

SESSION 2014

---

**CAPET  
CONCOURS EXTERNE  
ET CAFEP**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR  
Option : INFORMATION ET NUMÉRIQUE**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ  
OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

# SUJET

## LE DUATHLON



### Sommaire :

- Mise en situation pages 2 à 4
- 1<sup>re</sup> problématique : organiser l'évènement sportif pages 5 à 8
- 2<sup>e</sup> problématique : suivre les performances des cyclistes pages 9 à 20
- 3<sup>e</sup> problématique : assurer l'entraînement des cyclistes pages 21 à 27
- Annexes pages 28 à 30
- Documents réponses pages 31 et 32

Le **duathlon** est une activité sportive combinant une épreuve de **course à pied** suivie d'une épreuve de **cyclisme** puis d'une dernière manche de course à pied, le tout dans le même esprit que le triathlon. Les distances parcourues peuvent varier en fonction de l'âge et du niveau des participants ainsi que de l'organisateur de l'évènement. C'est la fédération internationale de triathlon (en anglais : International Triathlon Union ou ITU) qui gère ce sport au niveau international. Actuellement, le duathlon n'a pas encore été déclaré sport olympique, mais l'essor de ce sport étant grandissant d'année en année, il ne serait pas étonnant qu'il le devienne dans la prochaine décennie.



Le 3 septembre 2011 s'est organisé le 1<sup>er</sup> duathlon du PILAT à Saint-Chamont, il s'agit d'un « duathlon courte distance » c'est-à-dire qu'il comportait environ 10 km de course à pied suivi de 30 km de vélo et enfin

5 km de course à pied. L'évènement a réuni environ 500 participants partagés en différentes catégories : Espoir (1990 à 1995) - Sénior (1972 à 1989) - Vétéran 1 (1961 à 1971) - Vétéran 2 (avant 1961). Dans chacune de ces catégories, les hommes et les femmes concourent séparément.

Pour qu'une épreuve de duathlon puisse exister, deux exigences principales (voir figure 1) doivent être satisfaites :

- organiser l'évènement sportif ;
- entraîner l'athlète à l'épreuve sportive.

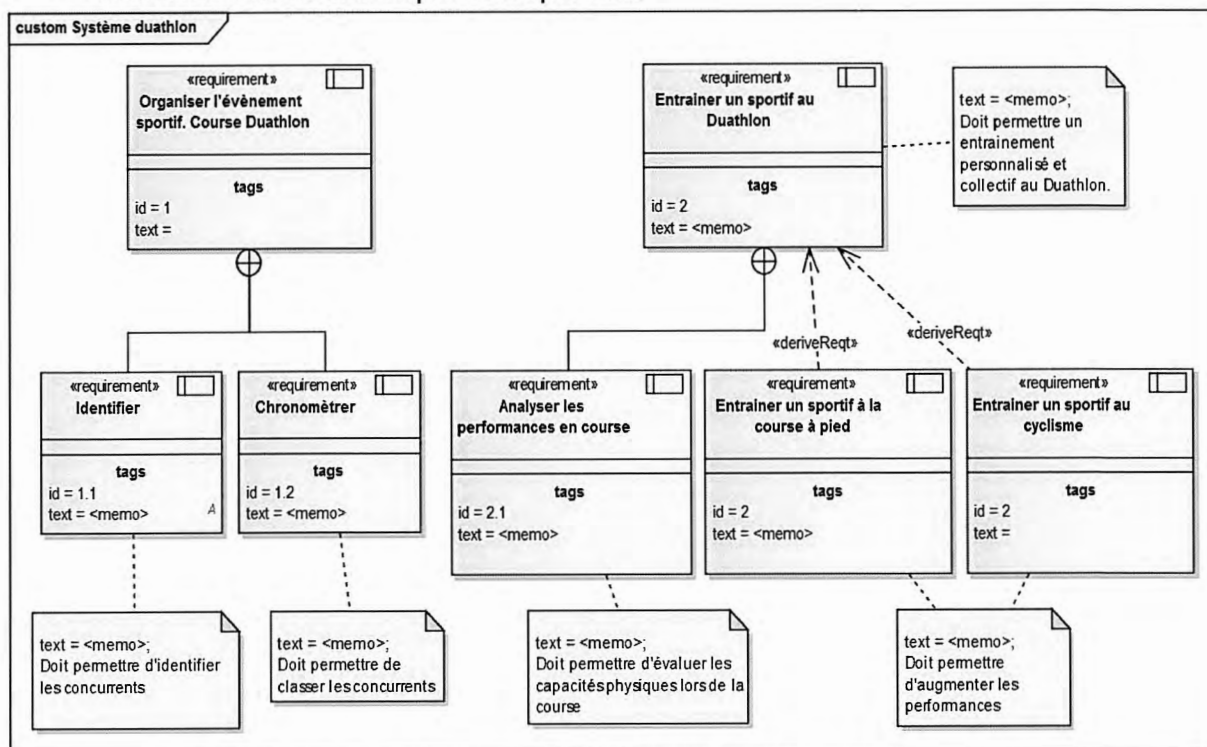


Figure 1 : diagramme des exigences « système duathlon ».

