

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE ES SCIENCES DE

L'ACTIVITE PHYSIQUE

PAR

YVES PROULX

L'EFFICACITE DE TROIS TECHNIQUES

DE TRAITEMENT DE SIGNAL EN BIOMECHANIQUE

AVRIL 1985

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

À mes parents

Thérèse et Roland

et

Ginette, Denis
Robert, Alain
Richard, Hélène
François, Danielle.

RESUME

En biomécanique et dans plusieurs autres disciplines, les signaux recueillis pour fins d'analyse contiennent des impuretés ("bruit") qui nuisent à l'interprétation immédiate des résultats. Ces impuretés originent des appareils transmettant les signaux ou des manipulations humaines durant l'acquisition de ceux-ci.

Les chercheurs en biomécanique ont exploré l'utilisation de diverses techniques de traitement de signal qui visaient à éliminer ou réduire le bruit, ces explorations sont habituellement faites à partir de gestes biomécaniques particuliers. Dans cette étude, nous avons voulu évaluer l'efficacité de trois techniques de traitement de signal: un lisseur rectangulaire, non récursif, d'ordre trois (lisseur), une fonction-pistolet du troisième degré (splineur) et un filtre spectral en amplitude (filtre: basé sur la valeur moyenne de l'erreur; surfiltre: basé sur une borne supérieure de la distribution Chi-carré). L'étude est basée sur une batterie de tests: certains gestes humains, de type biomécanique, certains phénomènes assujettis à des lois physiques, et des fonctions mathématiques périodiques contaminées artificiellement.

Les mesures dérivées de l'application des techniques de traitement ont permis de déclarer deux techniques suffisam-

ment efficaces: le splineur et le surfiltre, ces deux techniques possédant d'ailleurs des domaines de distinction propres. Ainsi le splineur traite mieux des données de type biomécanique peu contaminées, alors que le surfiltre s'accommode davantage de signaux périodiques, quel qu'en soit le taux de contamination. Nous avons aussi remarqué que les signaux provenant de l'extraction sur film possédaient une contamination colorée vers le rouge, alors que nous nous attendions plutôt à du bruit blanc, ou de coloration blanche.

En dernier lieu, des suggestions sont présentées pour d'éventuelles recherches dans le domaine. Les avantages d'utiliser des signaux mathématiques définis, implantés dans des algorithmes, et une contamination contrôlée, sont sommairement décrits.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire s'est faite avec la participation de plusieurs personnes et organismes. L'auteur désire particulièrement remercier son directeur de mémoire, Louis Laurencelle, Ph.D. Ses connaissances (méthodologie, statistiques, mathématiques, etc.), sa conscience professionnelle et sa grande patience en font un directeur agréable. Louis Laurencelle mérite d'emblée toute la reconnaissance de l'auteur pour les connaissances transmises et la direction irréprochable durant les études graduées.

Parmi les autres personnes, madame Danielle Roy a servi de sujet et a su appuyer l'auteur dès l'inscription aux études de deuxième cycle jusqu'au dépôt du document. L'auteur tient à reconnaître toute l'aide et tout le temps que Danielle Roy a dépensés pour qu'il puisse compléter son programme d'études. Elisabeth Bureau, Claude Simard et Claude Brouillette ont respectivement pris part à la séance de filmage, à la digitalisation et au support technique. Louis Dionne, M.Sc., a rendu disponible son film du ballon (voir Dionne, 1984), et Guy R. Brisson, Ph.D., a gracieusement prêté son imprimante pour la reproduction de ce document. L'auteur remercie spécialement ces personnes.

Les organismes CRSNG, FCAC et RSSQ ont apporté un soutien financier à ce travail.

