

Incr 1^{er} Journée Richard
Cherline, CERÉO PA Paris
8/3/85.

1530

LE SAUT DU CHEVAL :

Approche cinématographique
et traitement informatisé.



I - Le mouvement : finalité de son étude et approche pratique.

1) But et rôles de la recherche biomécanique :

a) Le Cheval de Sport suit actuellement une très grande évolution, le conduisant vers des performances de plus en plus élevées, nécessitant un travail important, tant au niveau psychologique qu'au niveau physique.

Cette progression vers un statut d'athlète de haut niveau ne peut se faire sans une connaissance croissante des besoins et des exigences des différents sports équestres.

b) Le Mouvement, qu'il soit sportif ou autre, correspond à une mise en action du corps, conduisant à un déplacement et une organisation dans l'espace et le temps des éléments moteurs, soumis aux contraintes mécaniques et anatomo-physiologiques.

Le premier type d'étude est donc celui qui se place sous l'angle mécanique, pour ensuite extrapoler à l'anatomo-physiologie.

c) Les techniques d'étude sont de deux ordres :

- Etude *in vitro* sur membre isolé.
- Etude *in vivo*, soit des rapports entre l'organisme et l'espace, principalement par le biais de la cinématographie, soit des interactions entre l'organisme et le milieu, par le biais de la dynamométrie.

2) La Cinématographie :

a) Possibilités et Finalité :

La cinématographie permet l'étude du mouvement dans les conditions physiologiques et permet d'en obtenir une décomposition très fine, avec :

- observation des déplacements dans l'espace.
- étude des changements de position dans le temps du tout ou de partie du tout.
- détermination de la trajectoire et par déduction, obtention des vitesses et accélérations.

La cinématographie permet enfin d'obtenir une idée des forces mises en jeu, liées à l'accélération par la relation $F = m.a$.

b) L'utilisation des techniques cinématographiques dans l'étude du mouvement sportif :

1530

Elle commence dès la fin du XIX^e siècle avec les travaux de Muybridge, puis de Marey, suivis pendant la première moitié du XX^e siècle par nombre de photographes.

Les études actuelles menées sur la locomotion du cheval sont de deux types :

- enregistrements de longue durée, avec une caméra mobile suivant l'animal au cours de son déplacement, qui permettent la décomposition d'une allure (Travaux de Drevemo et coll. sur les Trotteurs).
- enregistrement d'une phase seulement du mouvement, à l'aide d'une caméra fixe (Travaux de Leach et coll. sur le saut).

c) Difficultés et limites de l'étude cinébtographique :

* Inhérentes à la technique : la rapidité du mouvement et le besoin d'une bonne décomposition nécessitent une cadence de prise de vue très élevée, de 300 à 500 images/seconde, d'où un très grand nombre d'images, ce qui en rend le traitement individuel délicat et fastidieux.

La difficulté se trouve encore fortement augmentée lorsque l'on se penche sur l'étude du mouvement d'une partie de l'organisme au cours du temps, qui nécessite un dépouillement minutieux et répétitif des images.

Cette répétitivité devient alors la principale justification de l'informatisation du traitement de l'image.

* Inhérentes à l'espèce : il existe pour l'étude du mouvement humain des systèmes automatisés, basés sur la reconnaissance par l'ordinateur au travers d'une caméra vidéo de spots lumineux, créés par la réflexion d'un projecteur sur des pastilles réfléchissantes collées sur la peau de l'athlète; la grande mobilité de la peau du cheval par rapport aux structures osseuses sous-jacentes interdit l'utilisation de tels systèmes dans cette espèce et rend obligatoire une intervention humaine permanente lors du traitement des images.

II) Méthode utilisée :

1) Dispositif expérimental :

a) Echantillonnage :

Le coût des films d'une part, et le temps d'exploitation important d'autre part nous ont amenés à limiter le nombre de chevaux à 4, chacun d'eux effectuant 4 sauts sur 2 obstacles différents.