Pour répondre aux exigences du système duathlon lors de la course, différentes données acquises au cours des différentes étapes doivent être collectées et enregistrées. Ces données seront ensuite traitées (voir figure 2) en fonction des cas d'utilisations du système par les acteurs (organisateur course, sportif et entraîneur).

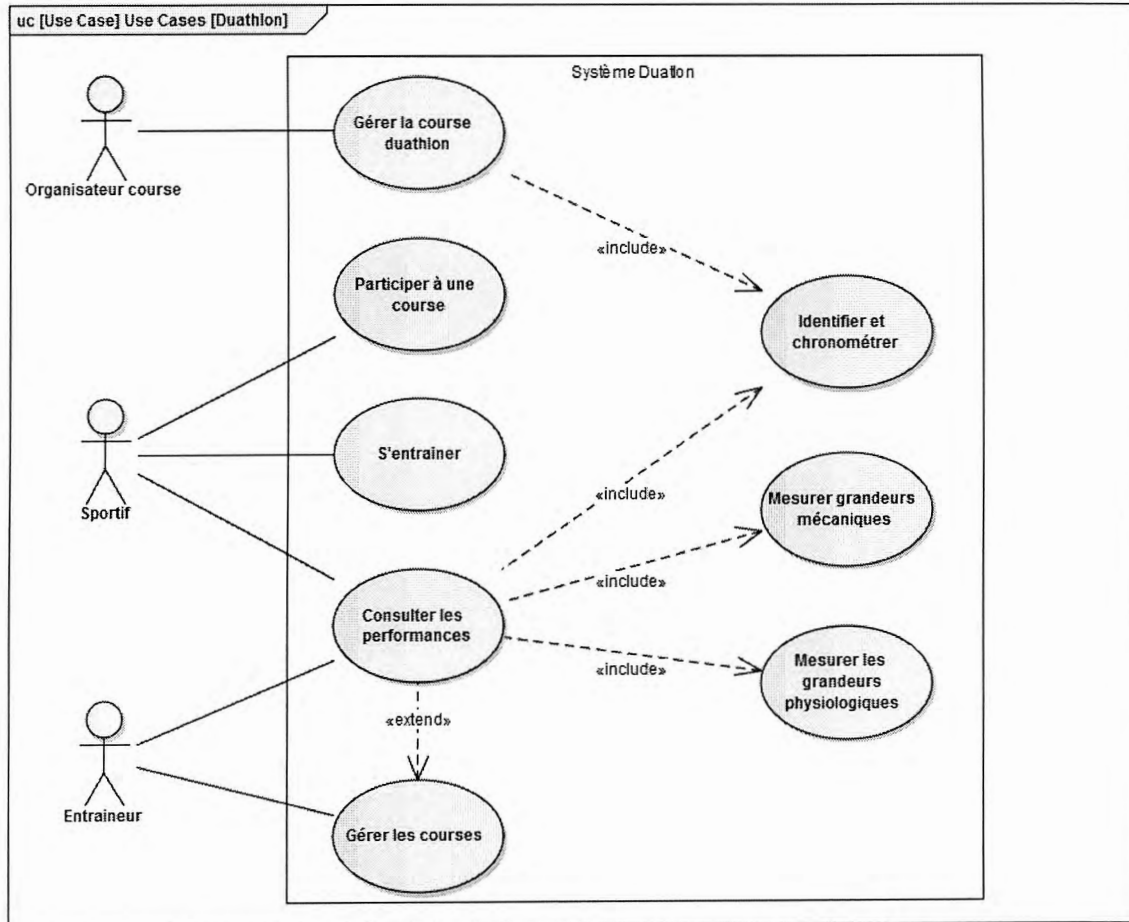


Figure 2 : diagramme des cas d'utilisation « système duathlon ».