TABLE DES MATIERES

	Page
RESUME	i
REMERCIEMENTS.	iii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.	x
 CHAPITRES	
I. INTRODUCTION	I-1
Problème	I-3
Limites de l'étude	I-4
II. RECENSION DES ECRITS	II-1
Méthodes graphiques.	II-2
Technique des différences finies	II-2
Approximations polynômiales globales (ou complètes) des moindres carrés	II-4
Approximations polynômiales segmentées	II-7
Filtrage numérique	II-13
Analyse de Fourier	II-15
III. METHODOLOGIE	III-1
Sujets	III-1
Appareils.	III-1
Autres matériels	III-1
Procédures	III-2
Tests de chute libre et de rebonds d'un ballon	III-4

	Saut vertical.	III-4
	Saut en longueur sans élan	III-6
	Glissement	III-6
	Trajectoire parabolique.	III-10
	Fonction mathématique contaminée	III-10
	Procédures de digitalisation	III-11
	Choix des essais	III-13
	Erreurs de mesure.	III-20
	Application des techniques	III-20
	Lissage rectangulaire.	III-20
	Fonction-pistolet ou approximation polynômiale segmentée.	III-22
	Analyse spectrale et filtre adaptatif.	III-23
	Construction des données des tests ayant une base théorique	III-24
IV.	RESULTATS.	IV-1
	Données avec référence théorique	IV-6
	Chute libre.	IV-6
	Glissement	IV-10
	Trajectoire parabolique.	IV-12
	Fonction mathématique contaminée 1%.	IV-15
	Fonction mathématique contaminée 5%.	IV-16
	Fonction mathématique contaminée 10%	IV-17
	Données sans référence théorique	IV-17
	Rebonds du ballon.	IV-19
	Saut vertical.	IV-20

	Saut en longueur sans élan	IV-21
	Autres statistiques.	IV-25
	Couleur du bruit	IV-29
V.	CONCLUSION	V-1
	Evaluation sommaire des techniques	V-1
	Recommandations.	V-6
ANNEXE		
A.	Erreurs de mesures	A-1
B.	Les principaux programmes BASIC.	B-1
C.	Spécifications des paramètres dans les tests théoriques	C-1
D.	Tableaux et résultats complémentaires.	D-1
E.	Figures complémentaires.	E-1
	REFERENCES	R-1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1.	Paramètres communs de filmage.	III-3
2.	Nature des points des différents tests	III-14
3.	Synopsis des images déviantes des tests filmés	III-19
4.	Essais retenus	III-21
5.	Niveau d'erreur observé dans chacun des tests.	IV-5
6.	Classement des techniques en fonction des REQM théoriques selon les trois composantes cinéma- tiques (P,V,A)	IV-26
7.	Classement des techniques en fonction des REQM jumeaux selon les trois composantes cinéma- tiques (P,V,A)	IV-27
8.	Variances issues des données jumelles.	A-4
9.	Variances issues des données jumelles relatives	A-6
10.	Corrélations et variances des différents points fixes en fonction de l'écart entre les images.	A-7
11.	Corrélations et variances des points fixes rela- tifs en fonction de l'écart entre les images .	A-10
12.	Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y pour les tests de chute libre et des rebonds.	D-2
13.	Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y pour le test du saut vertical.	D-3
14.	Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y pour le test du saut en longueur sans élan	D-4
15.	Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y pour le test du glissement	D-5

16.	Ecart-types des différentes extractions en X et en Y pour le test de la trajectoire parabolique.	D-6
17.	Données temporelles théoriques des fichiers jumeaux de la chute libre.	D-7
18.	Données temporelles théoriques des fichiers jumeaux du glissement.	D-8
19.	Données temporelles théoriques des fichiers jumeaux de la trajectoire parabolique.	D-11
20.	Données temporelles théoriques des fichiers jumeaux de la fonction mathématique pure	D-14
21.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux de la chute libre.	D-17
22.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux des rebonds du ballon.	D-18
23.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux du saut vertical	D-20
24.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux du saut en longueur sans élan.	D-22
25.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux du glissement.	D-24
26.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux de la trajectoire parabolique.	D-27
27.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux de la fonction contaminée 1%	D-30
28.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux de la fonction contaminée 5%	D-33
29.	Données temporelles brutes des fichiers jumeaux de la fonction contaminée 10%.	D-36
30.	REQM, EAM, EM de la chute libre.	D-39
31.	REQM, EAM, EM des rebonds du ballon.	D-41
32.	REQM, EAM, EM du saut vertical	D-42
33.	REQM, EAM, EM du saut en longueur sans élan	D-43