Les chevaux sont trois chevaux d'instruction du centre équestre de l'ENV Lyon, plus un cheval de propriétaire. Ils ont tous été montés par Ph. Leninivin, instructeur de ce centre équestre, ceci afin d'éliminer au maximum l'effet "cavalier".

b) Repères utilisés sur les chevaux :(Fig. -1-)

Nous avons déterminé vingt points sur le cheval, correspondant à des charnières anatomiques particulières, définissant des segments osseux :

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1 - Bout du nez | 2 - Front |
| 3 - Garrot | 4 - Jonction lombo-sacrée |
| 5 - Base de la queue | 6 - Extrém. de la scapula |
| 7 - Epaule | 8 - Coude |
| 9 - Genou | 10 - Boulet ant. |
| 11 - Couronne ant. | 12 - Pince ant. |
| 13 - Pointe de la hanche | 14 - Art. de la hanche |
| 15 - Pointe de la fesse | 16 - Grasset |
| 17 - Jarret | 18 - Boulet post. |
| 19 - Couronne post. | 20 - Pince post. |

A partir de ces vingt points, nous avons déterminé 10 angles articulaires, calculés toujours du segment proximal sur le segment distal, le sens positif étant celui des aiguilles d'une montre :

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 - Chanfrein / vertic. | 2 - Angle lombo-sacré |
| 3 - A. scapulo-huméral | 4 - A. huméro-radial |
| 5 - A. radio-métacarpien | 6 - A. métacarpo-phalangien |
| 7 - A. ilio-fémoral | 8 - A. fémoro-tibial |
| 9 - A. tibio-métatarsien | 10 - A. métatarso-phalangien |

c) Les obstacles :(Fig. -2-A)

L'objectif de cette étude n'était pas de déterminer la façon de sauter tel ou tel type d'obstacle, mais de voir "ce qu'il se passe" au cours d'un saut tout à fait ordinaire. Aussi, nous avons choisi un dispositif visant à permettre au cheval d'aborder dans les meilleures conditions possibles un obstacle lui demandant un certain effort, mais restant tout à fait dans les capacités du cheval. Nous avons donc choisi de disposer deux obstacles sur une ligne, seul le deuxième étant filmé. Le premier obstacle est une spa de réglage, cotant environ 1,10 mètre, et situé à 4 foulées de l'obstacle filmé, ceci nous obligeant à faire varier la distance entre les deux obstacles de 17 à 21 mètres en fonction du cheval filmé.

Chaque cheval effectue deux sauts sur un vertical et deux sauts sur un oxer, obstacles dont les cotes varient également en fonction du cheval, pour aller de 1,15 à 1,35 mètre pour le vertical, et de 1,05 à 1,25 pour l'oxer.

d) Dispositif cinématographique et exploitation des films :

* Sur le terrain (Fig. -2-B) : La caméra est placée latéralement à l'obstacle, au niveau du premier chandelier pour l'oxer, à une distance de 20 mètres. Une baguette de couleur blanche et de longueur 1 m. est placée sur le chandelier, et sert d'étalon de longueur. L'obstacle mesurant 4 m de **front**, le plan où se déroule le mouvement est donc à 22 mètres de l'objectif.

La caméra utilisée est une caméra 16 mm., les films sont pris à 300 images/s., ce qui donne pour chaque image une exposition de l'ordre du 1500° s.

* Au laboratoire (Fig. -2-C) : Après développement, montage et copie, le film est projeté à l'aide d'un projecteur spécial, image par image, sur une table à digitaliser, reliée à un ordinateur compatible IBM-PC, qui permet par l'intermédiaire d'une souris d'enregistrer sur disque les coordonnées d'un point quelconque de l'image.

Avec ce dispositif, on a enregistré toutes les 5 images (soit tous les 60° de seconde), les coordonnées de vingt trois points de l'image, à savoir un point origine, pris au pied du premier chandelier, deux points correspondant aux extrémités de l'étalon de longueur, et les vingt repères sur le cheval.

* Création des fichiers de base : après transfert des fichiers brut du compatible IBM sur un Apple II+ en DOS 3.3, on a procédé à leur simplification et leur allègement par remise à l'échelle des points du cheval, pour finalement obtenir un fichier ASCII, contenant des séries de 40 nombres, correspondant aux coordonnées (x,y) des vingt repères, dans un référentiel prenant comme origine le pied du premier chandelier. L'utilisation de ce fichier devient alors très simple, à l'aide de compteurs.

