						
IMC	-0,21	0,005						
poids	-0,24	0,001						
Las2	-0,30	*						
ERO2s2_ERO2max	-0,38	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 92 : Description de la 5° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Las2	0,39	*	SG.point	0,09	0,002	SG.point.3	1,02	*
ERO2s2_ERO2max	0,39	*	SL.point	0,07	0,005	SL.point.3	0,47	0,001
VEmax	0,35	*	GS.point	0,05	0,027	SG.point.4	0,84	0,003
ERCO2max	0,34	*	ss.specialite	0,08	0,027	DH.point.3	0,65	0,004
FCMR	0,32	*	DH.point	0,05	0,046	SG	-0,58	0,039
ERCO2s2_ERCO2max	0,30	*				DH.point.NC	-1,25	0,039
ERO2max	0,26	*				SL.point.1	-0,51	0,021
taille	0,24	0,001				GS.point.1	-0,55	0,013
VMA	0,24	0,001				SG.point.NC	-2,37	0,005
Vcs2	0,22	0,003						
Fcs2_FCMR	0,20	0,007						
Lamax	0,19	0,011						
GS.rank	0,16	0,030						
VEs2_VEmax	0,16	0,031						
VO2s2_VO2max	-0,17	0,023						
DH.rank	-0,22	0,004						
IMC	-0,29	*						
age	-0,51	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001



## 2.3.2. Tableaux :

Tableau 95 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
ss.specialite=T	0,00	0,00	10,06	0,028	-2,20
SL.point=SL.point.3	10,53	22,22	42,46	0,009	-2,62

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* :  $p < 0,001$

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
VEs2_VEmax	5,25	76,11	70,18	5,42	7,56	*
poids	4,70	86,31	80,16	3,81	8,76	*
VO2max	3,83	5,07	4,74	0,40	0,57	*
VO2s2_VO2max	3,66	83,72	80,44	3,99	6,01	*
Vcs2	3,66	14,64	14,02	0,85	1,14	*
IMC	3,65	26,06	24,95	1,20	2,04	*
age	3,59	23,67	21,91	2,83	3,28	*
ERO2s2_ERO2max	3,46	90,84	87,24	4,24	6,96	0,001
taille	3,37	182,04	179,11	4,10	5,83	0,001
Vcs2_VMA	3,02	78,71	76,40	3,45	5,12	0,003
VCO2max	2,88	5,30	5,02	0,41	0,65	0,004
ERCO2s2_ERCO2max	2,53	98,34	95,97	3,68	6,26	0,011
Fcs2_FCMR	2,22	91,88	90,94	2,17	2,84	0,026
Lamax	-2,28	9,53	10,32	1,53	2,33	0,022
ERCO2max	-2,84	27,85	29,08	2,09	2,90	0,005
ERO2max	-3,39	29,13	30,75	2,39	3,20	0,001

Tableau 96 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.1	60,00	27,91	11,17	0,001	3,46
DH.point=DH.point.4	39,39	60,47	36,87	0,001	3,45
ss.specialite=GS	41,30	44,19	25,70	0,004	2,89
specialite=T	32,65	74,42	54,75	0,004	2,84
DH.point=DH.point.3	15,28	25,58	40,22	0,036	-2,10
specialite=V	14,71	23,26	37,99	0,032	-2,14

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Vcs2_VMA	5,10	79,88	76,40	4,36	5,12	*
VEs2_VEmax	4,49	74,71	70,18	6,58	7,56	*
DH.rank	3,91	804,16	502,39	736,00	578,59	*
Fcs2_FCMR	3,83	92,39	90,94	2,37	2,84	*
VO2s2_VO2max	3,20	83,00	80,44	3,64	6,01	0,001
Vcs2	2,94	14,47	14,02	0,79	1,14	0,003
ERO2s2_ERO2max	2,86	89,89	87,24	7,19	6,96	0,004
ERCO2s2_ERCO2max	2,33	97,91	95,97	5,86	6,26	0,020
ERO2max	-2,12	29,84	30,75	3,30	3,20	0,034
Lamax	-3,42	9,26	10,32	1,90	2,33	0,001
IMC	-4,54	23,71	24,95	1,71	2,04	*
taille	-5,00	175,22	179,11	5,51	5,83	*
VCO2max	-6,06	4,49	5,02	0,49	0,65	*
VO2max	-6,15	4,27	4,74	0,36	0,57	*
poids	-6,29	72,82	80,16	6,29	8,76	*
VEmax	-7,25	126,87	145,18	13,71	18,95	*

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* : p<0,001

Tableau 97 : Description du 3<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
specialite=T	19,39	86,36	54,75	0,002	3,09
ss.specialite=T	38,89	31,82	10,06	0,004	2,86
GS.point=GS.point.2	38,89	31,82	10,06	0,004	2,86
ss.specialite=DH	0,00	0,00	15,08	0,043	-2,03
specialite=V	0,00	0,00	37,99	*	-4,24

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* :  $p < 0,001$

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
VMA	5,54	19,85	18,38	1,07	1,33	*
Qrmax	4,35	1,12	1,06	0,05	0,07	*
ERCO2s2_ERCO2max	3,68	100,58	95,97	6,39	6,26	*
VCO2max	3,06	5,42	5,02	0,47	0,65	0,002
Lamax	2,75	11,61	10,32	2,73	2,33	0,006
FCMR	2,73	199,95	195,59	8,06	7,97	0,006
taille	-2,25	176,48	179,11	5,39	5,83	0,024
ERCO2max	-2,74	27,49	29,08	2,35	2,90	0,006
age	-2,89	20,02	21,91	2,14	3,28	0,004
VEs2_VEmax	-3,30	65,18	70,18	4,87	7,56	0,001
Vcs2_VMA	-3,58	72,73	76,40	3,79	5,12	*
IMC	-3,65	23,45	24,95	1,38	2,04	*
poids	-4,15	72,89	80,16	2,57	8,76	*
VO2s2_VO2max	-5,61	73,68	80,44	5,66	6,01	*

Tableau 98 : Description du 4<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.1	55,00	31,43	11,17	*	3,58
specialite=V	32,35	62,86	37,99	0,002	3,15
SG.point=SG.point.1	44,44	22,86	10,06	0,020	2,33
DH.point=DH.point.4	7,58	14,29	36,87	0,002	-3,03
ss.specialite=GS	4,35	5,71	25,70	0,002	-3,06
specialite=T	10,20	28,57	54,75	0,001	-3,29

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* :  $p < 0,001$

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
VEmax	5,63	161,41	145,18	12,74	18,95	*
poids	5,38	87,33	80,16	6,32	8,76	*
IMC	5,19	26,56	24,95	1,66	2,04	*
VCO2max	5,18	5,53	5,02	0,32	0,65	*
VO2max	5,14	5,19	4,74	0,29	0,57	*
Lamax	4,59	11,95	10,32	2,64	2,33	*
taille	2,51	181,33	179,11	4,38	5,83	0,012
age	2,42	23,12	21,91	3,18	3,28	0,016
DH.rank	-2,04	323,29	502,39	514,45	578,59	0,042
ERCO2s2_ERCO2max	-3,12	93,00	95,97	5,72	6,26	0,002
Vcs2	-3,25	13,45	14,02	1,10	1,14	0,001
ERO2s2_ERO2max	-3,41	83,63	87,24	6,33	6,96	0,001
VO2s2_VO2max	-3,98	76,80	80,44	4,53	6,01	*
Vcs2_VMA	-4,99	72,52	76,40	5,14	5,12	*
VEs2_VEmax	-5,24	64,15	70,18	5,98	7,56	*
Fcs2_FCMR	-5,98	88,36	90,94	2,82	2,84	*

**Tableau 99 : Description du 5° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
--	--	--	--	--	--

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* :  $p < 0,001$

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERCO2max	5,15	31,27	29,08	2,87	2,90	*
ERO2max	3,46	32,37	30,75	3,23	3,20	0,001
VEmax	2,97	153,46	145,18	12,61	18,95	0,003
taille	2,91	181,59	179,11	4,66	5,83	0,004
poids	2,15	82,92	80,16	5,73	8,76	0,032
Vcs2	-1,99	13,68	14,02	0,66	1,14	0,046
Qrmax	-2,13	1,04	1,06	0,07	0,07	0,033
age	-2,94	20,50	21,91	2,36	3,28	0,003
VMA	-3,04	17,78	18,38	0,91	1,33	0,002
ERO2s2_ERO2max	-3,33	83,83	87,24	6,11	6,96	0,001
ERCO2s2_ERCO2max	-4,52	91,81	95,97	5,46	6,26	*

**Tableau 100 : Description du 6° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
--	--	--	--	--	--

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

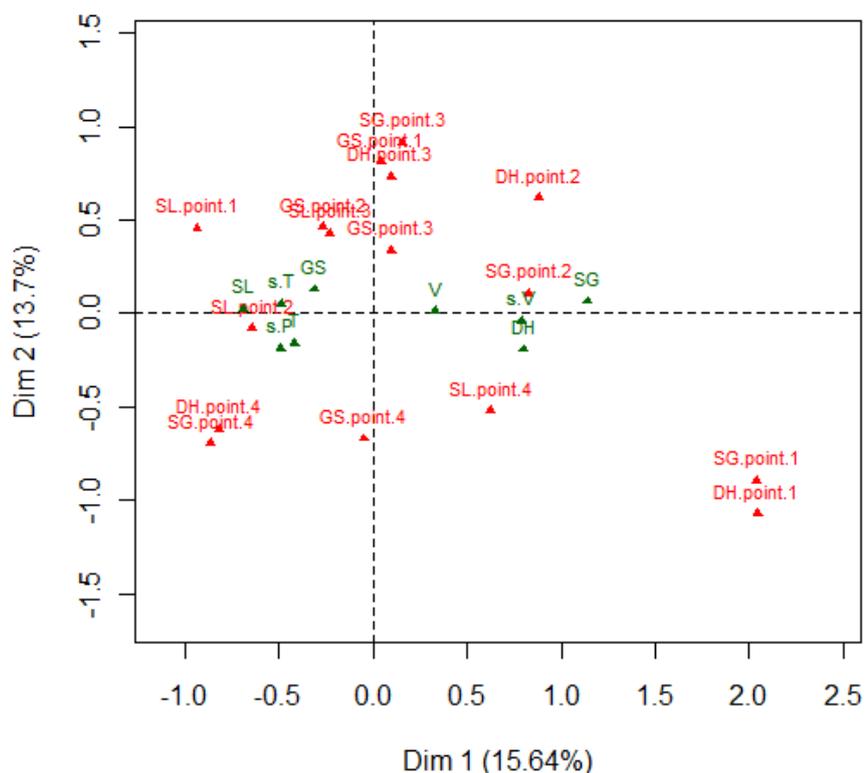
$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* :  $p < 0,001$

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERCO2max	3,07	32,66	29,08	1,41	2,90	0,002
ERO2max	2,72	34,24	30,75	0,85	3,20	0,007
Vcs2_VMA	-3,20	69,80	76,40	4,55	5,12	0,001
taille	-3,60	170,67	179,11	4,27	5,83	*
IMC	-3,75	21,87	24,95	1,58	2,04	*
poids	-4,65	63,77	80,16	5,98	8,76	*
VMA	-5,11	15,63	18,38	0,93	1,33	*
VEmax	-5,12	106,12	145,18	9,68	18,95	*
Vcs2	-6,70	10,93	14,02	1,14	1,14	*
VCO2max	-6,71	3,26	5,02	0,37	0,65	*
VO2max	-7,12	3,10	4,74	0,27	0,57	*



Figure 125 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population H-TR-Eq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 102 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p
SL.rank	0,54	*
IMC	0,36	*
poids	0,36	*
age	0,28	*
VO2max	0,22	0,001
VCO2max	0,20	0,003
VEmax	0,14	0,040
DH.rank	-0,56	*
SG.rank	-0,58	*

Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p
SG.point	0,80	*
DH.point	0,76	*
ss.specialite	0,44	*
specialite	0,38	*
SL.point	0,31	*

catégories	V.test	p
SG.point.1	1,03	*
DH.point.1	1,02	*
SL.point.4	0,63	*
SG	0,68	*
s.V	0,58	*
DH	0,45	*
DH.point.2	0,23	*
SG.point.2	0,20	*
SL.point.2	-0,24	0,020
s.P	-0,29	0,005
T	-0,38	*
SL.point.1	-0,44	*
GS	-0,31	*
s.T	-0,29	*
SG.point.3	-0,26	*
DH.point.3	-0,31	*
SL	-0,57	*
DH.point.4	-0,94	*
SG.point.4	-0,96	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 103 : Description de la 2° dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,18	0,009	SG.point	0,61	*	SG.point.3	0,68	*
DH.rank	-0,28	*	DH.point	0,52	*	DH.point.3	0,52	*
SL.rank	-0,28	*	GS.point	0,31	*	DH.point.2	0,45	*
SG.rank	-0,36	*	SL.point	0,20	*	GS.point.1	0,37	*
GS.rank	-0,49	*				SL.point.3	0,23	0,001
						SL.point.1	0,25	0,016
						SG.point.2	0,16	0,028
						SL.point.4	-0,38	*
						DH.point.4	-0,34	*
						SG.point.4	-0,35	*
						SG.point.1	-0,48	*
						DH.point.1	-0,63	*
						GS.point.4	-0,58	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 104 : Description de la 3° dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,47	*	GS.point	0,42	*	GS.point.2	0,62	*
Vcs2	0,17	0,012	SL.point	0,40	*	SL.point.2	0,47	*
IMC	0,14	0,050	DH.point	0,35	*	SL.point.1	0,45	*
SL.rank	-0,16	0,019	SG.point	0,21	*	SL	0,39	*
Las2	-0,18	0,008	ss.specialite	0,16	*	SG.point.2	0,46	*
GS.rank	-0,41	*	specialite	0,12	*	s.T	0,26	*
						DH.point.3	0,17	0,002
						SG.point.4	-0,14	0,043
						V	-0,24	0,016
						DH	-0,29	0,001
						SL.point.4	-0,42	*
						SG.point.3	-0,42	*
						SL.point.3	-0,50	*
						GS.point.4	-0,57	*
						DH.point.2	-0,87	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 105 : Description de la 4° dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,16	0,018	GS.point	0,70	*	GS.point.1	0,81	*
VCO2max	-0,14	0,049	SG.point	0,26	*	SG.point.2	0,69	*
VEmax	-0,16	0,023	SL.point	0,15	*	GS	0,37	*
SG.rank	-0,16	0,022	ss.specialite	0,16	*	SL.point.1	0,27	0,002
poids	-0,18	0,010	DH.point	0,04	0,045	SL.point.4	0,19	0,004
taille	-0,19	0,005				DH.point.4	0,17	0,021
						s.T	0,14	0,029
						SL	-0,19	0,005
						SG.point.4	-0,20	0,002
						SG.point.1	-0,27	0,001
						SG.point.3	-0,23	*
						GS.point.4	-0,21	*
						SL.point.2	-0,51	*
						GS.point.3	-0,67	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