34.	REQM, EAM, EM du glissement.	D-44
35.	REQM, EAM, EM de la trajectoire parabolique. .	D-46
36.	REQM, EAM, EM de la fonction contaminée (1%) .	D-48
37.	REQM, EAM, EM de la fonction contaminée (5%) .	D-50
38.	REQM, EAM, EM de la fonction contaminée (10%).	D-52

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1. Exemple de la méthode graphique.	II-3
2. Chute libre et rebonds du ballon	III-5
3. Saut vertical.	III-7
4. Saut en longueur sans élan	III-8
5. Glissement	III-9
6. Appareils utiles durant la phase d'extraction.	III-12
7. Données de position-temps de la chute libre en Y, du glissement en X et de la trajectoire parabolique en X et en Y	IV-14
8. Données de position-temps des trois fonctions mathématiques contaminées 1%, 5% et 10%,	IV-18
9. Données de position-temps des rebonds du ballon en Y, du saut vertical en Y et du saut en longueur sans élan en X.	IV-23
10. Spectre des données splinées du test du saut vertical en Y.	IV-24
11. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques des tests de la chute libre en Y et du glissement en X.	IV-31
12. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques du test de la trajectoire parabolique en X et en Y	IV-32
13. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques d'une trajectoire parabolique contaminée artificiellement en X et en Y.	IV-34
14. Spectres des données brutes de la chute libre en X et en Y pour les deux extractions	E-2

15.	Spectres des données brutes des rebonds du ballon en X et en Y pour les deux extractions	E-3
16.	Spectres des données brutes du saut vertical en X et en Y pour les deux extractions	E-4
17.	Spectres des données brutes du saut en longueur sans élan en X et en Y pour les deux extractions.	E-5
18.	Spectres des données brutes du glissement en X et en Y pour les deux extractions.	E-6
19.	Spectres des données brutes de la trajectoire parabolique en X et en Y pour les deux extractions.	E-7
20.	Spectres des données brutes des fonctions mathématiques contaminées, 1% et 5% pour les deux extractions.	E-8
21.	Spectres des données brutes de la fonction mathématique contaminée 10% pour les deux extractions.	E-9
22.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la chute libre en Y versus l'accélération théorique	E-10
23.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée du glissement en X versus l'accélération théorique.	E-11
24.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la trajectoire parabolique en X versus l'accélération théorique	E-12
25.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la trajectoire parabolique en Y versus l'accélération théorique	E-13
26.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 1% versus l'accélération théorique.	E-14
27.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 5% versus l'accélération théorique.	E-15

28.	Accélérations brute, lissée, splinée, surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 10% versus l'accélération théorique.	E-16
29.	Accélérations lissée, splinée, surfiltrée des rebonds du ballon en Y versus l'accélération brute.	E-17
30.	Accélérations lissée, splinée, surfiltrée du saut vertical en Y versus l'accélération brute	E-18
31.	Accélérations lissée, splinée, surfiltrée du saut en longueur sans élan en X versus l'accélération brute	E-19