2) L'exploitation informatique :

Pour les 16 fichiers obtenus, elle se fait sous deux formes :

a) Exploitation "mathématique" :

L'intérêt de l'informatique réside ici dans la rapidité et la puissance de calcul. Tous ces programmes ont été écrits en Basic Applesoft, et sont de trois types :

* Programmes de calcul pur : Ils permettent de constituer, à partir des fichiers de base contenant les coordonnées des repères du cheval au cours du saut, trois autres fichiers contenant :

- > les valeurs des angles articulaires précédemment définis au cours du saut.
- > les vitesses angulaires d'ouverture ou de fermeture de ces angles.
- > les vitesses linéaires de chaque repère du cheval.

* Programmes de représentation graphique des données obtenues : sous forme de courbes, pour les représentations en fonction du temps, ou de nuages de points pour les représentations de variables les unes en fonction des autres.

* Programmes d'aide à l'interprétation : ils permettent de détailler les différentes phases du saut vis à vis de chaque paramètre, d'étudier les liaisons entre différentes variables, ou d'effectuer une modélisation mathématique, soit de l'évolution d'un paramètre dans le temps, soit d'une trajectoire d'un point.

b) Exploitation "graphique" : elle permet de se libérer du milieu lors de la vision des sauts, en reconstituant le cheval à partir des repères, sous forme d'une épure. Elle permet également d'étudier le mouvement d'une partie du corps, ou de représenter un trajectoire. Les programmes d'exploitation graphique ont été écrits en GraFORTH.

III - Les premiers résultats :

Il ne sera présente que quelques illustrations des premiers résultats obtenus, tous pris sur un même saut, et sans aucune discussion, l'interprétation des résultats n'étant encore qu'ébauchée.

1) Exploitation mathématique :

a) en fonction du temps :

-> Angles articulaires (Fig. -3-) : on peut observer pour l'angle du genou (A) la rapidité de la flexion (a) lors de la phase montante du saut suggérant un phénomène très actif, alors que la relative lenteur de l'extension (b) fait penser à un phénomène plus passif. Pour ce qui est du boulet (B), on peut noter l'importance de l'extension lorsque le membre est à l'appui lors de l'appel, dénotant des contraintes mécaniques particulièrement sévères sur cette articulation.

-> Vitesses angulaires (Fig. -4-) : pour le genou, on peut noter ici également la vitesse de flexion plus importante que celle d'extension au cours du planer.

-> Vitesses linéaires (Fig. -5-) : on remarque un protraction du pied très rapide (a) alors que la vitesse décroît ensuite régulièrement au cours du saut, pour s'annuler brutalement à la réception.

b) angles articulaires les uns en fonction des autres (Fig. -6-) :

On remarque la très bonne corrélation entre les angles du jarret et du grasset, due au fonctionnement de l'appareil réciproque.

c) Modélisation des trajectoires (Fig. -7-) :

Il s'agit ici de la trajectoire de la pince antérieure au cours de la phase de planer, modélisée suivant un régression polynomiale de degré 3. On note la très bonne concordance entre les points expérimentaux et le modèle.

2) Exploitation graphique :

Elle est surtout intéressante en mouvement; elle permet de reconstituer le saut dans son ensemble (Fig. -8-), la trajectoire d'un point particulier (Fig. -9-), ou le mouvement plus précis d'une région du corps (Fig. -10-).

Ce type d'étude permet d'abord de mieux connaître les mouvements exacts du cheval au cours du saut, ainsi que leur chronologie, puis de définir les limites de ces mouvements, tant en amplitude qu'en vitesse. La visualisation des déplacements des segments osseux permet dans une certaine mesure de mettre en évidence les groupes musculaires impliqués dans le saut, cette connaissance pouvant alors permettre d'améliorer les performances des chevaux de sport, par un entraînement toujours plus approprié à l'effort qui leur est demandé.