### **3.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse des Correspondances Multiples :**

**Tableau 106 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

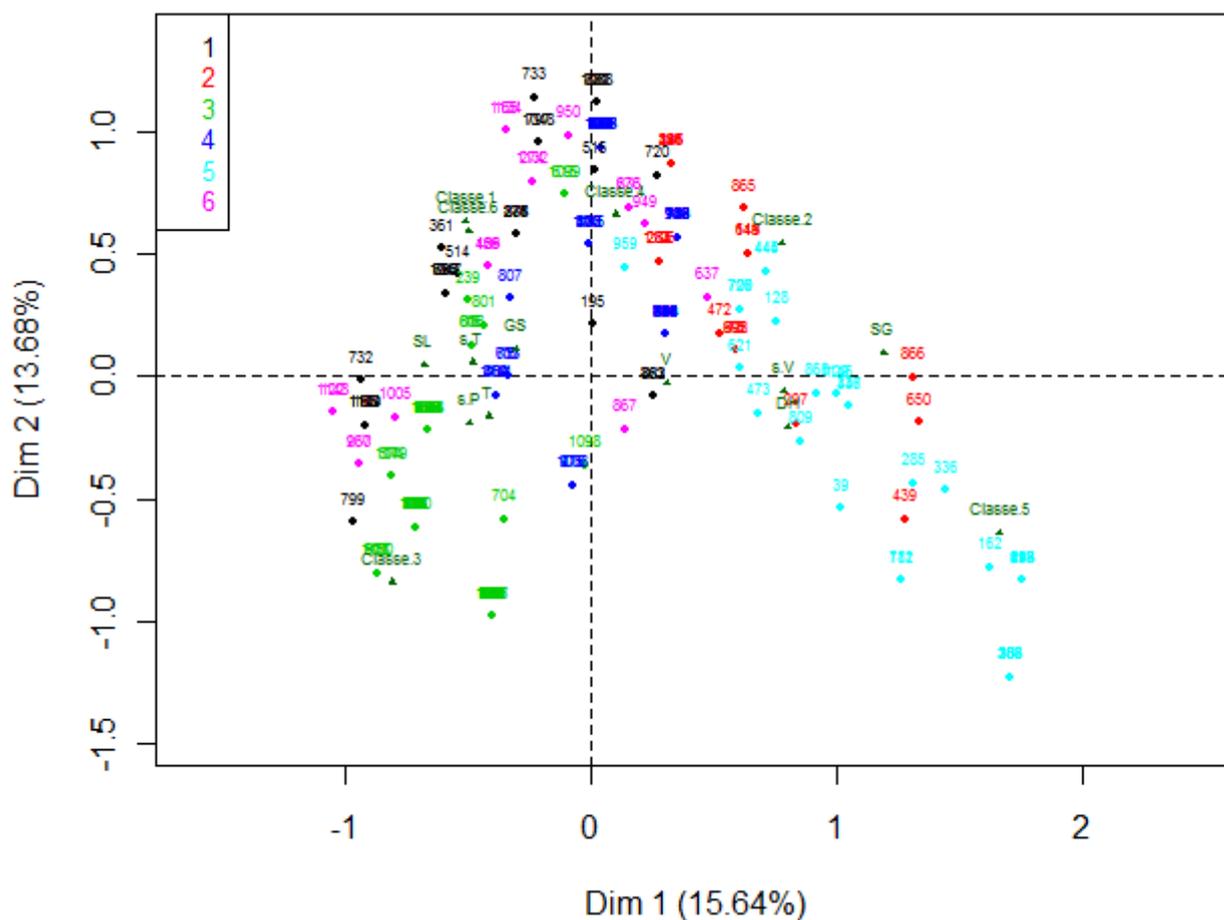
	1° groupe	2° groupe	3° groupe	4° groupe	5° groupe	6° groupe
Effectifs	29	21	62	48	32	18

**Tableau 107 : Test du Chi-2 de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

	p	df
DH.point	<0,001	20
GS.point	<0,001	15
SG.point	<0,001	20
specialite	<0,001	10
SL.point	<0,001	15
ss.specialite	<0,001	30

### 3.3.1. Graphiques :

Figure 126 : Distribution des skieurs (sous-population H-TR-Eq) dans le premier plan factoriel de l'ACM avec en couleur, leur groupe d'appartenance



### 3.3.2. Tableaux :

**Tableau 108 : Description du 1° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.1	77,27	58,62	10,48	<0,001	7,236
SL.point=SL.point.1	76,19	55,17	10,00	<0,001	6,899
specialite=s.T	23,93	96,55	55,71	<0,001	5,042
ss.specialite=SL	25,93	48,28	25,71	0,008	2,648
ss.specialite=GS	23,53	41,38	24,29	0,044	2,010
ss.specialite=SG	0,00	0,00	12,38	0,032	-2,145
ss.specialite=DH	0,00	0,00	14,76	0,013	-2,472
SL.point=SL.point.4	4,76	13,79	40,00	0,002	-3,046
specialite=s.V	1,25	3,45	38,10	<0,001	-4,393
GS.point=GS.point.4	1,20	3,45	39,52	<0,001	-4,542

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
age	6,03	25,110	21,56	3,19	3,41	<0,001
DH.rank	2,61	804,862	536,81	727,54	594,29	0,009
Vcs2_VMA	2,18	78,498	76,55	4,66	5,15	0,029
Las2	-2,38	4,065	4,43	0,77	0,89	0,017
Lamax	-2,42	9,487	10,48	1,85	2,37	0,015
SL.rank	-2,64	394,690	873,53	681,58	1048,00	0,008
GS.rank	-4,08	127,897	427,23	171,22	424,05	<0,001

Légendes : se référer à celle du  
Tableau 111

**Tableau 109 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.2	100,00	95,24	9,52	<0,001	10,708
specialite=s.V	22,50	85,71	38,10	<0,001	4,501
ss.specialite=DH	29,03	42,86	14,76	0,002	3,119
SG.point=SG.point.3	18,07	71,43	39,52	0,004	2,890
ss.specialite=SL	1,85	4,76	25,71	0,025	-2,242
specialite=s.T	2,56	14,29	55,71	<0,001	-3,882
DH.point=DH.point.3	0,00	0,00	38,57	<0,001	-4,131
DH.point=DH.point.4	0,00	0,00	39,05	<0,001	-4,171
SG.point=SG.point.4	0,00	0,00	39,52	<0,001	-4,212

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
poids	3,47	85,924	79,38	5,39	9,08	0,001
IMC	3,03	26,148	24,76	1,77	2,20	0,002
SL.rank	2,41	1396,667	873,53	1242,27	1048,00	0,016
taille	1,97	181,381	179,00	4,66	5,84	0,049
SG.rank	-3,08	117,150	453,83	55,59	527,23	0,002
DH.rank	-3,59	94,050	536,81	15,22	594,29	<0,001

Légendes : se référer à celle du  
Tableau 111

Tableau 110 : Description du 3<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.4	69,88	93,55	39,52	<0,001	10,651	SG.rank	8,34	924,016	453,83	686,40	527,23	<0,001
DH.point=DH.point.4	65,85	87,10	39,05	<0,001	9,292	DH.rank	7,49	1012,644	536,81	633,66	594,29	<0,001
GS.point=GS.point.4	44,58	59,68	39,52	<0,001	3,691	GS.rank	4,36	625,032	427,23	537,20	424,05	<0,001
SL.point=SL.point.2	66,67	22,58	10,00	<0,001	3,508	Lamax	-1,96	9,984	10,48	2,17	2,37	0,050
specialite=s.T	39,32	74,19	55,71	0,001	3,390	SL.rank	-2,17	630,726	873,53	655,68	1048,00	0,030
GS.point=GS.point.1	4,55	1,61	10,48	0,006	-2,724	VO2max	-2,37	4,596	4,74	0,59	0,56	0,018
GS.point=GS.point.2	0,00	0,00	9,52	0,001	-3,236	VEmax	-2,54	140,618	145,75	20,95	18,92	0,011
DH.point=DH.point.2	0,00	0,00	9,52	0,001	-3,236	VCO2max	-2,90	4,824	5,03	0,71	0,65	0,004
SL.point=SL.point.1	0,00	0,00	10,00	0,001	-3,347	poids	-5,36	74,180	79,38	9,37	9,08	<0,001
SG.point=SG.point.2	0,00	0,00	10,00	0,001	-3,347	age	-5,62	19,505	21,56	3,17	3,41	<0,001
SG.point=SG.point.1	0,00	0,00	10,00	0,001	-3,347	IMC	-5,73	23,415	24,76	2,19	2,20	<0,001
DH.point=DH.point.1	0,00	0,00	10,00	0,001	-3,347							
ss.specialite=SG	0,00	0,00	12,38	<0,001	-3,870							
specialite=s.V	11,25	14,52	38,10	<0,001	-4,590							
DH.point=DH.point.3	6,17	8,06	38,57	<0,001	-6,136							
SG.point=SG.point.3	3,61	4,84	39,52	<0,001	-7,097							

Légendes : se référer à celle du  
Tableau 111

Tableau 111 : Description du 4° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
DH.point=DH.point.3	54,32	91,67	38,57	<0,001	8,650	Las2	3,26	4,798	4,43	0,96	0,89	0,001
SG.point=SG.point.3	48,19	83,33	39,52	<0,001	6,963	ERO2max	2,40	31,876	30,90	2,97	3,22	0,016
ss.specialite=V	47,83	22,92	10,95	0,009	2,602	ERCO2max	2,33	30,004	29,16	2,77	2,87	0,020
SL.point=SL.point.3	32,14	56,25	40,00	0,015	2,432	Lamax	2,18	11,140	10,48	2,61	2,37	0,029
GS.point=GS.point.4	31,33	54,17	39,52	0,029	2,180	FCMR	1,97	197,667	195,73	7,21	7,73	0,048
specialite=s.V	31,25	52,08	38,10	0,037	2,086	Vcs2_VMA	-2,21	75,107	76,55	5,13	5,15	0,027
GS.point=GS.point.2	0,00	0,00	9,52	0,008	-2,638	SG.rank	-2,47	288,063	453,83	161,04	527,23	0,013
DH.point=DH.point.2	0,00	0,00	9,52	0,008	-2,638	Vcs2	-2,57	13,740	14,13	1,35	1,20	0,010
SL.point=SL.point.2	0,00	0,00	10,00	0,006	-2,735	DH.rank	-3,60	264,915	536,81	161,32	594,29	<0,001
SL.point=SL.point.1	0,00	0,00	10,00	0,006	-2,735	age	-4,26	19,708	21,56	1,93	3,41	<0,001
SG.point=SG.point.2	0,00	0,00	10,00	0,006	-2,735							
SG.point=SG.point.1	0,00	0,00	10,00	0,006	-2,735							
DH.point=DH.point.1	0,00	0,00	10,00	0,006	-2,735							
GS.point=GS.point.1	0,00	0,00	10,48	0,005	-2,830							
ss.specialite=GS	7,84	8,33	24,29	0,003	-2,928							
specialite=s.T	14,53	35,42	55,71	0,002	-3,057							
SG.point=SG.point.4	9,64	16,67	39,52	<0,001	-3,659							
DH.point=DH.point.4	3,66	6,25	39,05	<0,001	-5,593							

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 112 : Description du 5° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.1	100,00	65,63	10,00	<0,001	9,384
SG.point=SG.point.1	85,71	56,25	10,00	<0,001	7,640
specialite=s.V	33,75	84,38	38,10	<0,001	5,665
ss.specialite=SG	50,00	40,63	12,38	<0,001	4,375
SG.point=SG.point.2	47,62	31,25	10,00	<0,001	3,555
SL.point=SL.point.4	26,19	68,75	40,00	0,001	3,382
ss.specialite=DH	32,26	31,25	14,76	0,016	2,419
SL.point=SL.point.3	8,33	21,88	40,00	0,034	-2,125
ss.specialite=SL	3,70	6,25	25,71	0,006	-2,740
ss.specialite=GS	1,96	3,13	24,29	0,002	-3,159
SG.point=SG.point.3	3,61	9,38	39,52	<0,001	-3,854
specialite=s.T	4,27	15,63	55,71	<0,001	-4,868
SG.point=SG.point.4	1,20	3,13	39,52	<0,001	-4,895
DH.point=DH.point.4	0,00	0,00	39,05	<0,001	-5,467

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
poids	4,66	86,275	79,38	6,76	9,08	<0,001
age	4,54	24,084	21,56	2,28	3,41	<0,001
SL.rank	4,18	1587,344	873,53	1317,32	1048,00	<0,001
IMC	3,74	26,106	24,76	1,55	2,20	<0,001
taille	3,39	182,226	179,00	4,28	5,84	0,001
VO2max	3,04	5,018	4,74	0,51	0,56	0,002
VCO2max	2,89	5,333	5,03	0,50	0,65	0,004
VEmax	2,23	152,632	145,75	16,21	18,92	0,026
SG.rank	-4,27	86,938	453,83	131,63	527,23	<0,001
DH.rank	-4,71	80,484	536,81	61,75	594,29	<0,001

Légendes : se référer à celle du  
Tableau 111

**Tableau 113 : Description du 6° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.2	90,00	100,00	9,52	<0,001	10,062
specialite=s.T	15,38	100,00	55,71	<0,001	4,185
ss.specialite=GS	23,53	66,67	24,29	<0,001	3,780
specialite=s.V	0,00	0,00	38,10	<0,001	-3,695
GS.point=GS.point.4	0,00	0,00	39,52	<0,001	-3,808
GS.point=GS.point.3	0,00	0,00	40,48	<0,001	-3,883

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Lamax	2,99	12,084	10,48	2,84	2,37	0,003
VMA	2,75	19,333	18,48	1,33	1,37	0,006
taille	-2,40	175,833	179,00	5,48	5,84	0,017
VO2s2_VO2max	-2,56	76,944	80,43	6,71	6,03	0,011
GS.rank	-3,40	101,722	427,23	43,39	424,05	0,001

Légendes : se référer à celle du  
Tableau 111

## Annexe 7.

### RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES HOMMES, HORS EQUIPE, SUR TAPIS ROULANT

La sous-population H-TR-HEq compte 116 individus.

#### **1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :**

**Tableau 114 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la sous-population H-TR-HEq.**

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤66	≤48,2	≤63,1	≤31,1
Performant	]66 ; 76,6]	]48,2 ; 64,3]	]63,1 ; 45,9]	]31,1 ; 43]
Peu performant	]76,6 ; 128]	]64,3 ; 92,4]	]45,9 ; 65,3]	]43 ; 77,7]
Très peu performants	]128 ; 342]	]92,4 ; 205]	]65,3 ; 136]	]77,7 ; 224]

#### **2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :**

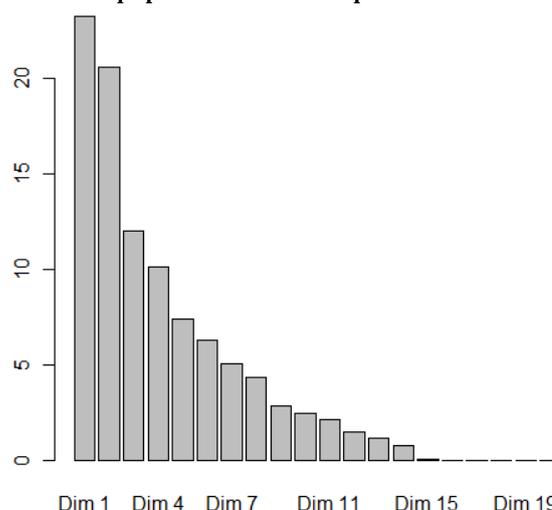
11 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 105 dans cette analyse.

##### **2.1. Inertie des dimensions :**

**Tableau 115 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

dimension	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	4,64	23,2	23,20
dim 2	4,12	20,6	43,79
dim 3	2,40	12,0	55,78
dim 4	2,02	10,1	65,88
dim 5	1,48	7,4	73,29
dim 6	1,26	6,3	79,58
dim 7	1,02	5,1	84,65
dim 8	0,87	4,3	88,98
dim 9	0,57	2,9	91,84
dim 10	0,49	2,5	94,30
dim 11	0,43	2,2	96,45
dim 12	0,30	1,5	97,96
dim 13	0,23	1,2	99,12
dim 14	0,16	0,8	99,91
dim 15	0,01	0,0	99,95
dim 16	0,00	0,0	99,96
dim 17	0,00	0,0	99,98
dim 18	0,00	0,0	99,99
dim 19	0,00	0,0	99,99
dim 20	0,00	0,0	100,00

**Figure 127 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**



## 2.2. Résultats

### 2.2.1. Graphiques :

Figure 128 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq.