Les exigences du système duathlon énoncées précédemment dans la figure 1 sont donc :

- **Exigence 1: identifier et chronométrer**

Pour obtenir les informations d'**identification et de chronométrage** des sportifs durant la course, un système RFID est mis en œuvre comprenant un badge (Tag RFID) placé au niveau des chaussures et un tapis de sol à l'endroit où doit être prise la mesure (voir description en annexe 1). Les détecteurs RFID sont placés au départ, à l'arrivée et aux deux étapes intermédiaires. La détection se fait uniquement durant la course à pied, au niveau de quatre tapis qui formeront quatre points de passage (départ, P1, P2, arrivée). Au niveau des tapis, la vitesse du coureur ne dépassera pas  $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Les détecteurs sont associés à des serveurs RFID lesquels communiquent avec des ordinateurs portables situés au départ et à l'arrivée de la course (voir figure 3).

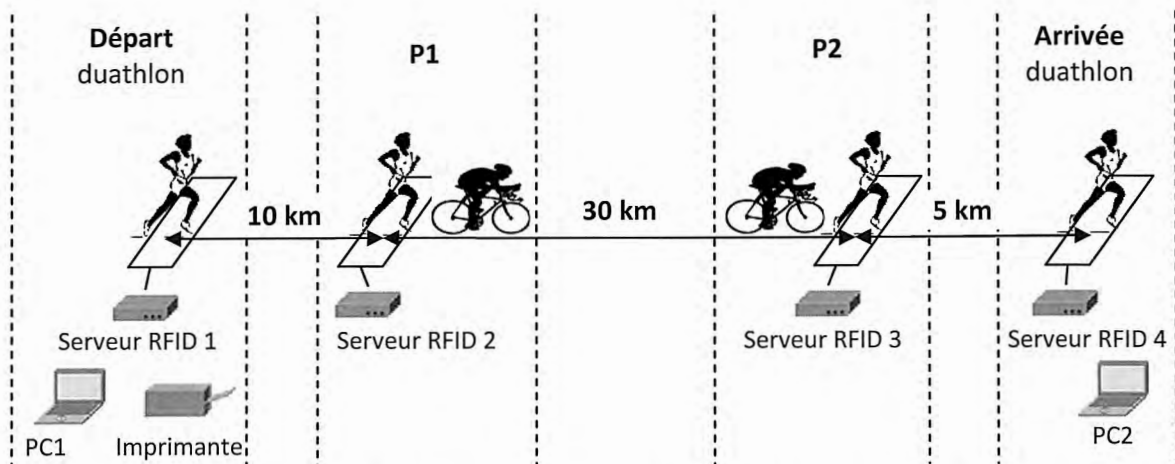


Figure 3 : trajet de la course et points de passage (départ, P1, P2, arrivée) et localisations des matériels.

- **Exigence 2 : analyser les performances en course**

Analyser les performances en course en étudiant notamment les paramètres de temps, mais également d'efforts du sportif au cours de la course. Pour obtenir les informations **mécaniques** (puissance, couple, vitesse) lors de la course vélo, un système SRM est installé sur le vélo.

- **Exigence 3 : entrainer un sportif à la course à pied**

*Non étudié ici*

- **Exigence 4 : entrainer un sportif au cyclisme**

Entrainer un sportif au cyclisme en lui proposant un programme d'entraînement avec des parcours aux difficultés adaptées et ciblées et ceci tous les jours, quelles que soient les conditions climatiques extérieures. Une solution est d'associer son propre vélo à un home-trainer qui permet de simuler des parcours virtuels.

Trois problématiques liées aux exigences précédentes seront abordées dans ce sujet :

- organiser l'évènement sportif ;
- suivre les performances des cyclistes lors de la course ;
- assurer l'entraînement des cyclistes.

# 1<sup>e</sup> PROBLÉMATIQUE : ORGANISER L'ÉVÉNEMENT SPORTIF

*Objectif principal : améliorer la fiabilité du dispositif d'identification et de chronométrage des participants.*

Un retour d'expérience à la suite d'une compétition sur l'utilisation du système décrit à l'exigence 1, a révélé des erreurs sur l'identification des participants (passage non détecté) et des imprécisions sur le chronométrage.

Pour remédier à ces dysfonctionnements inacceptables, cette partie propose de vérifier si les détecteurs RFID, le réseau de transmission de l'information et l'ensemble des protocoles utilisés permettent d'obtenir une identification fiable et un chronométrage avec une précision au dixième de seconde. Cette vérification nécessite d'analyser les différents flux d'information et d'identifier les machines concernées. Il faudra aussi s'assurer qu'il est peu probable que l'origine de ces défaillances soit liée à une malveillance provenant d'Internet.