CHAPITRE I

Introduction

Les analyses quantitatives en biomécanique sont faites à partir de signaux venant d'appareils comme l'accéléromètre, la plate-forme de force, le goniomètre, la caméra, etc. Le signal, qu'il soit continu (analogique) ou discret, ne peut jamais être totalement pur puisqu'il provient d'un système d'appareils ou qu'il est bâti au moyen d'interventions humaines, comme on fait pour l'extraction des coordonnées cartésiennes d'un film. Ainsi des mesures issues de l'accéléromètre entraînent les problèmes suivants: la réponse de l'appareil peut tarder ou être faussée par une fixation inadéquate au corps, les positions absolues ne sont pas disponibles immédiatement, la fixation de l'accéléromètre au corps peut s'avérer difficile et la liberté de mouvement diminuée. D'autre part, pour des valeurs d'accélération obtenues par double dérivation, on retrouve un grossissement alarmant des petites erreurs contenues dans les données initiales de position-temps. Ces impuretés, qui accompagnent le signal, sont ordinairement appelées "bruit".

Plusieurs auteurs présentent les facettes du bruit, ou les sources d'erreur, qui sont liées à une étude biomécanique. Les erreurs causées par l'utilisation de la cinémato-

graphie en deux dimensions peuvent se résumer ainsi: (a) les mouches qui marquent les articulations n'ont pas un mouvement strictement assujetti à celles-ci; (b) la distorsion introduite par le système optique de la caméra; (c) le mouvement de la caméra, s'il y a lieu; (d) la qualité du film utilisé; (e) la position de la caméra par rapport au plan d'action du geste étudié; (f) les mouvements à l'extérieur du plan principal; (g) l'alignement des images durant l'analyse; et (h) les erreurs d'extraction (McLaughlin et coll., 1977). Gagnon et Rodrigue (1978) ajoutent à cette liste en présentant les erreurs associées à (a) l'estimation de la position exacte des articulations en ce qui à trait à la disposition des mouches; (b) l'estimation des poids des segments, poids qui affectent l'évaluation des centres de gravité de ces segments et de tout le corps; et (c) l'évaluation de la position d'une articulation cachée durant les phases du geste. Il y a aussi les erreurs de synchronisation temporelle des signaux des appareils (ex. données de plate-forme de force avec celles d'un film). On voit que la quantité d'erreurs possibles est considérable. Bien qu'on en évite quelques-unes par des précautions méthodologiques, il en subsiste toujours.

La méthode par laquelle les données sont analysées entraîne des répercussions différentes des erreurs. Par exemple, une intégration des données accumule un biais d'erreur proportionnel au temps, et une dérivation des données

amplifie le bruit de hautes fréquences (Hu, 1980). Cette dernière méthode, la dérivation, est utilisée pour l'analyse cinématographique, et est très répandue. L'analyste du geste se trouve alors confronté à un problème puisque les mouvements humains occupent généralement les basses fréquences et que les erreurs de mesure se répandent sur le spectre de fréquences en entier (Wood, 1982).

Les chercheurs en biomécanique ont constaté que toutes ces erreurs peuvent fausser l'interprétation éventuelle des résultats. Aussi dans diverses expérimentations, les chercheurs ont appliqué des techniques de traitement du signal pour éliminer ou, à tout le moins, réduire le bruit contaminant le signal. Les moyens les plus fréquemment employés sont les techniques d'interpolation et de lissage (lissage oeil-main, approximations polynômiales globale ou segmentée, filtrage numérique, etc.). Dans ces études, on a pu identifier certains avantages et désavantages de ces techniques et, de ce fait, quelques techniques primitives ne sont presque plus utilisées aujourd'hui.

Problème

Les recherches effectuées sur les différentes techniques de traitement du signal n'ont pas permis d'établir une technique nettement plus valable que les autres. De plus, les études se restreignent généralement à l'évaluation d'une application de techniques pour un geste particulier. Enfin, les chercheurs emploient davantage la technique implantée

dans les logiciels qui sont à leur disposition, plutôt que de s'attarder à récupérer une technique qui n'est pas immédiatement accessible. Ce contexte engendre une certaine paresse méthodologique chez les chercheurs, qui sont le plus souvent satisfaits d'une technique "qui a fait ses preuves".