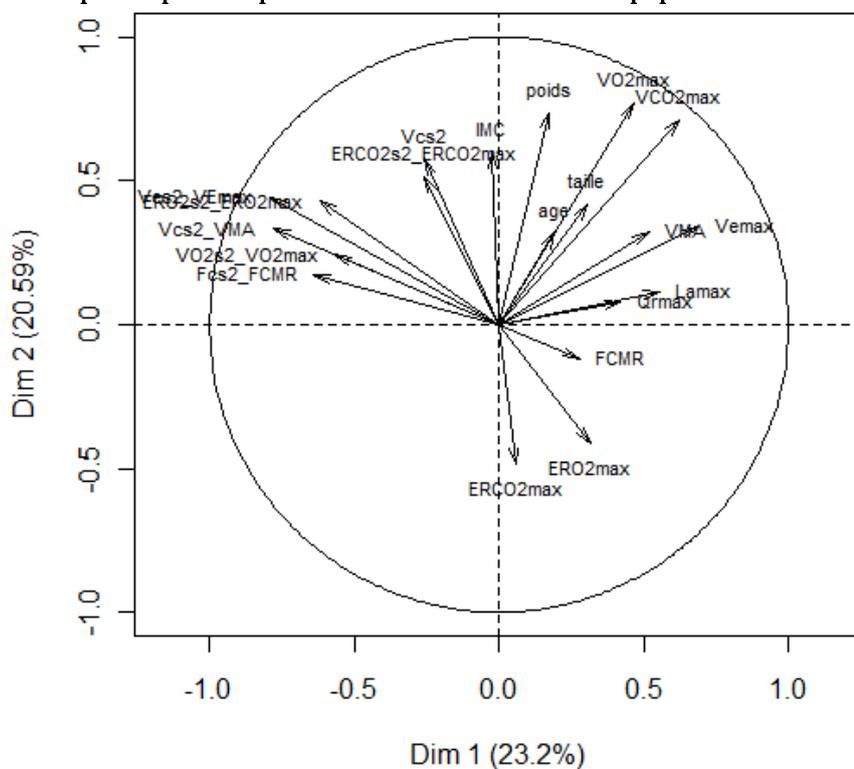


Figure 129 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq.

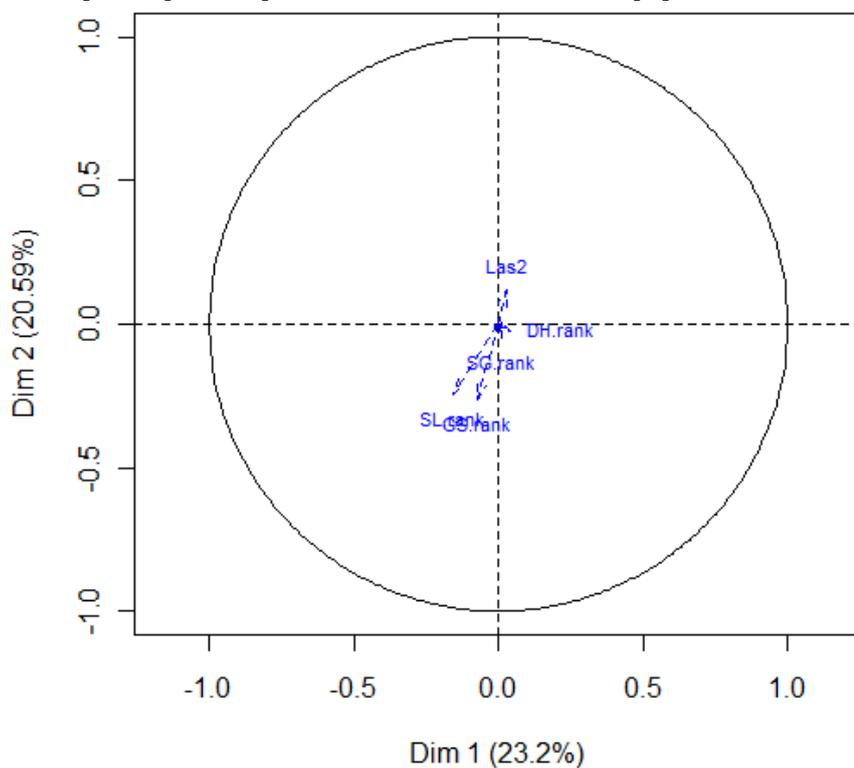
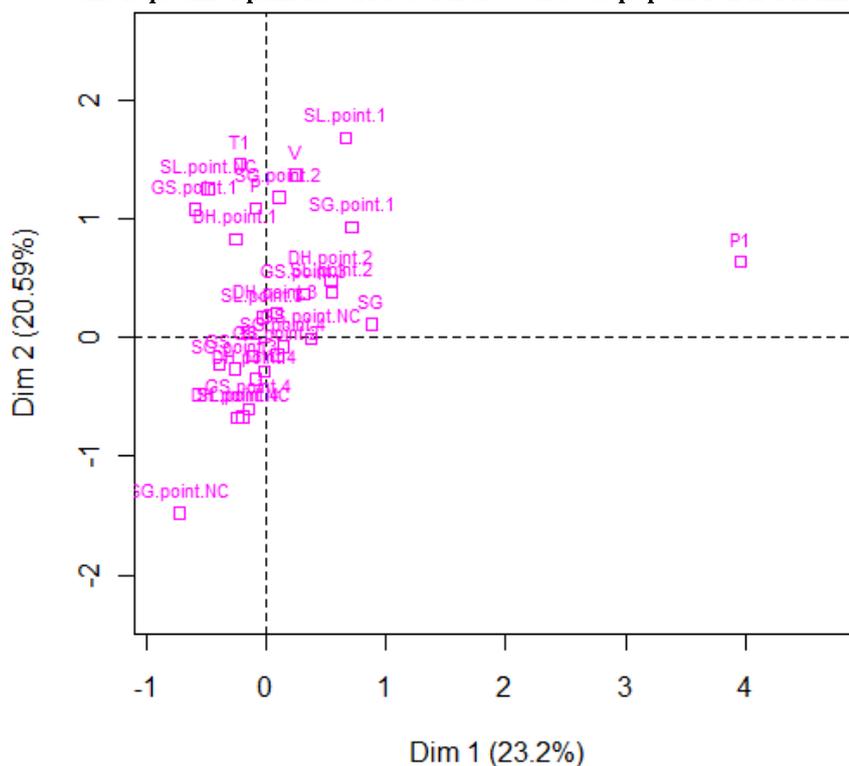


Figure 130 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq



## 2.2.2. Tableaux :

Tableau 116 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VEmax	0,69	<0,001	ss.specialite	0,09	0,046	GS	-1,21	0,021
VCO2max	0,62	<0,001						
Lamax	0,55	<0,001						
VMA	0,52	<0,001						
VO2max	0,47	<0,001						
Qrmax	0,42	<0,001						
ERO2max	0,32	0,001						
taille	0,30	0,002						
FCMR	0,28	0,004						
ERC02s2_ERC02max	-0,26	0,008						
Vcs2	-0,26	0,008						
VO2s2_VO2max	-0,57	<0,001						
ERO2s2_ERO2max	-0,62	<0,001						
Fcs2_FCMR	-0,64	<0,001						
Vcs2_VMA	-0,78	<0,001						
VEs2_VEmax	-0,79	<0,001						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 117 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VO2max	0,77	<0,001	specialite	0,09	0,010	SG.point.2	1,12	0,043
poids	0,74	<0,001	SL.point	0,12	0,012	SG.point.NC	-1,54	0,015
VCO2max	0,71	<0,001	SG.point	0,09	0,046	SL.point.4	-1,24	0,014
IMC	0,60	<0,001				T	-1,01	0,003
Vcs2	0,58	<0,001						
ERCO2s2_ERCO2max	0,52	<0,001						
VEs2_VEmax	0,44	<0,001						
ERO2s2_ERO2max	0,43	<0,001						
taille	0,42	<0,001						
VEmax	0,34	<0,001						
Vcs2_VMA	0,33	<0,001						
VMA	0,32	0,001						
age	0,32	0,001						
VO2s2_VO2max	0,24	0,012						
SL.rank	-0,25	0,011						
GS.rank	-0,26	0,006						
ERO2max	-0,41	<0,001						
ERCO2max	-0,49	<0,001						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 118 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
ERO2max	0,74	<0,001	ss.specialite	0,11	0,017	GS.point.3	1,00	0,011
ERCO2max	0,62	<0,001				T	0,57	0,028
VO2s2_VO2max	0,51	<0,001				V	-0,73	0,031
VEmax	0,51	<0,001				DH.point.1	-0,96	0,024
Fcs2_FCMR	0,40	<0,001						
Vcs2	0,39	<0,001						
Vcs2_VMA	0,29	0,003						
Lamax	0,28	0,004						
Qrmax	0,26	0,007						
VEs2_VEmax	0,26	0,008						
FCMR	-0,31	0,001						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,39	<0,001						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 119 : Description de la 4<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
poids	0,59	<0,001	SG.point	0,24	<0,001	SG.point.1	1,53	<0,001
IMC	0,55	<0,001	DH.point	0,23	<0,001	DH.point.2	1,15	0,002
age	0,45	<0,001	GS.point	0,22	<0,001	DH.point.1	1,02	0,004
ERCO2max	0,41	<0,001				GS.point.2	1,18	0,006
taille	0,24	0,016				DH.point.3	-0,45	0,044
ERO2max	0,23	0,016				GS.point.4	-0,98	0,003
Las2	-0,25	0,010				DH.point.NC	-1,01	0,002
Qrmax	-0,25	0,010				DH.point.4	-0,71	0,002
SG.rank	-0,33	0,001				SG.point.4	-0,78	0,001
GS.rank	-0,35	<0,001						
DH.rank	-0,36	<0,001						
Lamax	-0,41	<0,001						
Vcs2	-0,47	<0,001						
VMA	-0,55	<0,001						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

### **2.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse en Composantes Principales :**

**Tableau 120 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

	1 <sup>o</sup> groupe	2 <sup>o</sup> groupe	3 <sup>o</sup> groupe	4 <sup>o</sup> groupe
Effectifs	31	34	14	26

**Tableau 121 : Test du Chi-2 de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

	p	df
SL.point	0,02	12,00
specialite	0,03	6,00
ss.specialite	0,04	12,00



## 2.3.2. Tableaux :

Tableau 122 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.1	66,67	25,806	11,43	0,011	2,550
ss.specialite=T	75,00	19,355	7,62	0,016	2,415
specialite=V	66,67	19,355	8,57	0,037	2,087
ss.specialite=SG	8,00	6,452	23,81	0,009	-2,610
specialite=T	22,35	61,290	80,95	0,003	-2,944

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* p < 0,001

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
IMC	5,38	24,50	22,98	1,50	1,87	*
VEs2_VEmax	5,17	77,51	70,29	7,65	9,20	*
Vcs2_VMA	4,62	82,48	77,67	6,59	6,88	*
ERCO2s2_ERCO2max	4,46	100,95	96,22	6,11	7,00	*
ERO2s2_ERO2max	4,45	91,91	87,07	5,89	7,18	*
poids	4,19	75,81	71,35	4,91	7,03	*
VO2s2_VO2max	3,24	84,32	80,66	5,76	7,46	0,001
Fcs2_FCMR	3,17	93,74	92,10	2,65	3,41	0,002
VO2max	2,74	4,51	4,28	0,44	0,54	0,006
Vcs2	2,53	14,36	13,84	1,47	1,37	0,011
GS.rank	-2,06	988,23	1214,93	759,48	725,62	0,039
FCMR	-2,53	193,77	196,88	8,26	8,12	0,012
Lamax	-2,94	8,73	9,93	2,17	2,69	0,003
ERCO2max	-4,06	27,56	29,56	3,06	3,26	*
ERO2max	-4,42	28,90	31,40	2,70	3,74	*

**Tableau 123 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
ss.specialite=SG	56,00	41,176	23,81	0,009	2,595

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
VEmax	5,95	149,62	133,83	14,50	18,72	*
VMA	5,31	19,03	17,87	1,33	1,54	*
Lamax	4,77	11,75	9,93	2,35	2,69	*
VO2max	4,50	4,63	4,28	0,40	0,54	*
VCO2max	4,40	4,97	4,56	0,54	0,66	*
taille	3,01	178,47	176,15	4,58	5,44	0,003
ERO2s2_ERO2max	-2,21	84,81	87,07	6,93	7,18	0,027
SL.rank	-2,36	1021,06	1301,82	677,50	838,00	0,018
Fcs2_FCMR	-4,12	90,12	92,10	4,15	3,41	*
Vcs2_VMA	-4,93	72,86	77,67	6,13	6,88	*
VEs2_VEmax	-4,96	63,82	70,29	7,29	9,20	*
VO2s2_VO2max	-4,99	75,38	80,66	6,89	7,46	*

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat: pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp: fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global: fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test: test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$ : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$ : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* p < 0,001

**Tableau 124 : Description du 3° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.3	24,39	71,429	39,05	0,019	2,350

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERO2max	5,27	36,32	31,40	2,85	3,74	*
ERCO2max	4,65	33,35	29,56	2,50	3,26	*
VMA	-2,08	17,07	17,87	0,83	1,54	0,037
VCO2max	-2,14	4,20	4,56	0,41	0,66	0,032
ERCO2s2_ERCO2max	-2,26	92,26	96,22	4,70	7,00	0,024
FCMR	-3,03	190,74	196,88	6,18	8,12	0,002
VO2max	-3,22	3,85	4,28	0,31	0,54	0,001

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat: pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp: fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global: fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test: test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$ : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$ : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\* p < 0,001

**Tableau 125 : Description du 4<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.4	41,86	69,231	40,95	0,002	3,142
GS.point=GS.point.4	39,53	65,385	40,95	0,007	2,679
specialite=T	29,41	96,154	80,95	0,032	2,138

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
GS.rank	3,41	1637,35	1214,93	771,27	725,62	0,001
SL.rank	3,15	1753,04	1301,82	626,04	838,00	0,002
FCMR	3,11	201,19	196,88	6,84	8,12	0,002
ERCO2s2_ERCO2max	-1,97	93,86	96,22	6,89	7,00	0,049
VMA	-2,14	17,31	17,87	1,50	1,54	0,033
taille	-3,18	173,19	176,15	5,88	5,44	0,001
age	-4,02	16,69	17,87	0,81	1,71	*
IMC	-4,88	21,42	22,98	1,80	1,87	*
VCO2max	-5,08	3,98	4,56	0,41	0,66	*
VO2max	-5,24	3,80	4,28	0,36	0,54	*
poids	-5,84	64,33	71,35	6,96	7,03	*
VEmax	-5,93	114,86	133,83	9,49	18,72	*

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

\*  $p < 0,001$

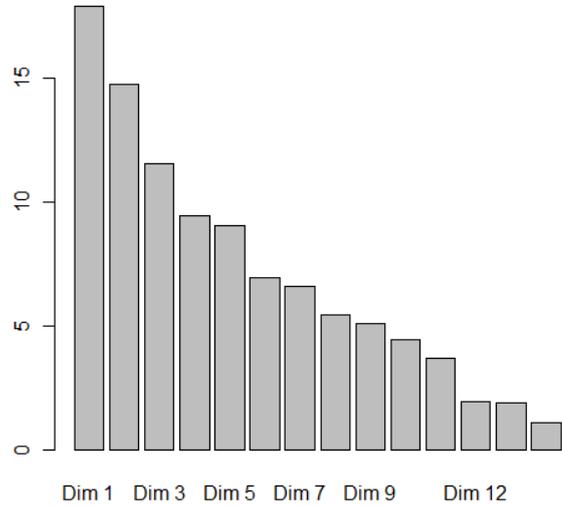
### 3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES :

#### 3.1. Inertie des dimensions :

Tableau 126 : Inertie des dimensions de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq

Dimensions	Valeur propre	Pourcentage d'inertie	Pourcentage Cumulée d'inertie
dim 1	0,63	17,91	17,91
dim 2	0,52	14,77	32,69
dim 3	0,40	11,56	44,24
dim 4	0,33	9,46	53,70
dim 5	0,32	9,08	62,79
dim 6	0,24	6,94	69,73
dim 7	0,23	6,61	76,34
dim 8	0,19	5,46	81,80
dim 9	0,18	5,12	86,92
dim 10	0,16	4,43	91,36
dim 11	0,13	3,70	95,05
dim 12	0,07	1,96	97,01
dim 13	0,07	1,89	98,90
dim 14	0,04	1,10	100,00

Figure 132 : Diagramme des inerties de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq



#### 3.2. Résultats :

##### 3.2.1. Graphiques :

Figure 133 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq

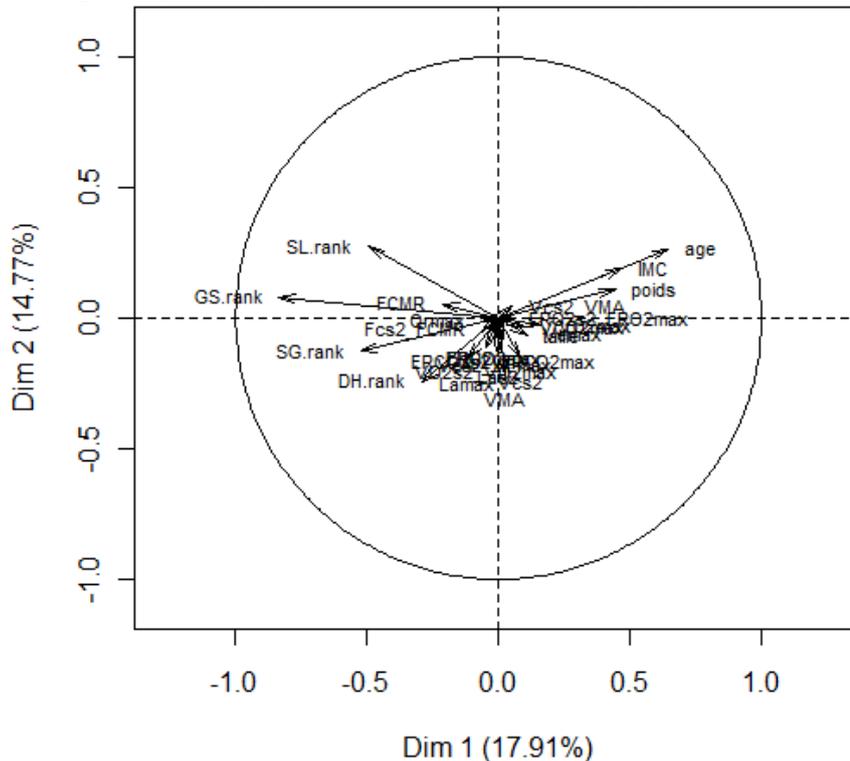
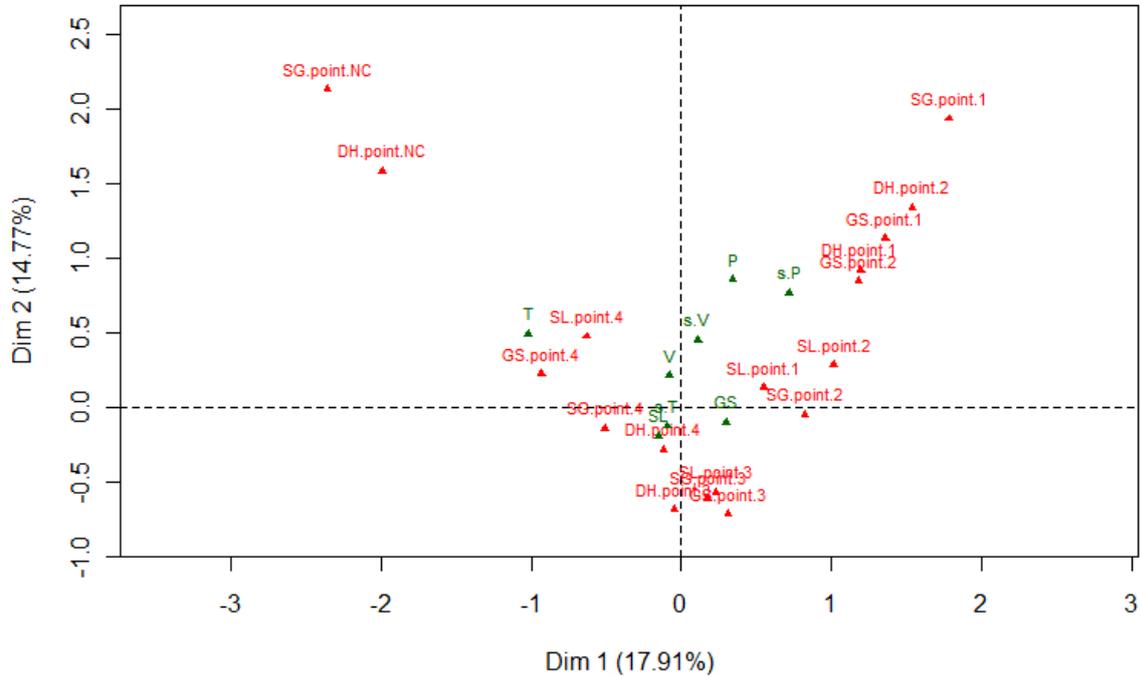


Figure 134 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population H-TR-HEq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 127 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,65	*	SG.point	0,76	*	SG.point.1	1,42	*
IMC	0,47	*	GS.point	0,71	*	DH.point.2	1,13	*
poids	0,44	*	DH.point	0,72	*	DH.point.1	0,85	*
FCMR	-0,21	0,022	SL.point	0,31	*	GS.point.1	0,70	*
DH.rank	-0,29	0,002	ss.specialite	0,17	*	SG.point.2	0,66	*
SL.rank	-0,50	*	specialite	0,06	0,037	GS.point.2	0,55	*
SG.rank	-0,52	*				SL.point.2	0,57	0,001
GS.rank	-0,83	*				GS	0,33	0,008
						SG.point.3	0,15	0,025
						s.P	0,37	0,041
						s.T	-0,27	0,039
						DH.point.4	-0,18	0,011
						T	-0,71	*
						SG.point.4	-0,39	*
						SL.point.4	-0,73	*
						GS.point.4	-1,12	*
						SG.point.NC	-1,85	*
						DH.point.NC	-1,67	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 128 : Description de la 2<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,27	0,003	SG.point	0,74	*	SG.point.1	0,92	*
age	0,26	0,004	DH.point	0,67	*	SG.point.NC	1,06	*
IMC	0,19	0,043	GS.point	0,42	*	DH.point.NC	0,73	*
VMA	-0,22	0,018	SL.point	0,23	*	DH.point.2	0,55	*
DH.rank	-0,24	0,009	specialite	0,09	0,007	GS.point.1	0,55	*
						GS.point.2	0,34	0,013
						SL.point.4	0,28	0,014
						DH.point.1	0,25	0,026
						GS	-0,26	0,034
						SL	-0,32	0,019
						s.T	-0,35	0,003
						SL.point.3	-0,47	*
						SG.point.2	-0,51	*
						DH.point.4	-0,62	*
						SG.point.4	-0,57	*
						GS.point.3	-0,78	*
						DH.point.3	-0,91	*
						SG.point.3	-0,91	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 129 : Description de la 3<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,30	0,001	DH.point	0,50	*	DH.point.1	0,81	*
age	-0,20	0,027	SG.point	0,43	*	SG.point.2	0,79	*
Las2	-0,21	0,023	GS.point	0,34	*	SL.point.3	0,49	*
SG.rank	-0,46	*	SL.point	0,34	*	GS.point.2	0,57	*
DH.rank	-0,60	*	ss.specialite	0,13	0,003	SL.point.4	0,41	*
			specialite	0,07	0,018	GS.point.3	0,31	*
						P	0,52	0,022
						SG.point.NC	0,32	0,037
						SL.point.2	-0,35	0,007
						s.T	-0,29	0,006
						DH.point.2	-0,35	0,005
						SG.point.3	-0,25	0,003
						SL	-0,45	*
						SL.point.1	-0,54	*
						GS.point.1	-0,85	*
						SG.point.4	-0,63	*
						DH.point.4	-0,65	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 130 : Description de la 4<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
taille	-0,23	0,013	SG.point	0,62	*	SG.point.3	0,41	*
DH.rank	-0,24	0,010	DH.point	0,44	*	SG.point.NC	0,69	*
SG.rank	-0,37	*	SL.point	0,15	*	DH.point.2	0,51	*
			GS.point	0,12	0,002	SL.point.2	0,53	*
			ss.specialite	0,08	0,044	DH.point.3	0,24	0,001
						GS.point.1	0,41	0,002
						DH.point.NC	0,31	0,006
						T	0,30	0,035
						GS	0,19	0,043
						P	-0,48	0,024
						GS.point.2	-0,45	0,001
						SL.point.1	-0,43	0,001
						DH.point.4	-0,36	*
						SG.point.2	-0,57	*
						DH.point.1	-0,70	*
						SG.point.4	-0,48	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

### **3.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse des Correspondances Multiples :**

**Tableau 131 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

	1 <sup>o</sup> groupe	2 <sup>o</sup> groupe	3 <sup>o</sup> groupe	4 <sup>o</sup> groupe
Effectifs	68	22	20	6

**Tableau 132 : Test du Chi-2 de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

	p	df
SG.point	<0,001	12
DH.point	<0,001	12
GS.point	<0,001	12
SL.point	<0,001	12
ss.specialite	<0,001	15



### 3.3.2. Tableaux :

**Tableau 133 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
GS.point=GS.point.4	84,78	57,35	39,66	<0,001	4,59	GS.rank	4,45	1438,36	1192,85	502,40	704,84	<0,001
SL.point=SL.point.3	78,26	52,94	39,66	0,001	3,35	SG.rank	3,13	1173,06	1013,96	552,75	649,01	0,002
SG.point=SG.point.4	77,27	50,00	37,93	0,002	3,04	SL.rank	2,93	1450,84	1261,87	559,69	823,06	0,003
SG.point=SG.point.3	77,27	50,00	37,93	0,002	3,04	Las2	1,97	4,39	4,29	0,58	0,64	0,048
DH.point=DH.point.3	76,19	47,06	36,21	0,006	2,74	poids	-3,69	69,41	71,41	6,85	6,90	<0,001
SG.point=SG.point.NC	0,00	0,00	5,17	0,008	-2,64	IMC	-4,95	22,30	23,01	1,72	1,83	<0,001
SL.point=SL.point.2	0,00	0,00	9,48	<0,001	-4,02	age	-6,92	16,99	17,91	1,03	1,70	<0,001
GS.point=GS.point.2	0,00	0,00	9,48	<0,001	-4,02							
SG.point=SG.point.2	0,00	0,00	9,48	<0,001	-4,02							
SG.point=SG.point.1	0,00	0,00	9,48	<0,001	-4,02							
DH.point=DH.point.1	0,00	0,00	9,48	<0,001	-4,02							
SL.point=SL.point.1	0,00	0,00	10,34	<0,001	-4,26							
GS.point=GS.point.1	0,00	0,00	10,34	<0,001	-4,26							

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 134 : Description du 2<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.2	100,00	50,00	9,48	<0,001	6,02	IMC	3,59	24,28	23,01	1,50	1,83	<0,001
GS.point=GS.point.2	90,91	45,45	9,48	<0,001	5,24	poids	3,59	76,18	71,41	5,70	6,90	<0,001
DH.point=DH.point.1	90,91	45,45	9,48	<0,001	5,24	age	3,07	18,92	17,91	0,97	1,70	0,002
SG.point=SG.point.1	54,55	27,27	9,48	0,012	2,52	VMA	-2,11	17,28	17,90	1,15	1,52	0,034
specialite=s.T	14,58	63,64	82,76	0,028	-2,20	Lamax	-2,15	8,87	9,99	2,43	2,69	0,031
DH.point=DH.point.4	4,76	9,09	36,21	0,004	-2,87	Las2	-2,19	4,02	4,29	0,77	0,64	0,028
SG.point=SG.point.4	2,27	4,55	37,93	<0,001	-3,65	GS.rank	-4,14	630,82	1192,85	202,48	704,84	<0,001
GS.point=GS.point.4	0,00	0,00	39,66	<0,001	-4,52	DH.rank	-4,53	491,68	1016,64	308,53	601,04	<0,001
						SG.rank	-4,69	427,14	1013,96	215,00	649,01	<0,001

Légendes : se référer à celle du Tableau 133

**Tableau 135 : Description du 3° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives						
						v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p	
GS.point=GS.point.1	91,67	55,00	10,34	<0,001	5,86	age	6,69	20,24	17,91	1,41	1,70	<0,001
SL.point=SL.point.1	83,33	50,00	10,34	<0,001	5,16	DH.rank	3,51	1447,20	1016,64	836,09	601,04	<0,001
SL.point=SL.point.2	81,82	45,00	9,48	<0,001	4,75	IMC	3,20	24,21	23,01	1,01	1,83	0,001
DH.point=DH.point.4	28,57	60,00	36,21	0,032	2,15	VO2max	2,36	4,54	4,29	0,37	0,52	0,018
SG.point=SG.point.1	45,45	25,00	9,48	0,043	2,02	poids	2,24	74,58	71,41	3,36	6,90	0,025
DH.point=DH.point.3	7,14	15,00	36,21	0,048	-1,98	VMA	2,24	18,60	17,90	1,47	1,52	0,025
SL.point=SL.point.4	2,17	5,00	39,66	<0,001	-3,52	Vcs2	2,07	14,44	13,86	1,34	1,38	0,038
GS.point=GS.point.4	2,17	5,00	39,66	<0,001	-3,52	GS.rank	-4,69	517,80	1192,85	386,48	704,84	<0,001
SL.point=SL.point.3	0,00	0,00	39,66	<0,001	-4,23	SL.rank	-5,34	364,35	1261,87	416,25	823,06	<0,001

Légendes : se référer à celle du Tableau 133

**Tableau 136 : Description du 4° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives						
						v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p	
SG.point=SG.point.NC	100,00	100,00	5,17	<0,001	6,17	GS.rank	5,58	2762,33	1192,85	491,51	704,84	<0,001
DH.point=DH.point.NC	54,55	100,00	9,48	<0,001	5,12	SL.rank	3,15	2296,83	1261,87	554,11	823,06	0,002
ss.specialite=T	30,77	66,67	11,21	0,003	3,01	poids	-1,97	65,98	71,41	6,42	6,90	0,049
SL.point=SL.point.4	13,04	100,00	39,66	0,006	2,73	taille	-2,23	171,17	176,06	5,14	5,50	0,026
GS.point=GS.point.4	13,04	100,00	39,66	0,006	2,73	Las2	-3,09	3,50	4,29	NA	0,64	0,002

Légendes : se référer à celle du Tableau 133

## Annexe 8.

# RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES HOMMES, EN EQUIPE, SUR ERGOCYCLE

La sous-population H-V-Eq compte 116 individus.

### 1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :

Tableau 137 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la population H-V-Eq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	$\leq 7,35$	$\leq 15,1$	$\leq 10,1$	$\leq 10,3$
Performant	]7,35 ; 16,2]	]15,1 ; 18,1]	]10,1 ; 15,7]	]10,3 ; 18,2]
Peu performant	]16,2 ; 50,6]	]18,1 ; 37,2]	]15,7 ; 16,4]	]18,2 ; 64,5]
Très peu performants	]50,6 ; 340]	]37,2 ; 177]	]16,4 ; 150]	]64,5 ; 369]

### 2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

21 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 95 dans cette analyse.