## **Partie 1.1. : validation de la détection RFID**

*Objectif : analyser et valider la fiabilité du format des données de la couche application du système RFID.*

Un descriptif du système RFID est donné en annexe 1.

Le système étudié utilise uniquement la liaison Ethernet TCP/IP du détecteur RFID.

L'application traitant les données communique par l'intermédiaire d'un socket sur TCP. Le socket fournit à l'application le message-RFID qui correspond à l'ensemble des données reçues délimitées par la suite de deux caractères de contrôles <CR> <LF>.

Les message-RFID sont stockés dans une chaîne de caractères nommée « data » (le premier caractère est indexé à 0).

Le message-RFID suivant (mode ASCII) est reçu :

```
aa400000000123450a2a01123018455938a7<CR><LF>
```

**Question 1** : donner la taille en nombre de caractères de cette trame.

**Question 2** : l'information « Date/Time » est au format YY :MM :hh :mm :ss :ms. Donner le temps exact de détection de ce tag RFID.

**Question 3** : dans le cas de l'utilisation du format de données en mode binaire, déterminer la taille de la trame sachant que les 2 caractères d'entête ('a'a') correspondent à un nombre en hexadécimal (avec deux chiffres) et que seuls la date (année/mois/jour) et le temps (heure/minute/seconde) sont codés en BCD (les centièmes de secondes sont en binaire).

**Question 4 :** donner les avantages et inconvénients des deux formats ASCII et binaire.

**Question 5 :** conclure quant au choix du format ASCII pour l'application et à ses répercussions sur la fiabilité de la transmission et le chronométrage des participants.

### Partie 1.2. : configuration du réseau

*Objectif : vérifier la configuration du réseau de communication dans le but d'analyser les transmissions et ainsi prévoir le comportement du système dans les cas de défaillances.*

Pour relier les différents points de passage, une liaison téléphonique mobile à la norme 3G est utilisée.

Grâce à l'utilisation d'un VPN (Virtual Private Network), les différentes machines peuvent être considérées comme étant connectées sur un unique réseau local privé dont la représentation logique équivalente est donnée (voir figure 4).

Un accès internet est rendu possible via le routeur r0. Seuls les PC1 et 2 y auront accès.

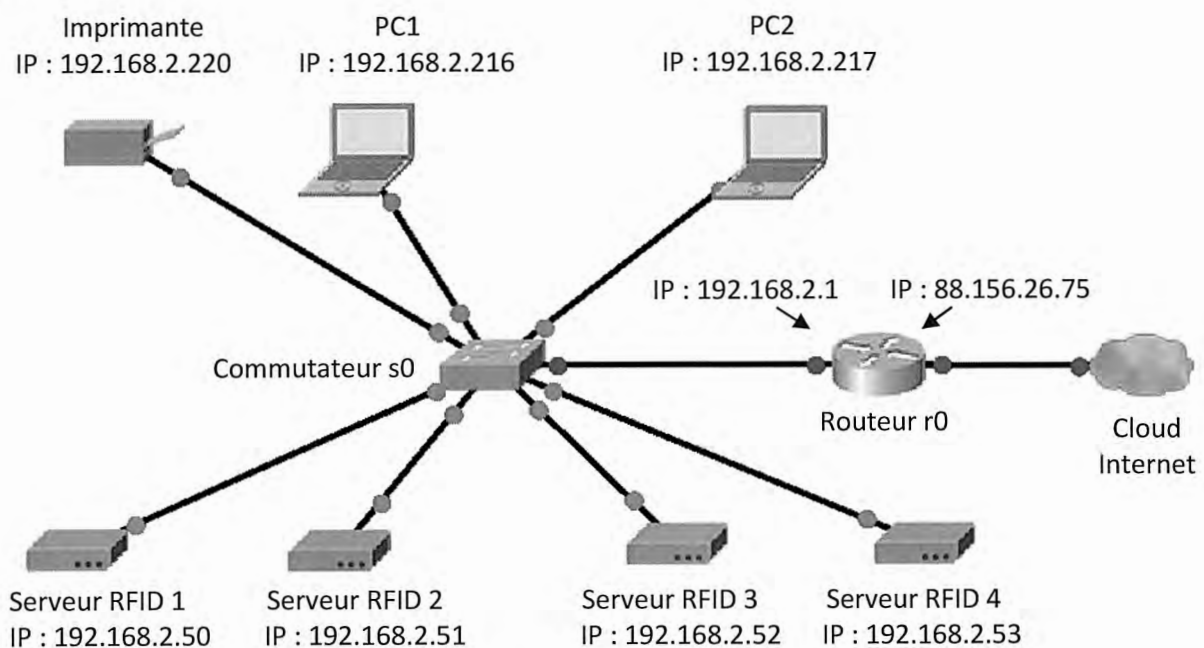


Figure 4 : réseau LAN équivalent et adressage des machines.