RESUME :

4 chevaux ont été filmés en 16 mm. à 300 images/s. Le traitement informatique permet de suivre l'évolution de 20 points du cheval, à partir desquels sont ensuite calculés différents paramètres, tels angles articulaires, vitesses angulaires et vitesses linéaires. Le saut lui-même a été reconstitué sous la forme d'une "épure" du cheval, montrant les trajectoires de chaque partie du corps. Ce type d'étude, montrant les mouvements exacts du cheval au cours du saut et ses limites permet de mettre en évidence les groupes musculaires impliqués, et par suite d'améliorer les performances des chevaux de sport par un entraînement toujours plus approprié à l'effort qui leur est demandé.

ABSTRACT :

THE HORSE'S JUMP :

Cinematographical approach and computerized treatment.

4 horses were filmed in 16 mm. at 300 frames per s. By computer treatment, we are able to follow the evolution of 20 points of the horse, from which points different parameters were calculated, such as articular angles, angular speeds and linear speeds. The jump itself has been restored in the shape of a drawing of the horse, thus showing clearly the trajectory of each part of the body. This kind of study, showing the exact movements of the horse during the jump and its limits, makes it possible to see the muscular groups involved, and thus to improve the performances of horses, by a training better and better adapted to the effort expected from them.

MOTS-CLES :

KEY-WORDS :

Cheval - Cinématographie - Saut d'obstacles - Informatique
Horse - Cinematography - Jumping - Computer treatment

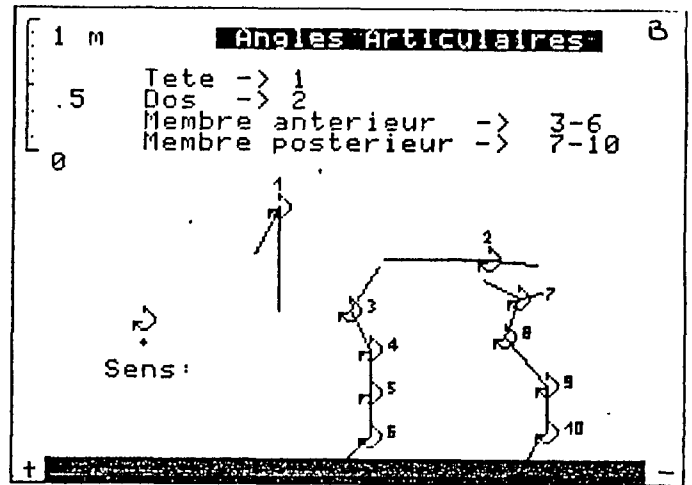
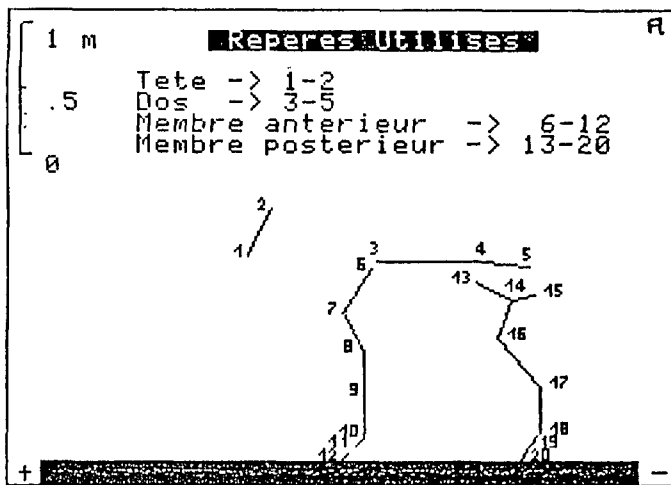


Fig. -1- Repères osseux sur le cheval (A) et angles articulaires calculés (B).
Osseous marks on the horse (A) and calculated articular angles (B).