#### 2.1. Inertie des dimensions :

Tableau 138 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population H-V-Eq

dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	5,21	24,79	24,79
dim 2	3,97	18,89	43,68
dim 3	2,60	12,39	56,07
dim 4	1,92	9,14	65,21
dim 5	1,38	6,57	71,78
dim 6	1,28	6,09	77,88
dim 7	1,06	5,04	82,91
dim 8	0,86	4,11	87,03
dim 9	0,66	3,14	90,17
dim 10	0,62	2,93	93,10
dim 11	0,44	2,08	95,18
dim 12	0,39	1,84	97,02
dim 13	0,29	1,40	98,42
dim 14	0,22	1,03	99,45
dim 15	0,10	0,48	99,93
dim 16	0,01	0,03	99,96
dim 17	0,00	0,02	99,98
dim 18	0,00	0,01	99,98
dim 19	0,00	0,01	99,99
dim 20	0,00	0,01	100,00
dim 21	0,00	0,00	100,00

Figure 136 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population H-V-Eq

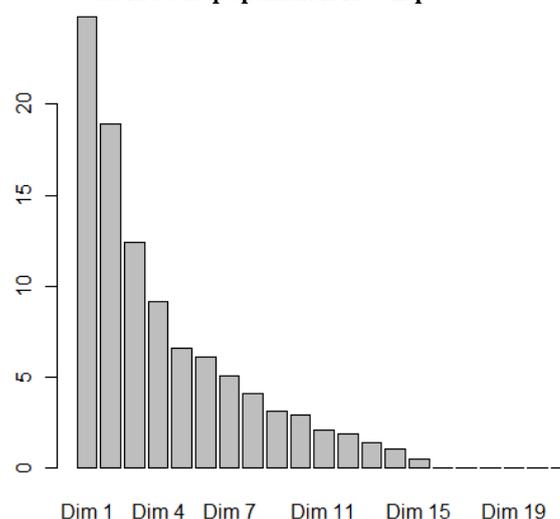
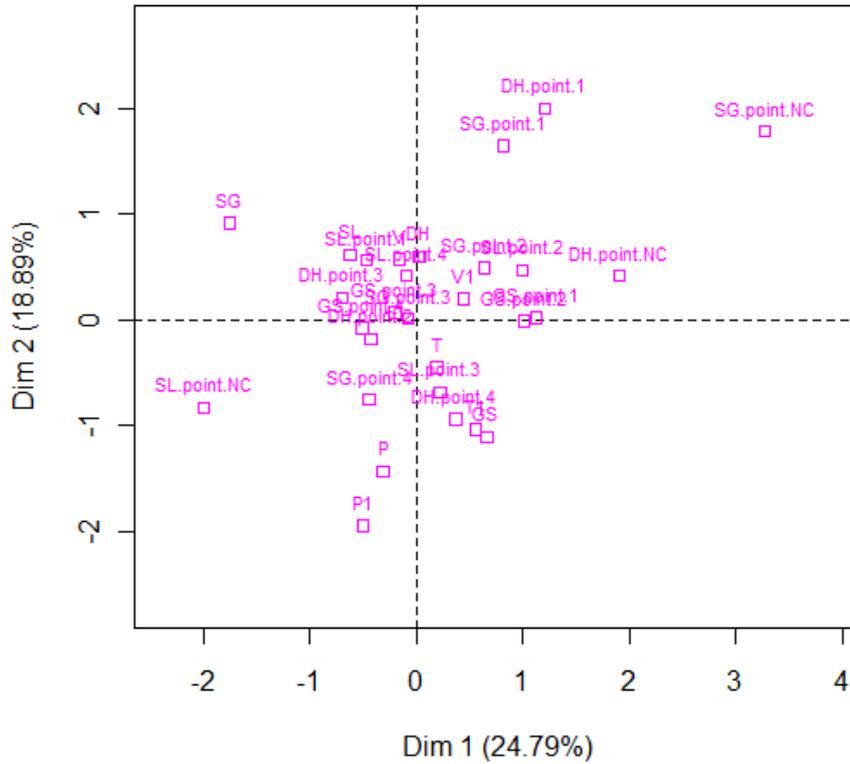




Figure 139 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-Eq



### 2.2.2. Tableaux :

Tableau 139 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population H-V-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
VEs2_VE <sub>max</sub>	0,93	*	DH.point	0,10	0,045	SL.point.2	1,26	0,041
ERO2s2_ERO2 <sub>max</sub>	0,79	*				SG	-1,59	0,049
VO2s2_VO2 <sub>max</sub>	0,72	*				GS.point.4	-0,87	0,046
Fcs2_FCMR	0,69	*				SG.point.4	-1,28	0,033
Ps2_PMA	0,68	*				SL.point.NC	-1,72	0,027
ERCO2s2_ERCO2 <sub>max</sub>	0,65	*				DH.point.3	-1,17	0,016
Ps2	0,31	0,002						
PMA	-0,23	0,024						
FCMR	-0,23	0,023						
Q <sub>rmax</sub>	-0,24	0,018						
VO2 <sub>max</sub>	-0,34	0,001						
VCO2 <sub>max</sub>	-0,40	*						
ERCO2 <sub>max</sub>	-0,43	*						
Lamax	-0,53	*						
ERO2 <sub>max</sub>	-0,54	*						
VE <sub>max</sub>	-0,69	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives  
et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* :  $p < 0,001$

**Tableau 140 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
PMA	0,80	*	DH.point	0,21	*	DH.point.1	1,70	0,001
Ps2	0,78	*	SG.point	0,15	0,005	DH	0,85	0,034
poids	0,74	*	ss.specialite	0,18	0,008	V	1,01	0,044
VO2max	0,65	*	specialite	0,09	0,016	SG.point.4	-1,39	0,006
IMC	0,62	*				DH.point.4	-1,24	0,003
VEmax	0,59	*						
VCO2max	0,56	*						
age	0,44	*						
taille	0,38	*						
Fcs2_FCMR	0,33	0,001						
Ps2_PMA	0,27	0,009						
VEs2_VEmax	0,21	0,040						
SL.rank	0,21	0,046						
DH.rank	-0,24	0,021						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 141 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
ERCO2max	0,79	*	--	--	--	GS	-0,74	0,047
ERO2max	0,75	*						
VO2s2_VO2max	0,44	*						
Ps2_PMA	0,41	*						
SG.rank	0,30	0,004						
Ps2	0,27	0,007						
Fcs2_FCMR	0,25	0,016						
DH.rank	0,23	0,028						
VEmax	0,21	0,043						
Lamax	-0,23	0,025						
ERO2s2_ERO2max	-0,30	0,003						
ERCO2s2_ERCO2max	-0,46	*						
VCO2max	-0,46	*						
VO2max	-0,49	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 142 : Description de la 4° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Qrmax	0,75	*	GS.point	0,21	*	T	1,45	0,001
VCO2max	0,52	*	ss.specialite	0,23	0,001	SL.point.2	1,02	0,005
Ps2_PMA	0,31	0,002	specialite	0,13	0,001	GS	0,75	0,011
Fcs2_FCMR	0,25	0,015	SL.point	0,17	0,002	GS.point.1	0,77	0,014
Las2	0,22	0,035				DH.point.4	0,75	0,015
VO2s2_VO2max	0,22	0,036				T	0,53	0,048
Ps2	0,21	0,041				SL.point.NC	-1,01	0,025
DH.rank	0,20	0,047				SL.point.4	-0,57	0,020
SL.rank	-0,23	0,025				GS.point.4	-1,07	*
IMC	-0,28	0,006						
ERO2s2_ERO2max	-0,29	0,005						
GS.rank	-0,31	0,002						
ERCO2max	-0,33	0,001						
taille	-0,41	*						
poids	-0,50	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 143 : Description de la 5° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Las2	0,69	*	SL.point	0,29	0,00	SL.point.NC	1,21	0,00
age	0,53	*	SG.point	0,23	0,00	SG	0,93	0,02
Lamax	0,49	*	DH.point	0,19	0,00	SG.point.2	0,88	0,02
SL.rank	0,48	*	ss.specialite	0,16	0,01	DH.point.3	-0,53	0,03
IMC	0,41	*	specialite	0,07	0,04	T	-0,88	0,02
FCMR	-0,20	0,049				SL.point.2	-0,78	0,01
SG.rank	-0,24	0,018				SG.point.4	-0,97	0,00
taille	-0,33	0,001				DH.point.4	-0,86	0,00
						SL.point.3	-0,80	0,00

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
\* : p<0,001

### **2.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse en Composantes Principales :**

**Tableau 144 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

	1° groupe	2° groupe	3° groupe
Effectifs	43	36	16

## 2.3.1. Tableaux :

Tableau 145 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SG.point=SG.point.1	83,33	23,26	12,63	0,010	2,56
ss.specialite=SL	70,59	27,91	17,89	0,040	2,05
ss.specialite=GS	22,73	11,63	23,16	0,027	-2,22

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Ps2	6,53	287,44	260,21	29,81	36,79	<0,001
PMA	5,70	394,88	370,11	28,15	38,35	<0,001
VEmax	4,51	168,23	156,22	17,92	23,46	<0,001
Fcs2_FCMR	3,60	90,16	88,24	2,97	4,69	<0,001
poids	3,52	86,71	83,49	7,69	8,06	<0,001
VO2max	3,20	5,16	4,93	0,58	0,61	0,001
VCO2max	3,19	5,97	5,68	0,80	0,80	0,001
Ps2_PMA	3,02	72,74	70,35	4,92	6,99	0,003
taille	2,94	181,77	179,89	5,51	5,61	0,003
ERO2max	2,57	32,86	31,74	3,80	3,82	0,010
VO2s2_VO2max	2,34	78,16	75,78	6,36	8,98	0,019
age	2,18	25,67	24,61	4,27	4,27	0,029
ERCO2max	2,14	28,45	27,65	3,17	3,26	0,032
IMC	1,99	26,24	25,78	1,93	2,03	0,047
Lamax	-2,45	11,86	12,63	2,15	2,79	0,014
Las2	-2,47	4,04	4,32	0,72	1,00	0,014

**Tableau 146 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
ss.specialite=GS	63,64	38,89	23,16	0,010	2,56
DH.point=DH.point.4	52,94	50,00	35,79	0,042	2,03

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Las2	2,63	4,67	4,32	1,18	1,00	0,009
VEs2_VEmax	2,48	61,93	58,35	8,59	10,92	0,013
ERO2s2_ERO2max	2,46	79,52	76,70	6,51	8,67	0,014
ERCO2s2_ERCO2max	2,25	92,34	89,96	5,30	8,01	0,024
age	-2,22	23,36	24,61	4,24	4,27	0,026
IMC	-3,07	24,96	25,78	2,16	2,03	0,002
taille	-3,50	177,31	179,89	4,96	5,61	<0,001
ERCO2max	-3,71	26,05	27,65	2,20	3,26	<0,001
ERO2max	-3,98	29,74	31,74	2,76	3,82	<0,001
Ps2	-3,99	240,83	260,21	27,83	36,79	<0,001
VCO2max	-4,61	5,19	5,68	0,53	0,80	<0,001
poids	-4,76	78,43	83,49	6,70	8,06	<0,001
VO2max	-4,90	4,54	4,93	0,40	0,61	<0,001
PMA	-6,60	336,67	370,11	29,25	38,35	<0,001
VEmax	-6,88	134,91	156,22	16,37	23,46	<0,001

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 147 : Description du 3<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-Eq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.3	27,50	68,75	42,11	0,037	2,08

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
Lamax	3,57	14,91	12,63	2,50	2,79	<0,001
VEmax	2,92	171,90	156,22	12,16	23,46	0,004
VO2max	2,09	5,23	4,93	0,61	0,61	0,037
ERCO2max	1,97	29,13	27,65	3,98	3,26	0,049
Ps2	-3,51	230,63	260,21	13,91	36,79	<0,001
ERCO2s2_ERCO2max	-3,56	83,43	89,96	8,63	8,01	<0,001
ERO2s2_ERO2max	-3,94	68,87	76,70	6,16	8,67	<0,001
VO2s2_VO2max	-5,45	64,56	75,78	7,52	8,98	<0,001
VEs2_VEmax	-5,57	44,42	58,35	6,18	10,92	<0,001
Ps2_PMA	-5,82	61,03	70,35	4,44	6,99	<0,001
Fcs2_FCMR	-6,42	81,35	88,24	3,31	4,69	<0,001

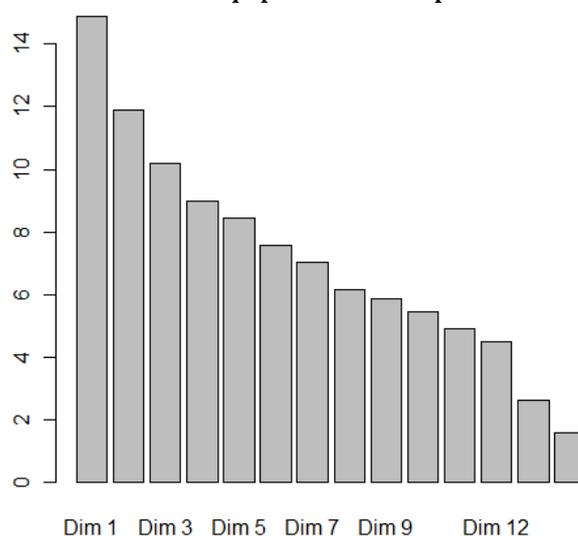
### 3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES :

#### 3.1. Inertie des dimensions :

Tableau 148 : Inertie des dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	0,50	14,90	14,90
dim 2	0,40	11,90	26,80
dim 3	0,40	10,20	37,00
dim 4	0,30	9,00	45,90
dim 5	0,30	8,50	54,40
dim 6	0,30	7,60	61,90
dim 7	0,20	7,00	69,00
dim 8	0,20	6,10	75,10
dim 9	0,20	5,90	81,00
dim 10	0,20	5,40	86,40
dim 11	0,20	4,90	91,30
dim 12	0,20	4,50	95,80
dim 13	0,10	2,60	98,40
dim 14	0,10	1,60	100,00

Figure 140 : Diagramme des inerties de l'ACM de la sous-population H-V-Eq



#### 3.2. Résultats :

##### 3.2.1. Graphiques :

Figure 141 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

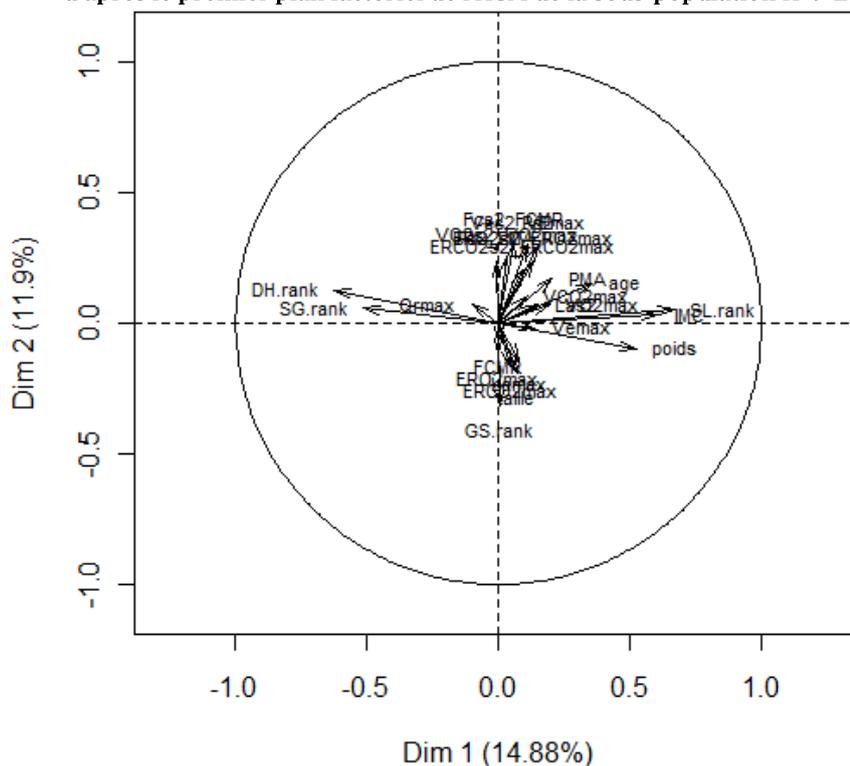
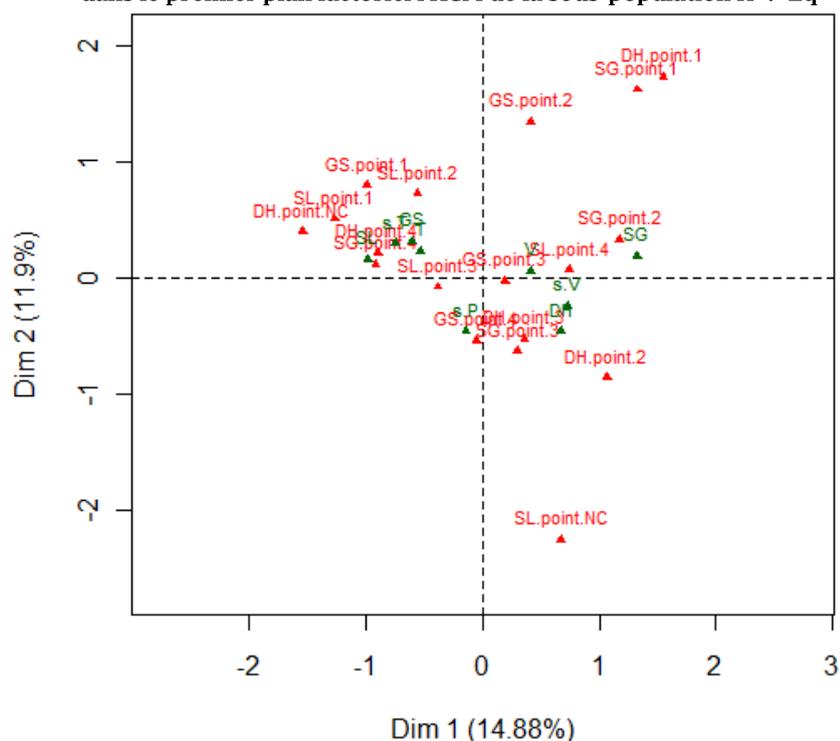