Le but de cette étude est d'évaluer l'efficacité de trois techniques de traitement de signal: (1) un lissage rectangulaire, (2) une approximation polynômiale segmentée et (3) un filtre adaptatif. L'étude est menée à partir d'une batterie de tests divers afin de faire une évaluation globale de l'efficacité de chacune des techniques. De plus, dans certains tests, on dispose de données externes valides puisque ces tests concernent des lois mathématiques ou physiques. Nous nous servons de ces lois pour faire les comparaisons entre les différentes techniques. Précisons que peu d'études ont procédé de cette façon pour tenter de mettre en lumière une technique de traitement optimale.

Limites de l'étude

Cette étude se limite aux trois techniques de traitement de signal présentées précédemment, et ce pour l'ensemble des tests retenus, énumérés plus loin.

Notre intention étant de démontrer l'application de certaines techniques en vue d'une utilisation en biomécanique, nous ne prétendons pas cerner ce domaine, ni apporter une conclusion définitive sur le sujet.

CHAPITRE II

Recension des écrits

Depuis une dizaine d'années, plusieurs travaux ont été publiés sur des techniques de traitement de données biomécaniques (Wood, 1982; Hatze, 1981; Cappozzo, 1981; Hu, 1980; Lesh, Mansour et Simon, 1977; Zernicke, Caldwell et Roberts, 1976; Winter, Sidwall et Douglas, 1974). Notamment celle de Wood (1982) est certes l'une des plus riches. L'apparition de tant d'études était due au besoin croissant de redressement des données, que les chercheurs contemporains semblent éprouver, et davantage encore à la désuétude des techniques d'analyse, la technique des différences finies par exemple. Les chercheurs ont constaté que de telles techniques ne permettaient pas de conduire des analyses temporelles valables.

Voici un aperçu des différents procédés de traitement de données (lissage ou différentiation) utilisés en biomécanique: (a) les méthodes graphiques, (b) les techniques des différences finies, (c) les approximations polynômiales globales, ou (d) segmentées, (e) le filtrage numérique et (f) l'analyse de Fourier. Nous présentons la base théorique et un synopsis critique pour chacun de ces procédés.

(a) Méthodes graphiques

La dérivée d'un point quelconque q sur une courbe y ($y = f(t)$), pour quelque fonction f inconnue (du temps), est représentée par la pente de la tangente à ce point (voir figure 1). Alors, la dérivée par rapport au temps des données de position peut être obtenue en dessinant, par l'oeil et la main, une courbe lisse à travers la série des points mesurés (ligne du meilleur ajustement), puis en mesurant la pente des tangentes aux points d'intérêt.

En répétant cette procédure une seconde fois, depuis les données obtenues à la première application, nous retrouvons les données d'accélération.

Cette méthode n'est pour ainsi dire plus utilisée car elle demande beaucoup de temps, est sujette aux erreurs et reste peu rigoureuse.

(b) Technique des différences finies

Cette technique n'est pas à proprement parler une technique de lissage mais plutôt une méthode de différentiation directement applicable aux données brutes. Ainsi la dérivée $f'(t)$ d'une fonction $y = f(t)$ en un point (t_i) peut être définie comme:

$$dy/dt = f'(t_i) = (f(t_i + h) - f(t_i)) / h$$

ou, d'une façon symétrique:

$$dy/dt = f'(t_i) = (f(t_i + h) - f(t_i - h)) / 2h$$

où $f(t_i + h) - f(t_i - h)$ est la première différence centrale de $f(t)$. La deuxième dérivée, $f''(t)$, au point (t_i)