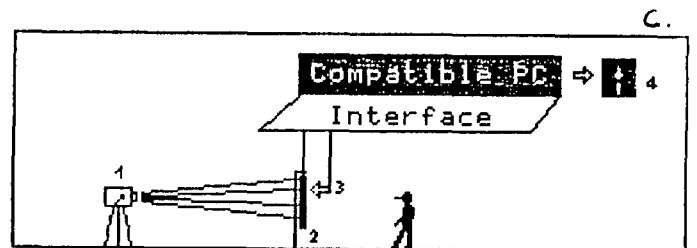
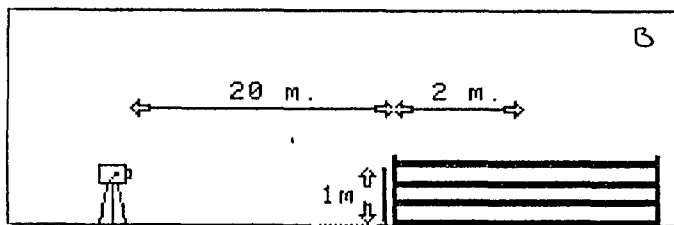
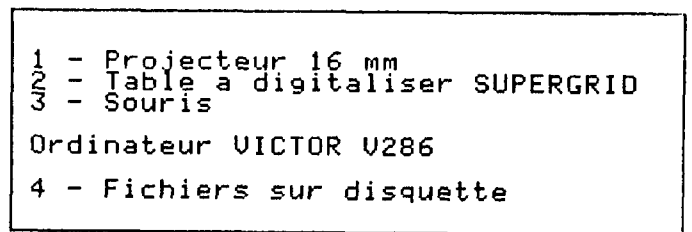
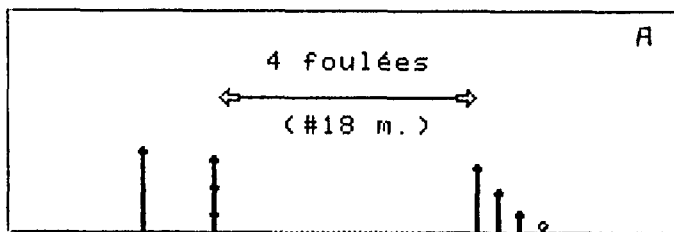


Fig. -2- A. Disposition des obstacles.
Lay-out of the obstacles.
B. Disposition de la caméra pendant le tournage des films.
Setting of the camera during the filming.
C. Dispositif d'analyse des films au laboratoire.
Film analysis process in the laboratory.

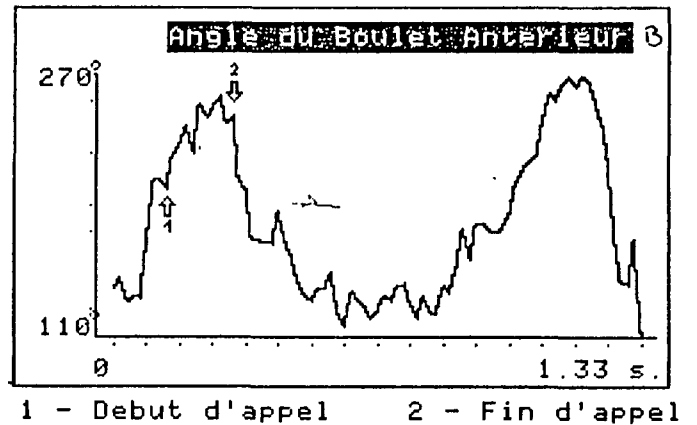
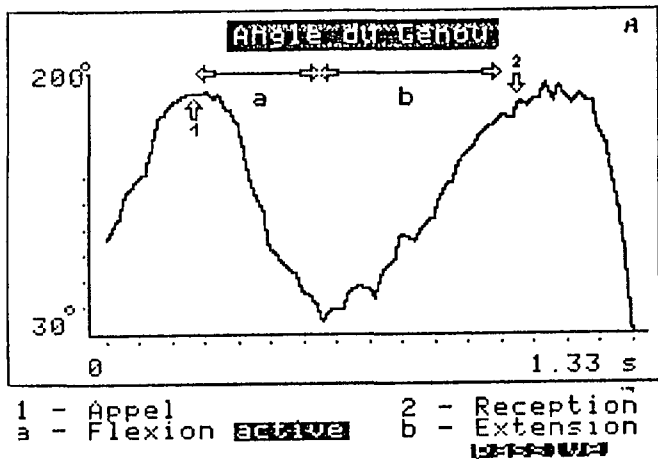


Fig. -3- Evolution de l'angle du genou (a. radio-métacarpien) et de l'angle du boulet antérieur (a. métacarpo-phalangien) au cours du saut.
Evolution of the angle of the knee and the angle of the frontleg fetlock during the jump.