Figure 142 : Distribution des spécialités et sous-spécialités (en vert) et des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population H-V-Eq



### 3.2.2. Tableaux :

Tableau 149 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,67	*	DH.point	0,80	*	DH.point.1	1,04	*
IMC	0,61	*	SG.point	0,68	*	DH.point.2	0,69	*
poids	0,52	*	ss.specialite	0,58	*	SL.point.4	0,65	*
age	0,36	*	specialite	0,52	*	SG	0,92	*
PMA	0,21	0,027	SL.point	0,47	*	SG.point.1	0,62	*
VO2max	0,19	0,037	GS.point	0,13	0,001	DH	0,45	*
SG.rank	-0,51	*				s.V	0,57	*
DH.rank	-0,62	*				SG.point.2	0,51	*
						SL.point.NC	0,60	0,001
						DH.point.3	0,18	0,003
						GS.point.2	0,38	0,021
						V	0,26	0,034
						GS.point.3	0,22	0,043
						SL.point.2	-0,29	0,048
						T	-0,42	0,002
						GS.point.1	-0,64	*
						GS	-0,47	*
						SL.point.1	-0,80	*
						s.T	-0,50	*
						SL	-0,74	*
						DH.point.NC	-1,19	*
						DH.point.4	-0,72	*
						SG.point.4	-1,00	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 150 : Description de la 2<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
Fcs2_FCMR	0,31	0,001	DH.point	0,51	*	DH.point.1	0,99	*
VEs2_VEmax	0,30	0,001	SG.point	0,45	*	SG.point.1	0,82	*
Ps2	0,30	0,001	GS.point	0,37	*	GS.point.2	0,61	*
VO2s2_VO2max	0,25	0,006	SL.point	0,34	*	SL.point.2	0,60	*
ERO2s2_ERO2max	0,24	0,010	specialite	0,08	0,008	SL.point.1	0,46	0,002
Ps2_PMA	0,24	0,011	ss.specialite	0,10	0,033	s.T	0,28	0,009
ERCO2s2_ERCO2max	0,21	0,027				GS.point.1	0,26	0,035
taille	-0,19	0,040				DH	-0,35	0,001
GS.rank	-0,32	0,001				GS.point.3	-0,27	0,001
						DH.point.2	-0,68	*
						DH.point.3	-0,46	*
						GS.point.4	-0,60	*
						SL.point.NC	-1,32	*
						SG.point.3	-0,64	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 151 : Description de la 3<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
IMC	0,19	0,046	GS.point	0,52	*	GS.point.3	0,67	*
			SG.point	0,50	*	SG.point.2	1,04	*
			DH.point	0,25	*	DH.point.2	0,48	0,001
			SL.point	0,16	0,001	SL.point.1	0,45	0,003
			ss.specialite	0,10	0,043	SL	0,35	0,004
						SL.point.3	0,24	0,014
						DH.point.4	-0,21	0,031
						SL.point.2	-0,42	0,006
						DH.point.3	-0,50	*
						SG.point.1	-0,56	*
						SG.point.3	-0,40	*
						GS.point.2	-0,64	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001

**Tableau 152 : Description de la 4<sup>e</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-V-Eq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
age	0,46	*	GS.point	0,53	*	GS.point.1	0,91	*
DH.rank	-0,22	0,017	DH.point	0,37	*	DH.point.NC	1,21	*
GS.rank	-0,33	*	SG.point	0,21	*	SG.point.3	0,26	0,002
SG.rank	-0,34	*	SL.point	0,14	0,002	GS	0,32	0,002
			ss.specialite	0,11	0,019	SL.point.NC	0,34	0,043
						GS.point.3	-0,15	0,017
						GS.point.2	-0,25	0,008
						DH.point.3	-0,25	0,003
						DH.point.1	-0,38	0,002
						SG.point.4	-0,31	0,001
						SL.point.4	-0,38	*
						DH.point.4	-0,57	*
						GS.point.4	-0,52	*

$\rho$  : coefficient de corrélation  
V.test = test de variance  
Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
\* : p<0,001



### 3.3.2. Tableaux :

Tableau 155 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
specialite=s.T	77,78	91,30	46,55	<0,001	8,06
DH.point=DH.point.4	80,00	78,26	38,79	<0,001	7,06
ss.specialite=SL	95,00	41,30	17,24	<0,001	5,48
SG.point=SG.point.4	69,57	69,57	39,66	<0,001	5,20
SL.point=SL.point.2	100,00	23,91	9,48	<0,001	4,15
GS.point=GS.point.1	91,67	23,91	10,34	<0,001	3,63
ss.specialite=GS	66,67	39,13	23,28	0,002	3,03
SL.point=SL.point.3	56,82	54,35	37,93	0,006	2,75
SL.point=SL.point.1	81,82	19,57	9,48	0,008	2,67
DH.point=DH.point.NC	100,00	8,70	3,45	0,046	2,00
SG.point=SG.point.1	8,33	2,17	10,34	0,032	-2,14
ss.specialite=SG	0,00	0,00	7,76	0,017	-2,39
SG.point=SG.point.3	23,91	23,91	39,66	0,008	-2,65
DH.point=DH.point.2	0,00	0,00	9,48	0,006	-2,78
ss.specialite=V	0,00	0,00	10,34	0,003	-2,96
DH.point=DH.point.1	0,00	0,00	10,34	0,003	-2,96
DH.point=DH.point.3	13,64	13,04	37,93	<0,001	-4,44
ss.specialite=DH	2,86	2,17	30,17	<0,001	-5,63
SL.point=SL.point.4	2,27	2,17	37,93	<0,001	-6,84
specialite=s.V	1,79	2,17	48,28	<0,001	-8,56

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
DH.rank	6,14	755,86	388,21	636,38	520,18	<0,001
SG.rank	3,93	580,36	351,15	610,89	506,68	<0,001
poids	-4,38	78,93	83,08	7,14	8,24	<0,001
IMC	-4,66	24,56	25,66	1,70	2,06	<0,001
SL.rank	-6,03	327,04	1650,41	350,04	1906,42	<0,001

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Tableau 156 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
DH.point=DH.point.3	72,73	74,42	37,93	<0,001	6,10
SG.point=SG.point.3	63,04	67,44	39,66	<0,001	4,52
ss.specialite=DH	65,71	53,49	30,17	<0,001	3,96
specialite=s.V	55,36	72,09	48,28	<0,001	3,79
GS.point=GS.point.4	58,70	62,79	39,66	<0,001	3,72
SL.point=SL.point.4	59,09	60,47	37,93	<0,001	3,64
SL.point=SL.point.NC	100,00	13,95	5,17	0,004	2,87
GS.point=GS.point.3	23,91	25,58	39,66	0,027	-2,20
SL.point=SL.point.3	22,73	23,26	37,93	0,020	-2,33
SL.point=SL.point.2	0,00	0,00	9,48	0,009	-2,61
SG.point=SG.point.2	0,00	0,00	9,48	0,009	-2,61
GS.point=GS.point.1	0,00	0,00	10,34	0,005	-2,79
SG.point=SG.point.1	0,00	0,00	10,34	0,005	-2,79
DH.point=DH.point.1	0,00	0,00	10,34	0,005	-2,79
DH.point=DH.point.4	20,00	20,93	38,79	0,004	-2,89
specialite=s.T	18,52	23,26	46,55	<0,001	-3,73
ss.specialite=SL	0,00	0,00	17,24	<0,001	-4,01

Variabes quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SL.rank	2,97	2338,46	1650,41	1848,76	1906,42	0,003
GS.rank	2,23	706,67	538,13	757,23	623,34	0,026
VEs2_VEmax	-2,08	55,99	58,72	9,81	10,79	0,037
DH.rank	-2,35	239,44	388,21	290,20	520,18	0,019
Ps2	-2,37	250,70	261,29	32,02	36,85	0,018

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Tableau 157 : Description du 3<sup>e</sup> groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-Eq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
DH.point=DH.point.1	100,00	44,44	10,34	<0,001	5,85	IMC	5,03	27,42	25,66	1,86	2,06	<0,001
SG.point=SG.point.1	91,67	40,74	10,34	<0,001	5,10	SL.rank	4,06	2962,15	1650,41	2138,31	1906,42	<0,001
specialite=s.V	42,86	88,89	48,28	<0,001	4,79	age	3,87	27,07	24,11	2,90	4,50	<0,001
SG.point=SG.point.2	90,91	37,04	9,48	<0,001	4,76	poids	3,62	88,13	83,08	6,21	8,24	<0,001
DH.point=DH.point.2	81,82	33,33	9,48	<0,001	4,06	Ps2	3,00	280,00	261,29	38,30	36,85	0,003
ss.specialite=SG	77,78	25,93	7,76	0,001	3,30	PMA	2,82	386,67	367,93	34,96	39,29	0,005
SL.point=SL.point.4	38,64	62,96	37,93	0,005	2,80	VEs2_VEmax	2,74	63,72	58,72	11,15	10,79	0,006
GS.point=GS.point.3	34,78	59,26	39,66	0,033	2,14	ERO2s2_ERO2max	2,48	80,72	77,11	8,73	8,58	0,013
ss.specialite=SL	5,00	3,70	17,24	0,049	-1,97	Las2	2,28	4,70	4,32	0,98	1,00	0,023
ss.specialite=GS	3,70	3,70	23,28	0,006	-2,73	Fcs2_FCMR	2,04	90,29	88,72	4,42	4,52	0,041
specialite=s.T	3,70	7,41	46,55	<0,001	-4,72	ERCO2s2_ERCO2max	2,04	93,21	90,52	7,88	7,79	0,041
DH.point=DH.point.4	0,00	0,00	38,79	<0,001	-5,12	SG.rank	-3,21	75,67	351,15	34,89	506,68	0,001
SG.point=SG.point.4	0,00	0,00	39,66	<0,001	-5,21	DH.rank	-3,80	53,22	388,21	39,94	520,18	<0,001

Légendes : se référer à celle du Tableau 156

## Annexe 9.

# RESULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES DE LA SOUS-POPULATION DES HOMMES, HORS EQUIPE, SUR ERGOCYCLE

La sous-population H-V-HEq compte 64 individus.

## 1. RECODAGE DES NIVEAUX DE PERFORMANCES :

Tableau 158 : Correspondance pour chaque type d'épreuve entre les points FIS et les niveaux de performance, dans la population H-V-HEq.

	DH	SG	GS	SL
Très performant	≤51,2	≤39,9	≤28,8	≤31,2
Performant	]51,2 ; 70,5]	]39,9 ; 62]	]28,8 ; 47,4]	]31,2 ; 51,8]
Peu performant	]70,5 ; 123]	]62 ; 95,4]	]47,4 ; 79,4]	]51,8 ; 90,2]
Très peu performants	]123 ; 265]	]95,4 ; 429]	]79,4 ; 271]	]90,2 ; 268]

## 2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES :

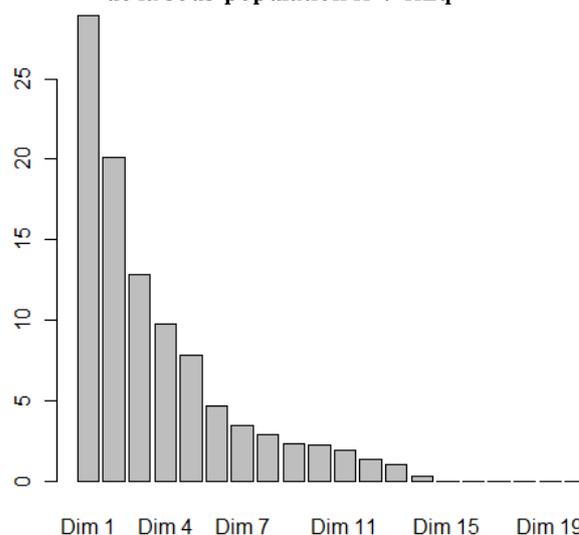
7 individus n'ont pu être analysés, en raison d'observations incomplètes. Ainsi l'effectif de cette sous-population sera de 57 dans cette analyse.

### 2.1. Inertie des dimensions :

Tableau 159 : Inertie des dimensions de l'ACP de la sous-population H-V-HEq

dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	5,78	28,9	28,9
dim 2	4,03	20,1	49,1
dim 3	2,57	12,9	61,9
dim 4	1,95	9,7	71,6
dim 5	1,57	7,9	79,5
dim 6	0,94	4,7	84,2
dim 7	0,70	3,5	87,7
dim 8	0,58	2,9	90,6
dim 9	0,46	2,3	92,9
dim 10	0,45	2,3	95,1
dim 11	0,39	2,0	97,1
dim 12	0,27	1,4	98,5
dim 13	0,22	1,1	99,6
dim 14	0,07	0,4	99,9
dim 15	0,01	0,0	100,0
dim 16	0,00	0,0	100,0
dim 17	0,00	0,0	100,0
dim 18	0,00	0,0	100,0
dim 19	0,00	0,0	100,0
dim 20	0,00	0,0	100,0

Figure 144 : Diagramme des inerties de l'ACP de la sous-population H-V-HEq



## 2.2. Résultats :

### 2.2.1. Graphiques :

Figure 145 : Cercle de corrélation des variables actives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-HEq