**Question 6 :** comment le VPN via internet permet-il de se protéger contre une défaillance de sécurité comme une attaque extérieure ?

Sur un des PC, un logiciel d'analyse réseau permet de capturer toutes les données transitant par son interface Ethernet.

Sur le même PC, et lors du lancement du logiciel de gestion de la course qui communique avec les détecteurs RFID, l'analyseur relève ces deux trames :

```

134 12.313935 CompalIn_47:80:df Broadcast ARP who has 192.168.2.53? Tell 192.168.2.216
135 12.314940 MoxaTech_11:44:b0 CompalIn_47:80:df ARP 192.168.2.53 is at 00:90:e8:11:44:b0

```

### Détails des deux trames :

```

⊕ Frame 134: 42 bytes on wire (336 bits), 42 bytes captured (336 bits)
⊕ Ethernet II, Src: CompalIn_47:80:df (88:ae:1d:47:80:df), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
⊖ Address Resolution Protocol (request)
  Hardware type: Ethernet (0x0001)
  Protocol type: IP (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  opcode: request (0x0001)
  [Is gratuitous: False]
  Sender MAC address: CompalIn_47:80:df (88:ae:1d:47:80:df)
  Sender IP address: 192.168.2.216 (192.168.2.216)
  Target MAC address: 00:00:00_00:00:00 (00:00:00:00:00:00)
  Target IP address: 192.168.2.53 (192.168.2.53)
⊕ Frame 135: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits)
⊕ Ethernet II, Src: MoxaTech_11:44:b0 (00:90:e8:11:44:b0), Dst: CompalIn_47:80:df (88:ae:1d:47:80:df)
⊖ Address Resolution Protocol (reply)
  Hardware type: Ethernet (0x0001)
  Protocol type: IP (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  opcode: reply (0x0002)
  [Is gratuitous: False]
  Sender MAC address: MoxaTech_11:44:b0 (00:90:e8:11:44:b0)
  Sender IP address: 192.168.2.53 (192.168.2.53)
  Target MAC address: CompalIn_47:80:df (88:ae:1d:47:80:df)
  Target IP address: 192.168.2.216 (192.168.2.216)

```

**Question 7 :** indiquer quelle(s) machine(s) reçoit(vent) la trame 134.

**Question 8 :** préciser le rôle du protocole responsable de cet échange et déterminer d'après ces relevés, l'adresse MAC du tapis RFID ainsi que le nom du fabricant.

Pour mettre à l'heure et synchroniser les serveurs RFID, le PC envoie à tous les serveurs une commande de réglage contenant l'heure du PC.

Lors d'une mise à l'heure d'un serveur RFID, la communication suivante a été relevée (pour le protocole TCP, voir annexe 2) :

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
60	5.121397	192.168.2.216	192.168.2.53	TCP	58136 > ndmp [SYN] Seq=0 win=8192 Len=0 MSS=1460 wS=8
61	5.123135	192.168.2.53	192.168.2.216	TCP	ndmp > 58136 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=4096 Len=0 MS
62	5.123203	192.168.2.216	192.168.2.53	TCP	58136 > ndmp [ACK] Seq=1 Ack=1 win=64240 Len=0
63	5.123323	192.168.2.216	192.168.2.53	TCP	58136 > ndmp [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 win=64240 Len=26
64	5.123363	192.168.2.216	192.168.2.53	TCP	58136 > ndmp [FIN, ACK] Seq=27 Ack=1 win=64240 Len=0
66	5.128248	192.168.2.53	192.168.2.216	TCP	ndmp > 58136 [ACK] Seq=1 Ack=27 win=4070 Len=0
67	5.128249	192.168.2.53	192.168.2.216	TCP	ndmp > 58136 [ACK] Seq=1 Ack=28 win=4096 Len=0
70	5.149807	192.168.2.53	192.168.2.216	TCP	ndmp > 58136 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=28 win=4096 Len=0
71	5.149851	192.168.2.216	192.168.2.53	TCP	58136 > ndmp [ACK] Seq=28 Ack=2 win=64240 Len=0