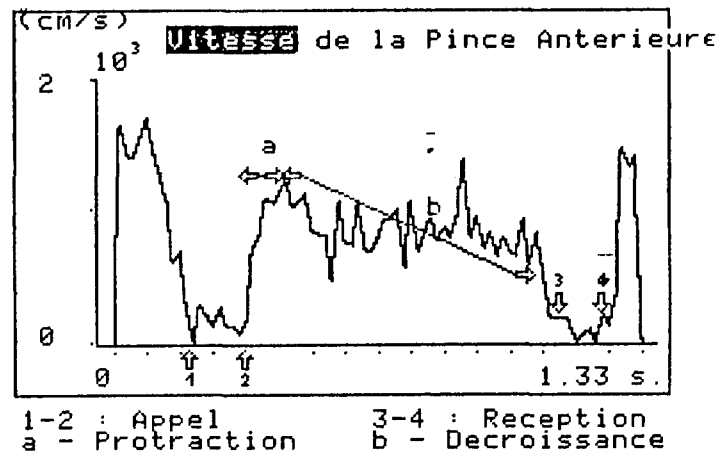
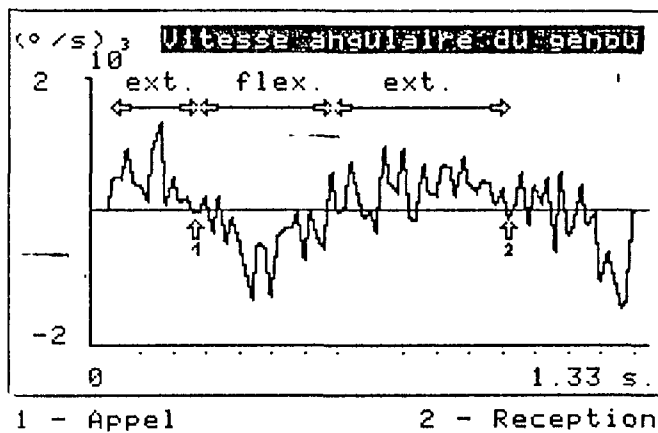
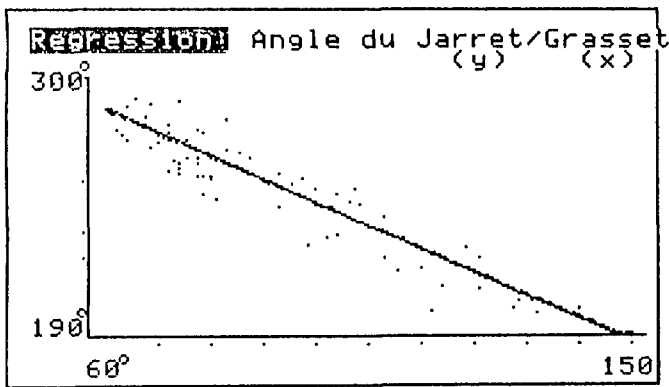
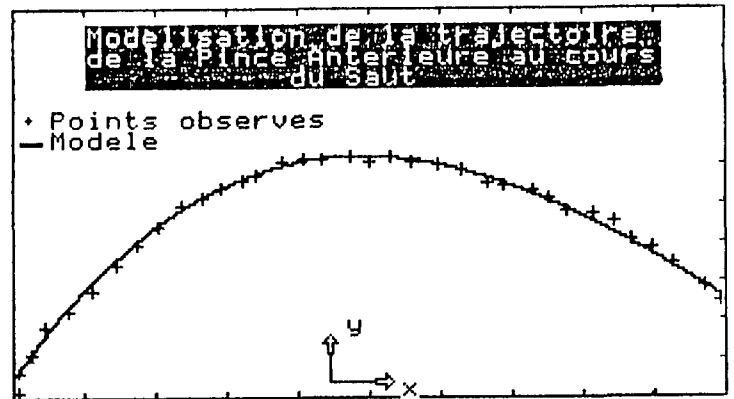


Fig. -4- Vitesse angulaire de l'angle du genou au cours du saut.
Angular speed of the angle of the knee during the jump.