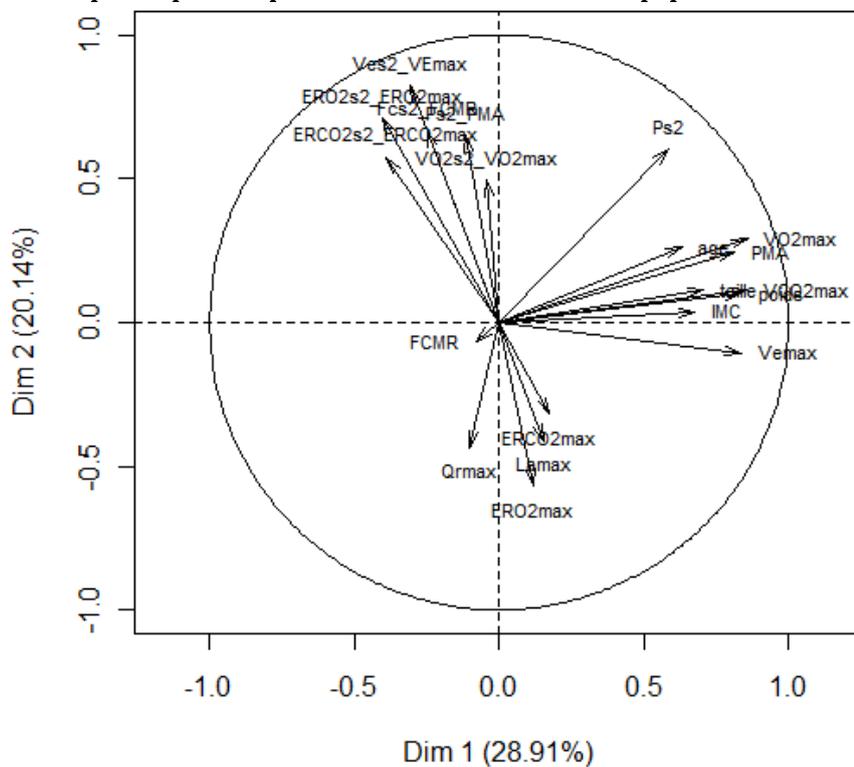


Figure 146 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-HEq

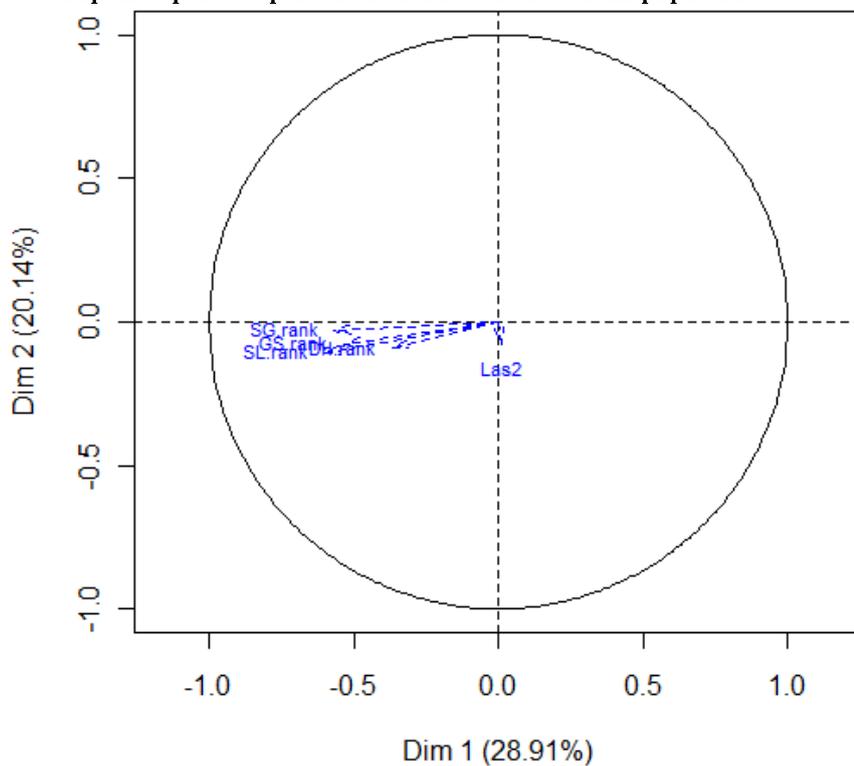
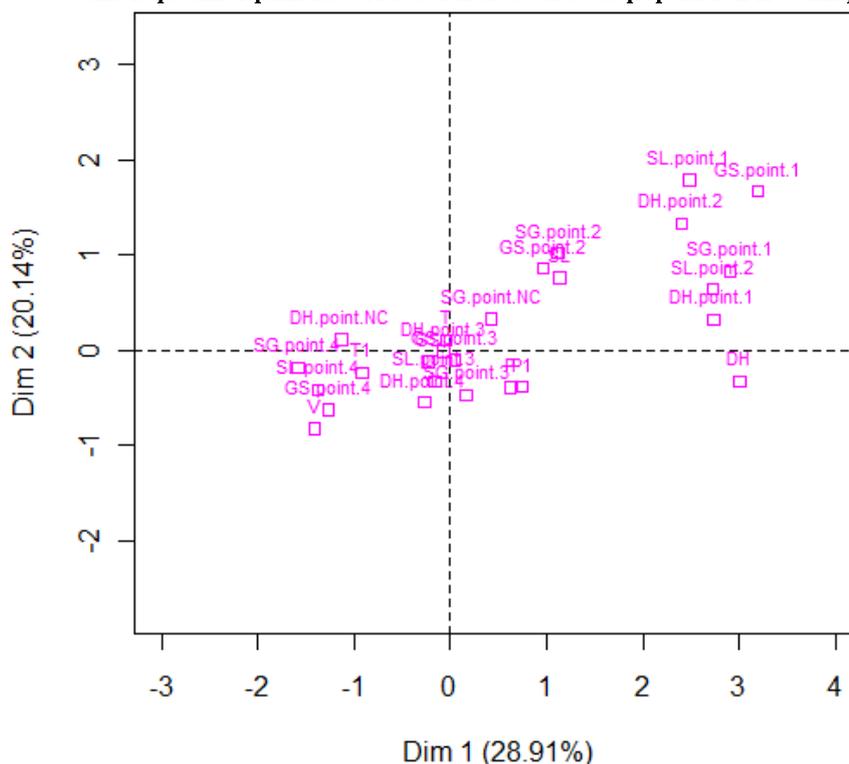


Figure 147 : Distribution des spécialités, sous-spécialités et des niveaux de performances dans le premier plan factoriel de l'ACP de la sous-population H-V-HEq



## 2.2.2. Tableaux :

Tableau 160 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACP de la sous-population H-V-HEq

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
VO2max	0,86	*	SL.point	0,39	*	GS.point.1	2,46	*
VCO2max	0,85	*	GS.point	0,35	*	SG.point.1	2,31	0,003
poids	0,84	*	SG.point	0,33	*	SL.point.2	1,81	0,007
VEmax	0,84	*	DH.point	0,25	0,004	SL.point.1	1,56	0,012
PMA	0,81	*	ss.specialite	0,23	0,019	DH.point.1	2,00	0,020
taille	0,71	*				SL.point.3	-1,08	0,014
IMC	0,68	*				V	-5,49	0,003
age	0,63	*				DH.point.NC	-1,87	0,003
Ps2	0,58	*				GS.point.4	-2,00	*
VEs2_VEmax	-0,31	0,020				SG.point.4	-2,19	*
DH.rank	-0,37	0,005				SL.point.4	-2,29	*
ERCO2s2_ERCO2max	-0,39	0,003						
ERO2s2_ERO2max	-0,40	0,002						
GS.rank	-0,53	*						
SG.rank	-0,57	*						
SL.rank	-0,60	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 161 : Description de la 2° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
VEs2_VEmax	0,82	*	GS.point	0,14	0,040	SL.point.1	1,37	0,027
ERO2s2_ERO2max	0,71	*				GS.point.1	1,22	0,047
Fcs2_FCMR	0,67	*				GS.point.4	-1,07	0,028
Ps2_PMA	0,65	*						
Ps2	0,60	*						
ERCO2s2_ERCO2max	0,58	*						
VO2s2_VO2max	0,49	*						
VO2max	0,29	0,028						
age	0,26	0,049						
ERCO2max	-0,32	0,016						
Lamax	-0,41	0,001						
Qrmax	-0,43	0,001						
ERO2max	-0,57	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
 V.test = test de variance  
 Légende des Catégories, variables quantitatives  
 et qualitatives : cf. Annexe 1  
 \* : p<0,001

**Tableau 162 : Description de la 3° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
ERCO2max	0,69	*	--	--	--	SG.point.NC	1,22	0,027
ERO2max	0,69	*				GS.point.4	0,79	0,047
FCMR	0,51	*						
Ps2_PMA	0,49	*						
VEmax	0,42	0,001						
Lamax	0,42	0,001						
Ps2	0,39	0,003						
VO2s2_VO2max	0,36	0,005						
Fcs2_FCMR	0,32	0,017						
IMC	-0,26	0,047						
poids	-0,32	0,014						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
 V.test = test de variance  
 Légende des Catégories, variables quantitatives  
 et qualitatives : cf. Annexe 1  
 \* : p<0,001

**Tableau 163 : Description de la 4° dimension de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
FCMR	0,57	*	--	--	--	SG.point.1	-1,07	0,034
ERCO2s2_ERCO2max	0,51	*				DH.point.1	-1,19	0,026
Lamax	0,45	*						
PMA	0,35	0,008						
VO2max	0,27	0,039						
VCO2max	0,26	0,047						
poids	-0,29	0,030						
IMC	-0,31	0,017						
VO2s2_VO2max	-0,59	*						

$\rho$  : coefficient de corrélation  
 V.test = test de variance  
 Légende des Catégories, variables quantitatives  
 et qualitatives : cf. Annexe 1  
 \* : p<0,001



## 2.3.2. Tableaux :

Tableau 166 : Description du 1<sup>o</sup> groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-HEq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.4	34,78	72,727	40,35	0,037	2,083

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SL.rank	3,17	3038,73	1957,42	1472,47	1247,20	0,002
GS.rank	3,07	2817,55	1796,86	1665,83	1218,27	0,002
SG.rank	2,97	2153,00	1337,96	1267,34	1003,15	0,003
ERO2s2_ERO2max	2,75	84,26	78,47	4,71	7,71	0,006
VEs2_VEmax	2,66	67,12	60,50	6,94	9,12	0,008
ERCO2s2_ERCO2max	2,53	95,56	90,96	3,34	6,65	0,011
IMC	-2,10	21,76	22,97	1,66	2,10	0,036
ERO2max	-2,22	29,50	31,89	2,41	3,94	0,027
Lamax	-2,41	9,87	11,62	2,43	2,66	0,016
ERCO2max	-2,51	25,13	27,41	2,17	3,32	0,012
age	-2,58	16,04	17,43	0,77	1,98	0,010
poids	-3,39	62,34	71,08	8,25	9,45	0,001
Ps2	-3,47	201,82	237,54	36,39	37,71	0,001
taille	-3,96	168,82	175,63	6,01	6,29	<0,001
VCO2max	-4,16	4,05	4,90	0,61	0,75	<0,001
VO2max	-4,17	3,46	4,22	0,56	0,67	<0,001
PMA	-4,88	270,00	325,79	33,84	41,84	<0,001
VEmax	-5,04	102,26	133,94	19,89	23,00	<0,001

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

v.test : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 167 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
--	--	--	--	--	--

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
**Grp/Cat** : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.

**Cat/Grp** : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.

**Global** : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.

**v.test** : test de variance

$\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;

$\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
ERO2max	3,20	35,54	31,89	4,42	3,94	0,001
Qrmax	2,88	1,23	1,17	0,10	0,08	0,004
Las2	2,65	5,40	4,65	0,99	0,97	0,008
Fcs2_FCMR	-3,49	85,88	89,86	2,96	3,93	<0,001
VEs2_VEmax	-3,68	50,79	60,50	4,92	9,12	<0,001
ERCO2s2_ERCO2max	-5,07	81,20	90,96	5,37	6,65	<0,001
ERO2s2_ERO2max	-5,18	66,90	78,47	6,36	7,71	<0,001

**Tableau 168 : Description du 3° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.3	68,18	60	38,60	0,008	2,674
SG.point=SG.point.2	0,00	0,00	10,53	0,050	-1,960

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
FCMR	2,92	197,92	194,04	6,72	8,81	0,004
DH.rank	2,00	1136,71	969,37	520,82	554,43	0,046

Légendes : se référer à celle du Tableau 167

**Tableau 169 : Description du 4° groupe de la CAH de l'ACP de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SL.point=SL.point.1	71,43	45,455	12,28	0,004	2,896
GS.point=GS.point.1	71,43	45,455	12,28	0,004	2,896
SG.point=SG.point.2	66,67	36,364	10,53	0,020	2,326
ss.specialite=SL	46,15	54,545	22,81	0,023	2,275
DH.point=DH.point.2	75,00	27,273	7,02	0,040	2,053
SL.point=SL.point.3	4,55	9,091	38,60	0,048	-1,975
GS.point=GS.point.4	4,35	9,091	40,35	0,036	-2,099
SG.point=SG.point.4	0,00	<0,001	33,33	0,013	-2,483

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
age	5,32	20,31	17,43	2,22	1,98	<0,001
poids	4,84	83,58	71,08	6,46	9,45	<0,001
PMA	4,42	376,36	325,79	26,72	41,84	<0,001
VO2max	4,39	5,02	4,22	0,42	0,67	<0,001
VCO2max	4,09	5,73	4,90	0,48	0,75	<0,001
taille	4,05	182,59	175,63	4,26	6,29	<0,001
Ps2	3,94	278,18	237,54	25,87	37,71	<0,001
IMC	3,62	25,05	22,97	1,44	2,10	<0,001
VEmax	2,65	150,62	133,94	17,85	23,00	0,008
DH.rank	-2,35	613,40	969,37	447,78	554,43	0,019
GS.rank	-2,73	887,18	1796,86	1222,95	1218,27	0,006
SL.rank	-2,95	952,55	1957,42	1130,30	1247,20	0,003
SG.rank	-3,23	452,40	1337,96	293,35	1003,15	0,001

Légendes : se référer à celle du Tableau 167

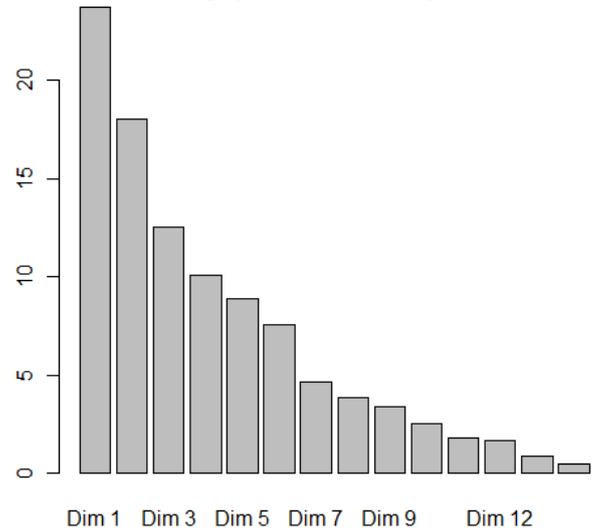
### 3. ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES :

#### 3.1. Inertie des dimensions :

Tableau 170 : Inertie des dimensions de l'ACM de la sous-population H-V-HEq

dimensions	Valeurs propres	Pourcentage d'inertie	Pourcentage cumulé d'inertie
dim 1	0,80	23,70	23,70
dim 2	0,60	18,00	41,70
dim 3	0,40	12,50	54,20
dim 4	0,40	10,10	64,30
dim 5	0,30	8,90	73,20
dim 6	0,30	7,50	80,80
dim 7	0,20	4,70	85,40
dim 8	0,10	3,80	89,30
dim 9	0,10	3,40	92,60
dim 10	0,10	2,50	95,20
dim 11	0,10	1,80	97,00
dim 12	0,10	1,60	98,60
dim 13	0,00	0,90	99,50
dim 14	0,00	0,50	100,00

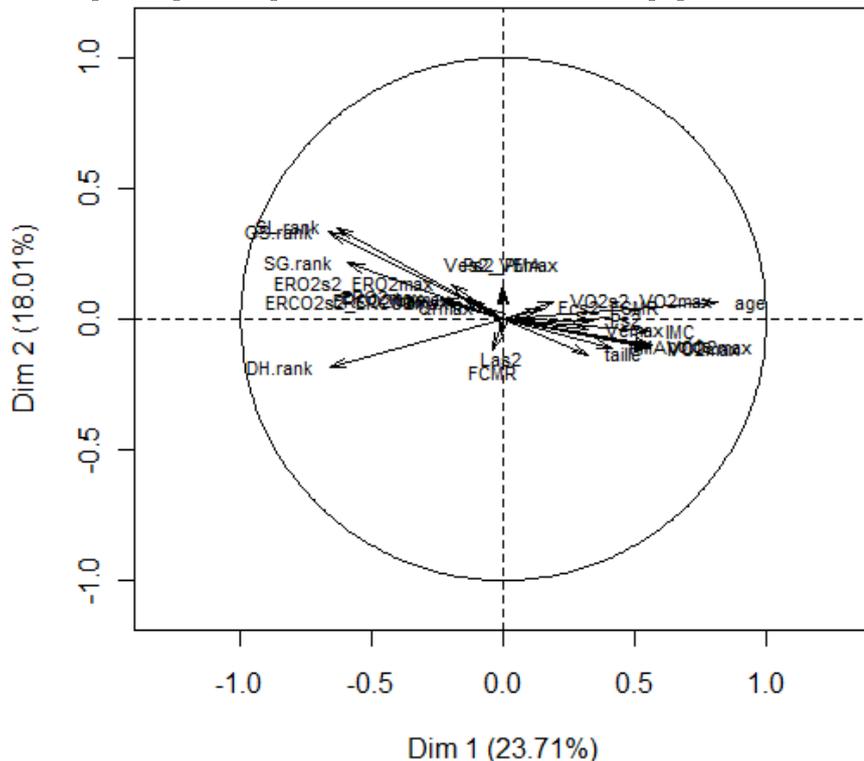
Figure 149 : Diagramme des inerties de l'ACM de la sous-population H-V-HEq