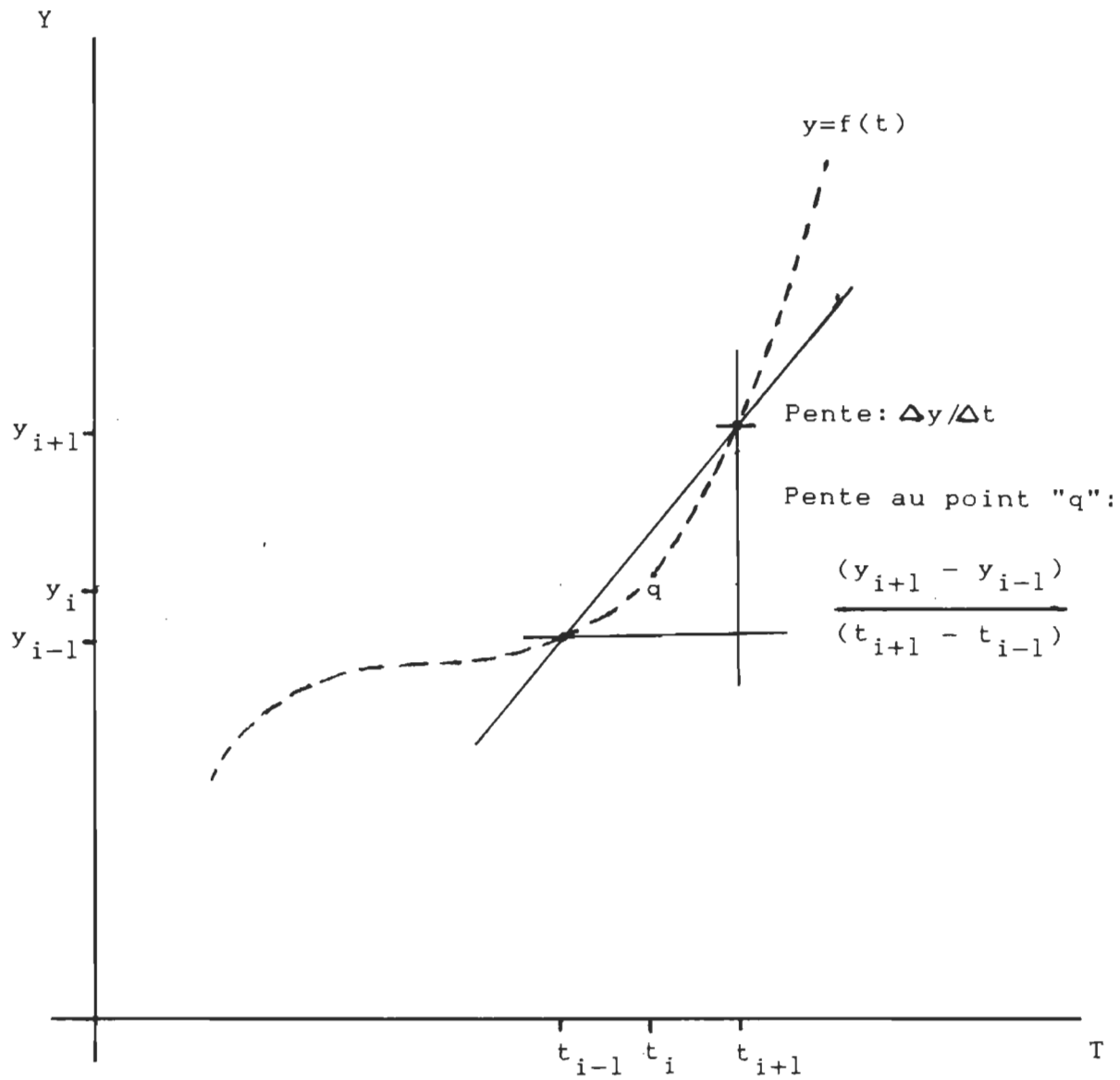


Figure 1. Exemple de la méthode graphique.

peut être obtenue de façon similaire en utilisant les différences centrales:

$$\begin{aligned} d^2y/dt &= f''(t_i) \\ &= (f(t_i + h) - 2f(t_i) + f(t_i - h)) / h^2 \end{aligned}$$