Détail de la trame numéro 63, avec la totalité des octets la constituant :

```

⊕ Frame 63: 80 bytes on wire (640 bits), 80 bytes captured (640 bits)
⊕ Ethernet II, Src: CompalIn_47:80:df (88:ae:1d:47:80:df), Dst: MoxaTech_11:44:b0 (00:90:e8:11:44:b0)
⊕ Internet Protocol, Src: 192.168.2.216 (192.168.2.216), Dst: 192.168.2.53 (192.168.2.53)
⊕ Transmission Control Protocol, Src Port: 58136 (58136), Dst Port: ndmp (10000), Seq: 1, Ack: 1, Len: 26
  Source port: 58136 (58136)
  Destination port: ndmp (10000)
  [Stream index: 14]
  Sequence number: 1 (relative sequence number)
  [Next sequence number: 27 (relative sequence number)]
  Acknowledgement number: 1 (relative ack number)
  Header length: 20 bytes
  ⊕ Flags: 0x18 (PSH, ACK)
  Window size: 64240
  ⊕ Checksum: 0x230d [validation disabled]
  ⊕ [SEQ/ACK analysis]
⊕ Data (26 bytes)
  Data: 616230303037303131313130353137303231333333731306538...
  [Length: 26]

```

```

0000 00 90 e8 11 44 b0 88 ae 1d 47 80 df 08 00 45 00 ....D... .G....E.
0010 00 42 06 97 40 00 80 06 6d c1 c0 a8 02 d8 c0 a8 .B..@... m.....
0020 02 35 e3 18 27 10 6e 01 4f 6f 00 17 86 fe 50 18 .5...'n. oo....P.
0030 fa f0 23 0d 00 00 61 62 30 30 30 37 30 31 31 31 ..#...ab 00070i11
0040 30 35 31 37 30 32 31 33 33 37 31 30 65 38 0d 0a 05170213 3710e8..

```

**Question 9 :** à l'aide des différents relevés de l'analyseur et du schéma du réseau LAN (voir figure 4), déterminer les configurations réseau du serveur RFID et de l'interface Ethernet IPv4 sur le PC, qui sont les deux machines concernées par cet échange. Répondre sur le document réponses.

**Question 10 :** déduire de ce relevé, les protocoles utilisés en couche 3 et 4 du modèle OSI.

**Question 11 :** expliquer comment s'effectue l'établissement et la fermeture d'une connexion au niveau de la couche transport sur le serveur, en indiquant les rôles du client et du serveur (voir annexe 2).

Au niveau de la couche application, le format de la chaîne pour une mise à l'heure est la suivante :

Hdr	ID	Len	Cmd	Date				Day		time				FCS						
				y	y	m	m	d	d	n	n	h	h	m	m	s	s		<CR>	<LF>

**Question 12 :** extraire du relevé la chaîne de caractères transmise au serveur pour la mise à l'heure et expliciter les informations.

**Question 13 :** prévoir le comportement lorsque le serveur RFID ne peut procéder au réglage de l'horloge avec les données transmises par le PC.

**Question 14 :** prévoir le comportement lorsque la trame 63 est perdue (non reçue par le serveur).

**Question 15 :** conclure quant à l'amélioration à apporter pour assurer une mise à l'heure sûre des serveurs RFID.

## 2<sup>e</sup> PROBLÉMATIQUE : SUIVRE LES PERFORMANCES DES CYCLISTES

*L'objectif de cette partie est de mettre en adéquation les performances physiques du cycliste avec la typologie du parcours par une mesure précise de la puissance développée.*

Dans certains sports comme la natation en bassin ou l'athlétisme dans un stade, où l'environnement est standardisé, les performances sont quantifiées par un temps et ainsi les prestations peuvent être comparées entre elles au fil d'une saison ou d'une carrière. En cyclisme sur route, les conditions environnementales de la course ne sont jamais les mêmes, la simple mesure de temps ne permet pas à l'entraîneur de savoir si, son sportif a su gérer l'effort au cours de la course, a été performant par rapport à ses capacités physiques habituelles, il est donc difficile pour lui de programmer des entraînements ciblés.

Ces dernières décennies, les capteurs de puissance fixés sur les vélos se sont démocratisés et permettent de mesurer en conditions réelles de déplacement la puissance développée par le sportif. Cette puissance représente l'effort réel produit par le cycliste puisqu'elle renvoie à l'énergie mécanique dépensée. Ainsi, la mesure de la puissance mécanique en regard de l'effort réalisé est plus précise qu'avec le temps (dépendant de la course) ou la vitesse (dépendante du terrain ou du vent).