Fig. -5- Vitesse de la pince antérieure au cours du saut.
Speed of the frontleg toe during the jump.



$$y = 352 - 1.1x$$



$$y = 149 + 0.3x - 3.10^{-3}x^2 + \dots$$

Fig. -6- Représentation de l'évolution de l'angle du jarret en fonction de l'angle du grasset et droite de régression.
Representation of the evolution of the angle of the hock in reference to the angle of the stifle, and regression relation.

Fig. -7- Modélisation de la trajectoire de la pince ant. au cours du planer selon un modèle curvilinéaire.
Study of the trajectory of the frontleg toe during the air phase of the jump, on a curvilinear model.

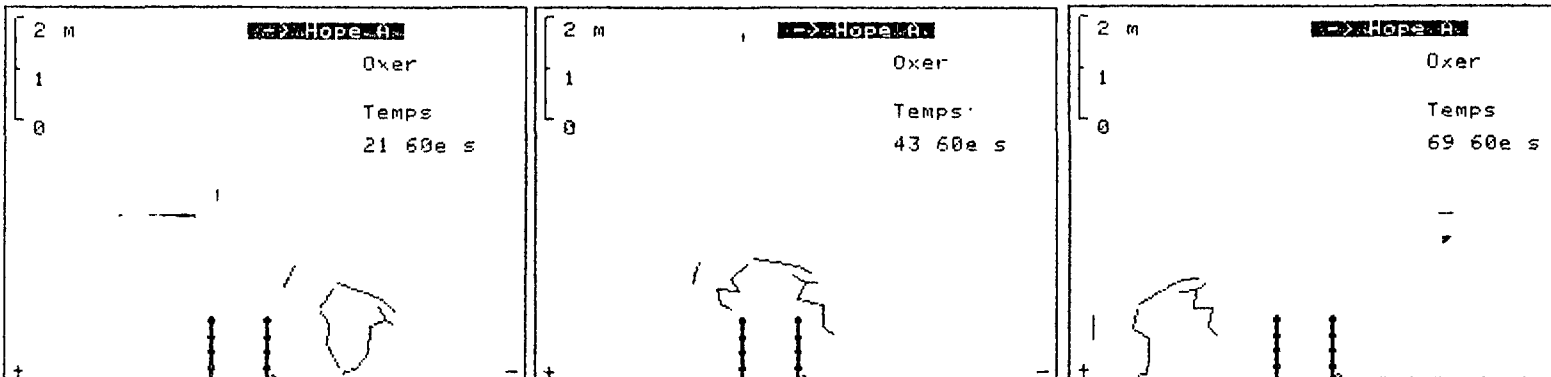


Fig. -8- Reconstruction de trois phases du saut.
Reconstruction of three phases of the jump.