Le rationnel du calcul de dérivée par la limite peut s'intégrer au développement d'une fonction empirique en séries de Taylor (James et coll., 1964). Mentionnons aussi qu'avec une telle technique il est possible d'utiliser des procédures particulières, comme les différences finies progressives ou régressives, pour évaluer les dérivées aux bornes. Généralement, les expressions de différences finies ont été trouvées peu efficaces lorsqu'appliquées aux données brutes contaminées par du bruit. De meilleurs estimés peuvent être obtenus en lissant d'abord les données brutes par un autre procédé, avant d'appliquer cette technique. Par exemple, Pezzack et coll. (1977) ont utilisé un filtre numérique pour lisser les données, pour appliquer ensuite une formule de première différence centrale. Ils ont obtenu des résultats satisfaisants.

(c) Approximations polynômiales globales (ou complètes) des moindres carrés

Les chercheurs ont peu à peu écarté les deux premières techniques mentionnées et ont dirigé leurs efforts vers des approximations polynômiales. Une approximation polynômiale signifie que l'on tente d'approcher l'allure des données, en partie ou au complet, par un polynôme linéaire de degré

quelconque. Dans ce cas-ci, c'est l'ensemble des données que l'on veut estimer par un polynôme.

Les méthodes pour faire l'interpolation des vraies données et les formules de dérivation ainsi obtenues ne sont pas immédiatement applicables à des données expérimentales où

$$f(t) = p(t) + e \text{ (e: erreur aléatoire).}$$

Dans ce cas, on peut tenter d'approximer la fonction empirique ci-haut par un polynôme de faible degré. Une solution numérique pour ce polynôme de faible degré peut être déterminée de telle façon qu'elle représente une ligne du meilleur ajustement: une procédure, appelée la méthode des moindres carrés, exige que la somme des carrés des écarts, par rapport à la fonction polynômiale, soit minimale; ainsi on cherche $p(t)$ de sorte que

$$S = \sum (y_i - p_m(t_i))^2 \text{ est un minimum.}$$

Pour un polynôme de degré m , cette expression peut être écrite comme

$$S = \sum (y_i - a_0 - a_1 t_i - a_2 t_i^2 - \dots - a_m t_i^m)^2$$

et pour que cette fonction soit minimale, les dérivées partielles ds/da_0 , ds/da_1 , ..., ds/da_m doivent être nulles. Alors m équations peuvent être obtenues, les équations normales qui, lorsque résolues simultanément, donnent les coefficients a_0 , a_1 , ..., a_m pour un ajustement des moindres carrés d'un polynôme de degré m à un ensemble de N données empiriques. Il est facile de déterminer analytique-

ment les dérivées/temps de cette fonction approximative.

Les décisions relatives au choix de la valeur la plus appropriée de m , l'ordre du polynôme, sont souvent faites arbitrairement. On peut diminuer cette part d'arbitraire lorsqu'on connaît la fonction attendue, soit en termes des minima et maxima, soit à partir d'une référence théorique (ex. loi physique).

Un autre inconvénient majeur de l'approximation polynômiale globale est que le choix de m prédétermine l'ordre des dérivées, puisque la k^{e} dérivée du polynôme est toujours d'ordre $m-k$.

Enfin avec ce genre d'approximations des données biomécaniques, les fonctions résultantes ne sont pas aptes à s'ajuster à des variations locales apparaissant dans certains intervalles de la fonction étudiée (Wood, 1982).

Les approximations polynômiales globales ont une supériorité marquée par rapport aux techniques nommées précédemment. Cependant elles ne sont pas complètement satisfaisantes. Comme Zernicke et coll. (1976) le mentionnent, le choix de l'ordre du polynôme, pour un ensemble de données, constitue un problème. Des analyses systématiques des deuxièmes dérivées de polynômes d'ordres variés ajustés au même ensemble de données empiriques ont révélé des biais en termes de la grandeur absolue et de l'occurrence temporelle des minima et maxima dans les phases d'accélération (Zernicke et coll., 1976). De tels biais conduisent à des interpréta-

tions incorrectes, par exemple en ce qui à trait aux accélérations du geste étudié.