### Partie 2.1. : étude de la puissance développée par un athlète.

*Objectif : évaluer la puissance mécanique développée par un cycliste*

Pour avancer et vaincre les résistances (traînées aérodynamiques, résistance au roulement, et force de gravité) qui s'opposent à lui, le cycliste doit produire une énergie. Cette énergie, dite chimique de la contraction musculaire lorsqu'il appuie sur les pédales, se transforme en énergie de propulsion mécanique qui fait tourner les manivelles, qui elles-mêmes entraînent la chaîne puis la roue arrière pour faire avancer le vélo.

La puissance développée par un cycliste provient de trois sources d'énergie différentes :

- le processus phosphagène qui est une transformation chimique au niveau des muscles et fournit la **Puissance Anaérobie Alactique** ;
- le processus glycolyse qui est une consommation des glucides (sucres) et fournit la **Puissance Anaérobie Lactite**. C'est la puissance de réserve qui peut être utilisée à tout moment d'un exercice et qui aboutit à l'épuisement lorsqu'elle est totalement consommée ;
- le processus aérobie qui est la consommation d'oxygène et fournit la **Puissance Aérobie**. C'est la puissance qui peut être maintenue sans épuisement. Elle a une durée infinie dans le temps.

La courbe ci-dessous (voir figure 5) est le résultat d'un test d'effort d'un individu de 70 kg. Elle indique l'évolution de la puissance mécanique maximale par rapport à la production énergétique des différents métabolismes de l'individu testé.

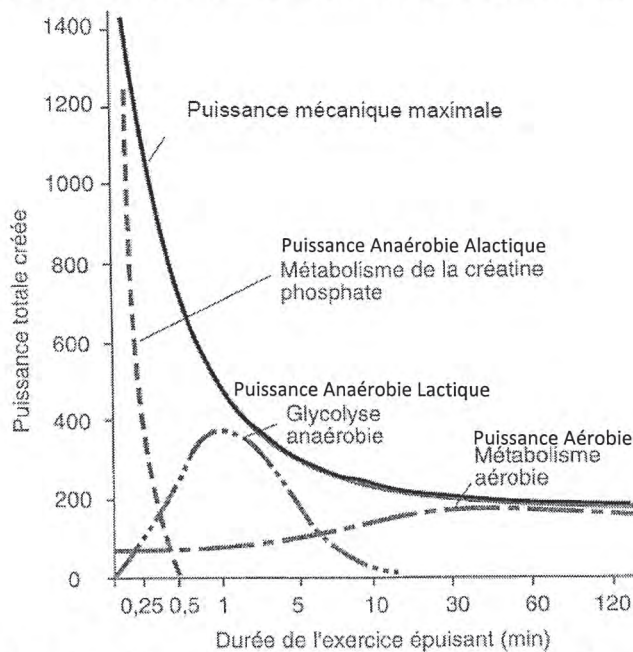


Figure 5 : évolution de la puissance mécanique maximale par rapport à la production énergétique.

**Question 16 :** à partir de la figure 5, déterminer les 2 puissances maximales Anaérobie Lactique et Aérobie qui caractérisent les capacités sportives de l'individu testé dans le cas d'un d'effort de moyenne et longue durée.