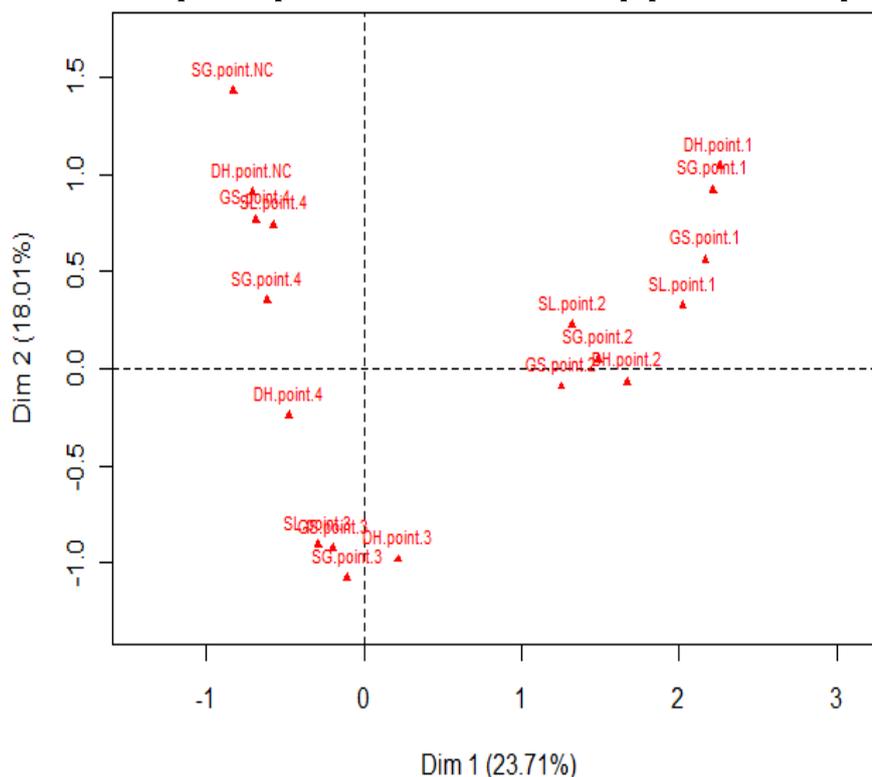
#### 3.2. Résultats :

##### 3.2.1. Graphiques :

Figure 150 : Cercle de corrélation des variables supplémentaires quantitatives d'après le premier plan factoriel de l'ACM de la sous-population H-V-HEq



**Figure 151 : Distribution des niveaux de performances par discipline (en rouge) dans le premier plan factoriel l'ACM de la sous-population H-V-HEq**



### 3.2.2. Tableaux :

**Tableau 171 : Description de la 1<sup>o</sup> dimension de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	$r^2$	p	catégories	V.test	p
age	0,81	*	SG.point	0,88	*	SG.point.1	1,62	*
poids	0,56	*	GS.point	0,87	*	GS.point.1	1,40	*
VO2max	0,56	*	DH.point	0,80	*	DH.point.1	1,52	*
VCO2max	0,56	*	SL.point	0,78	*	SL.point.1	1,28	*
IMC	0,56	*				SG.point.2	0,96	*
PMA	0,42	0,001				DH.point.2	0,98	*
Ps2	0,34	0,006				GS.point.2	0,56	*
VEmax	0,32	0,009				SL.point.2	0,64	*
taille	0,32	0,010				T	-0,44	0,048
SG.rank	-0,59	*				DH.point.3	-0,34	0,002
SL.rank	-0,63	*				SG.point.3	-0,49	*
DH.rank	-0,66	*				SL.point.3	-0,83	*
GS.rank	-0,66	*				DH.point.4	-0,97	*
						SL.point.4	-1,09	*
						DH.point.NC	-1,18	*
						GS.point.3	-0,76	*
						SG.point.NC	-1,15	*
						SG.point.4	-0,95	*
						GS.point.4	-1,20	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives

et qualitatives : cf. Annexe 1

\* :  $p < 0,001$

**Tableau 172 : Description de la 2° dimension de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
SL.rank	0,35	0,004	SG.point	0,74	*	SG.point.NC	0,87	*
GS.rank	0,33	0,007	GS.point	0,61	*	DH.point.NC	0,62	*
			DH.point	0,62	*	GS.point.4	0,55	*
			SL.point	0,56	*	SL.point.4	0,51	*
						DH.point.1	0,72	*
						SG.point.1	0,47	0,002
						GS.point.1	0,38	0,019
						T	0,40	0,042
						DH.point.4	-0,30	0,019
						SL.point.3	-0,79	*
						DH.point.3	-0,88	*
						GS.point.3	-0,79	*
						SG.point.3	-1,12	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 173 : Description de la 3° dimension de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
--	--	--	DH.point	0,84	*	DH.point.2	1,76	*
			SG.point	0,84	*	SG.point.2	1,45	*
						SG.point.4	-0,14	0,021
						SG.point.3	-0,17	0,010
						DH.point.4	-0,27	*
						SG.point.1	-1,29	*
						DH.point.1	-1,44	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

**Tableau 174 : Description de la 4° dimension de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

Variables quantitatives	$\rho$	p	Variables qualitatives	r <sup>2</sup>	p	catégories	V.test	p
--	--	--	DH.point	0,66	*	DH.point.4	0,51	*
			SG.point	0,44	*	SG.point.4	0,56	*
			SL.point	0,23	0,001	SL.point.2	0,72	*
						DH.point.2	0,49	0,002
						SL.point.1	-0,49	0,004
						DH.point.NC	-0,42	*
						SG.point.NC	-0,71	*
						DH.point.3	-0,62	*

$\rho$  : coefficient de corrélation

V.test = test de variance

Légende des Catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1

\* : p<0,001

### 3.3. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique sur les dimensions de l'Analyse des Correspondances Multiples :

Tableau 175 : Effectifs des groupes de la CAH de l'ACM de la sous-population H-TR-HEq

	1° groupe	2° groupe	3° groupe	4° groupe	5° groupe
Effectifs	16	28	7	7	6

#### 3.3.1. Tableaux :

Tableau 176 : Description du 1° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-HEq

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SG.point=SG.point.4	69,57	100,00	35,94	<0,001	6,11
GS.point=GS.point.4	57,69	93,75	40,63	<0,001	4,85
SL.point=SL.point.4	46,15	75,00	40,63	0,003	2,94
DH.point=DH.point.3	0,00	0,00	28,13	0,004	-2,87
GS.point=GS.point.3	4,00	6,25	39,06	0,003	-3,00
SG.point=SG.point.3	0,00	0,00	34,38	0,001	-3,40

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.rank	4,38	2328,88	1380,77	968,23	991,62	<0,001
SL.rank	4,02	3046,31	1975,50	1253,54	1220,86	<0,001
GS.rank	3,94	2854,25	1827,27	1287,91	1194,27	<0,001
DH.rank	3,20	1433,00	1027,73	354,26	579,84	0,001
Las2	-2,13	4,20	4,65	1,37	0,97	0,033
IMC	-2,24	21,99	22,98	1,51	2,03	0,025
age	-2,80	16,13	17,31	0,66	1,92	0,005
taille	-2,83	171,50	175,55	4,59	6,56	0,005
VEmax	-2,90	117,60	132,21	27,43	23,08	0,004
poids	-3,08	64,78	71,06	6,31	9,36	0,002
PMA	-3,14	296,56	325,39	39,08	42,01	0,002
Ps2	-3,34	210,31	237,73	30,44	37,64	0,001
VC02max	-4,00	4,16	4,83	0,62	0,76	<0,001
VO2max	-4,37	3,54	4,18	0,55	0,67	<0,001

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 177 : Description du 2° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
GS.point=GS.point.3	92,00	82,14	39,06	<0,001	6,29
SG.point=SG.point.3	95,45	75,00	34,38	<0,001	6,10
SL.point=SL.point.3	80,00	71,43	39,06	<0,001	4,52
DH.point=DH.point.3	77,78	50,00	28,13	0,001	3,18
DH.point=DH.point.NC	21,05	14,29	29,69	0,032	-2,14
SL.point=SL.point.1	0,00	0,00	10,94	0,027	-2,21
GS.point=GS.point.1	0,00	0,00	10,94	0,027	-2,21
SG.point=SG.point.NC	0,00	0,00	10,94	0,027	-2,21
SL.point=SL.point.4	23,08	21,43	40,63	0,011	-2,53
GS.point=GS.point.4	11,54	10,71	40,63	<0,001	-4,20

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
DH.rank	2,66	1248,29	1027,73	453,69	579,84	0,008

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**Tableau 178 : Description du 3° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test
SG.point=SG.point.NC	100,00	100,00	10,94	<0,001	5,92
DH.point=DH.point.NC	36,84	100,00	29,69	<0,001	3,77
GS.point=GS.point.4	26,92	100,00	40,63	0,002	3,07
SL.point=SL.point.4	23,08	85,71	40,63	0,030	2,17
GS.point=GS.point.3	0,00	0,00	39,06	0,050	-1,96

Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
GS.rank	2,18	2764,57	1827,27	891,06	1194,27	0,029

Légendes : se référer à celle du Tableau 177

**Tableau 179 : Description du 4° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.2	100,00	85,71	9,38	<0,001	5,21	age	2,95	19,34	17,31	1,46	1,92	0,003
DH.point=DH.point.2	100,00	57,14	6,25	<0,001	3,87	VCO2max	2,21	5,43	4,83	1,01	0,76	0,027
SL.point=SL.point.1	57,14	57,14	10,94	0,003	2,93	Fcs2_FCMR	2,10	92,74	89,75	2,33	3,97	0,035
GS.point=GS.point.1	42,86	42,86	10,94	0,048	1,98	VO2max	2,06	4,67	4,18	0,92	0,67	0,039
SL.point=SL.point.3	0,00	0,00	39,06	0,050	-1,96	SG.rank	-2,31	557,29	1380,77	297,53	991,62	0,021

Légendes : se référer à celle du Tableau 180

**Tableau 180 : Description du 5° groupe de la CAH de l'ACM de la sous-population H-V-HEq**

catégories	Grp/Cat	Cat/grp	Global	p	v.test	Variables quantitatives	v.test	$\bar{x}$	$\bar{X}$	$\sigma_g$	$\sigma_p$	p
SG.point=SG.point.1	100,00	100,00	9,38	<0,001	5,56	age	5,39	21,37	17,31	1,98	1,92	<0,001
DH.point=DH.point.1	100,00	83,33	7,81	<0,001	4,80	IMC	3,61	25,85	22,98	1,24	2,03	<0,001
GS.point=GS.point.1	57,14	66,67	10,94	0,002	3,17	poids	3,42	83,60	71,06	5,60	9,36	0,001
SL.point=SL.point.1	42,86	50,00	10,94	0,029	2,19	VO2max	2,47	4,83	4,18	0,26	0,67	0,013
						VCO2max	2,30	5,52	4,83	0,45	0,76	0,021
						SL.rank	-2,20	923,00	1975,50	1291,26	1220,86	0,028
						SG.rank	-3,01	212,33	1380,77	36,59	991,62	0,003
						GS.rank	-3,12	368,50	1827,27	269,67	1194,27	0,002
						DH.rank	-3,14	314,50	1027,73	363,80	579,84	0,002

Légende des catégories, variables quantitatives et qualitatives : cf. Annexe 1  
Grp/Cat : pourcentage d'athlètes d'une catégorie dans le groupe par rapport aux athlètes de la même catégorie dans la sous-population étudiée.  
Cat/Grp : fréquence de la catégorie considérée dans le groupe.  
Global : fréquence de la catégorie considérée dans la sous-population.  
v.test : test de variance  
 $\bar{x}$  et  $\bar{X}$  : moyenne respectivement dans le groupe et dans la sous-population ;  
 $\sigma_g$  et  $\sigma_p$  : Déviation standard respectivement dans le groupe et dans la sous-population.

**CONTRIBUTION A L'ANALYSE DE LA RELATION ENTRE  
LA FILIERE AEROBIE ET LES PERFORMANCES SPORTIVES  
DES SKIEURS ALPINS EN FILIERE D'ACCES AU HAUT-NIVEAU  
DE 1994 A NOS JOURS.**

**Détermination de facteurs aérobies prédictifs de la performance.**

**RESUME :**

Pour décrire la relation entre la performance en ski alpin et la filière aérobie, nous avons collecté les données de 1166 épreuves d'effort d'intensité maximale, effectuées par des skieurs alpins de 1994 à 2010.

Il existe des différences anthropométriques selon la spécialité plus apparentes chez les hommes que chez les dames. Mais l'âge moyen n'étant pas identique dans toutes les disciplines, il pourrait expliquer ces observations. L'âge, le poids et l'IMC sont les principaux facteurs de modélisation de la spécialité (Technique, Vitesse ou Polyvalent) : les plus lourds et les plus âgés sont plus généralement des spécialistes de vitesse.

Le suivi longitudinal suggère une sensibilité des facteurs aérobies aux contenus d'entraînement du skieur.

Les résultats des analyses factorielles multi-variées suggèrent qu'il n'existe pas un facteur aérobie isolé qui soit directement lié à la performance, mais un ensemble de ces facteurs ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}E$  et PMA ou VMA ...). Néanmoins, il ressort que les skieurs très performants ont le plus souvent : un âge, un poids, une taille, un IMC, une  $\dot{V}O_2max$ , une  $\dot{V}CO_2max$ , un  $\dot{V}E max$  et une PMA supérieurs à la moyenne.

Cette étude confirme l'implication, mais non-unique du métabolisme aérobie dans la performance. Le travail aérobie devrait être encouragé dans le cursus d'entraînement des skieurs alpins souhaitant accéder au plus haut niveau. Cependant il ne faut pas négliger l'intervention dans la performance de nombreux autres facteurs intrinsèques (capacités de force, qualités techniques du skieur, habiletés mentales...) et extrinsèques (matériels, environnement...).

**Mots clés :**

Physiologie  
Anthropométrie  
Métabolisme  
Aérobie  
Consommation d'oxygène  
Epreuve d'effort  
Ski/physiologie  
Ski alpin  
Skieurs  
Performance  
Performance athlétique  
Médecine du sport

# CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN AEROBIC PATHWAYS AND ATHLETIC PERFORMANCES OF ALPINE SKIERS APPROACHING THE HIGHEST LEVEL FROM 1994 TO PRESENT DAY

Search for aerobic parameters predicting athletic performances

## ABSTRACT :

In order to describe the link between alpine skiing performances and the aerobic metabolism, we collected data from 1166 maximal exercise tests on skiers from 1994 to 2010.

There are anthropometric differences, more visible for men than women, according to their specialty. However, these differences could result from the varying average age per discipline. Age, weight and BMI are the main discriminating factors to establish their specialty ("technique", "speed" or "all-rounder" group), the oldest and heaviest usually being speed group experts.

The timeline monitoring shows that aerobic power changes in regard to different training loads.

Multi-variate factor analysis results show there isn't a single isolating factor directly associated to performance, but rather a group of factors ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ ,  $\dot{V}E$  and Maximal power or speed output ...). Nonetheless, the highest achieving skiers are most often above average in age, weight, BMI, height,  $\dot{V}O_2max$ ,  $\dot{V}CO_2max$ ,  $\dot{V}E max$  and maximal power output...

This study shows the implication of aerobic metabolism, among others, in performance. Aerobic training should be encouraged in training programs for alpine skiers who wish to reach the highest level. However, the intervention of other intrinsic factors, such as strength, technicality, cerebral faculties, or extrinsic factors, such as equipment or environment, must not be disregarded.

### Keywords :

Physiology  
Anthropometry  
Oxygen consumption/physiology  
Exercise Test  
Skiing/physiology  
Alpine skiing  
Skiers  
Performance  
Athletic performance  
Sports medicine