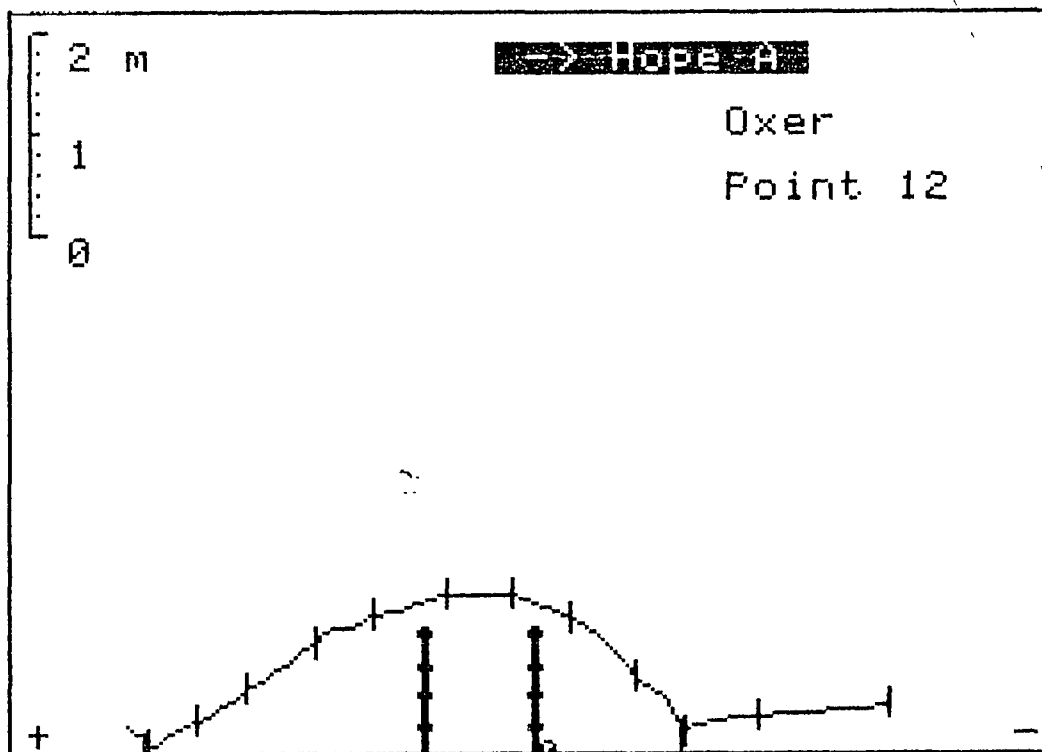


Fig. -9- Trajectoire réelle de la pince antérieure au cours du saut.
Actual trajectory of the frontleg toe during the jump.

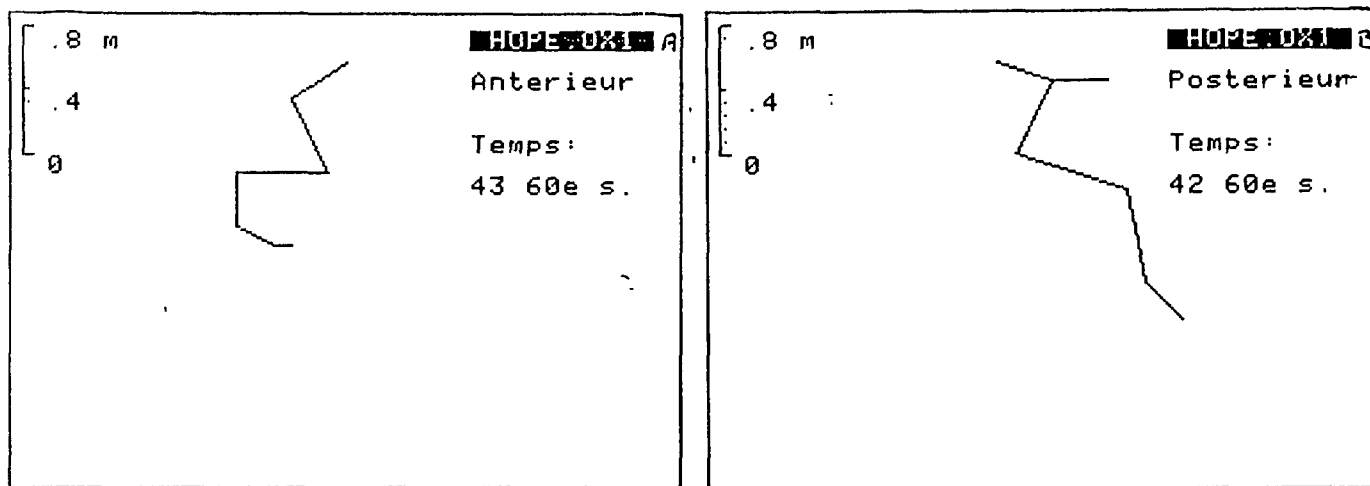


Fig. -10- Représentation de la position des membres antérieur et postérieur à deux moments du saut.
Representation of the position of the frontleg and the hindleg at two times of the jump.