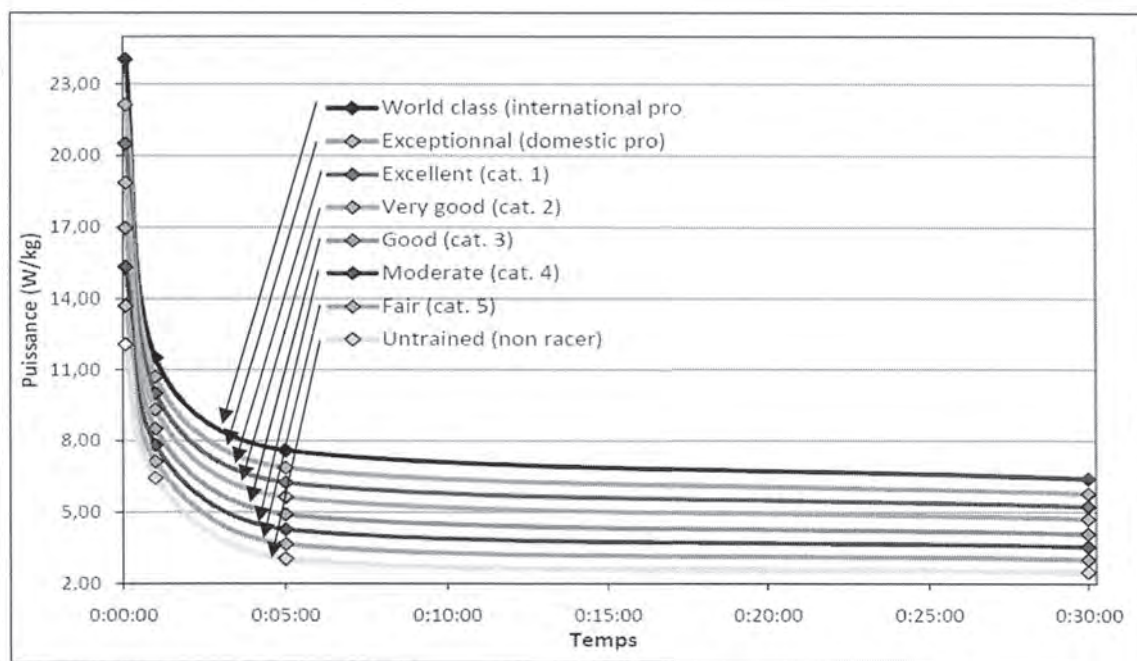


Figure 6 : puissance massique en fonction du temps d'effort (hh:mm:ss) pour des athlètes masculins.

**Question 17 :** à partir de la figure 6, conclure sur le niveau de performance de l'individu caractérisé à la figure 5.

Objectif : déterminer le niveau sportif d'un cycliste à partir de la puissance moyenne développée lors d'une course.

Nous allons tout d'abord modéliser la puissance  $P_{méca}$  développée par le cycliste en fonction de différents paramètres dans le cas d'un déplacement sur une pente d'angle  $\alpha$  représenté de façon simplifiée sur le schéma de la figure 7.

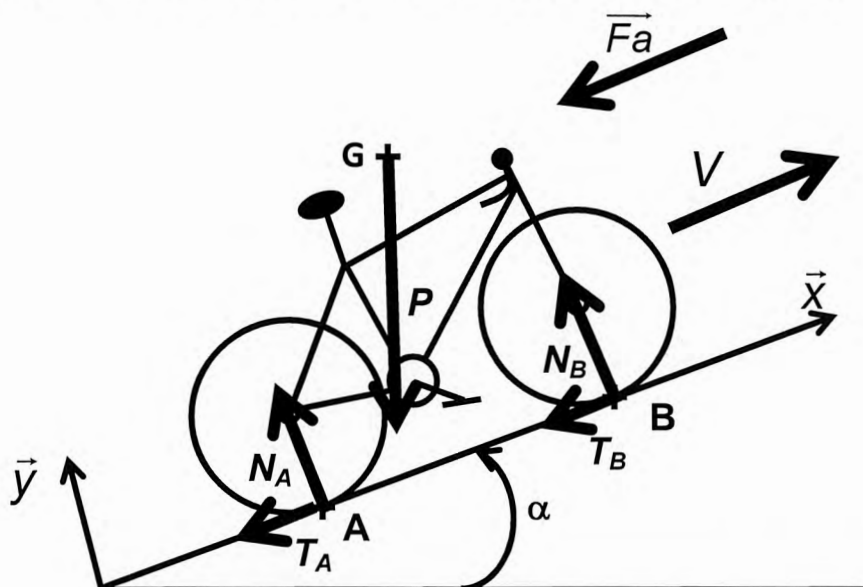


Figure 7 : déplacement d'un cycliste.

### Notations

- $M$  masse de l'ensemble {cycliste + vélo}
- $g$  accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )
- $D_{roue}$  diamètre de la roue
- $f$  coefficient de résistance au **roulement** du pneu sur la route
- $\alpha$  angle d'inclinaison de la route par rapport à l'horizontale
- $C_x$  coefficient de pénétration dans l'air de l'ensemble {cycliste + vélo}
- $\rho$  masse volumique de l'air
- $S$  surface frontale normale à la direction du déplacement
- $V$  vitesse de déplacement dans la direction de la route de l'ensemble {cycliste + vélo}

$\overline{Fa}$  force de résistance de l'air de norme  $Fa = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$

- $N_A$  composante normale de la force route/roue en A
- $T_A$  composante tangentielle de la force route/roue en A
- $N_B$  composante normale de la force route/roue en B
- $T_B$  composante tangentielle de la force route/roue en B
- $P$  poids de l'ensemble {cycliste+vélo}

### Hypothèses :

- roulement sans glissement ;
- moments d'inertie des deux roues négligés ;
- $Fa$  s'applique au centre de gravité de l'ensemble ;
- vitesse constante ;
- toutes les liaisons de l'ensemble {cycliste+vélo} sont parfaites.