(d) Approximations polynômiales segmentées

Comme l'approximation polynômiale précédente était effectuée pour l'ensemble des données et qu'elle ne permettait pas des ajustements spéciaux pour des intervalles de données, on a voulu combler ces lacunes en implantant des polynômes segmentés. La technique de l'arc mobile (Hershey et coll., 1967) s'utilise avec des polynômes segmentés de degré m et un nombre de points N' définissant le domaine de l'arc. Les paramètres opérationnels de la technique de l'arc mobile sont issus de m et N' , et sont habituellement des coefficients orthogonaux des moindres carrés. C'est par l'entremise de l'application de ces coefficients aux données brutes que nous retrouvons des données lissées. Le taux de lissage augmente avec le nombre de points (N') et il décroît avec l'augmentation du degré du polynôme (m). Il faut aussi noter que cette technique peut être appliquée plusieurs fois, de façon successive, afin d'atteindre le taux de lissage désiré. Cependant Hershey et coll. (1967) mentionnent que peu de différences sont remarquées après quatre applications de la technique pour $m=3$, $N'=5$ ou $N'=7$. D'ailleurs avec de telles spécifications de l'arc mobile, les auteurs déclarent obtenir généralement de bons résultats.

Dans une étude sur le départ de sprint, Gagnon et Rodrigue (1978) arrivent à des résultats favorisant un arc

mobile ($m=2$, $N'=5$) par rapport à un polynôme des moindres carrés d'ordre plus élevé. Les données de force provenant des données cinématographiques, et traitées selon les techniques retenues, sont comparées à celles prises sur la plate-forme de force.

Wold (1974) parle des désavantages reliés à l'utilisation de la technique de l'arc mobile. Il note que cette dernière n'exploite qu'une partie des données pour chaque ajustement. La précision est, selon lui, satisfaisante sauf aux extrémités car l'arc d'interpolation ne peut y être appliqué aussi bien que pour les données centrales. Un autre désavantage de cette technique concerne les données résultant des premières et deuxièmes différences pour lesquelles on retrouve des discontinuités, discontinuités que l'on tente de réduire par l'application itérative de ce lissage.

Les fonctions-pistolets (dénommées "splines") sont aussi des polynômes segmentés qui satisfont cependant à certaines conditions de continuité au niveau des dérivées des données étudiées (McLaughlin et coll., 1977). Deux ouvrages classiques traitent de la base théorique et des applications des fonctions-pistolets, il s'agit de Ahlberg et coll. (1967) et de Greville (1969).

Une fonction-pistolet consiste en une suite de polynômes, tous de faible degré m , qui sont attachés à des points sur t (temps) appelés noeuds (x_j : $j=1,2,\dots,N$) et reliés de façon à produire une fonction $g(t)$ continue avec $m-1$ dé-

rivées continues. Lorsque m égale trois, comme c'est le cas le plus commun, la fonction-pistolet cubique consiste en $N-1$ polynômes cubiques, chacun de la forme

$$g(t) = p_j(t) = a_j + b_j(t) + c_j(t)^2 + d_j(t)^3,$$

couvrant l'intervalle $x_{j-1} < t < x_j$ et satisfaisant la condition de continuité

$$p_j^k(x_j) = p_{j+1}^k(x_j); \quad (k=0,1,2; \quad j=1,2,\dots,N-1)$$

où p_j^k dénote la k^e dérivée du j^e polynôme et x_j est un noeud. La condition par laquelle la fonction possède $m-1$ dérivées continues assure une enveloppe globale lisse mais, contrairement au polynôme global, sa nature segmentée lui permet de s'adapter aux changements de courbure.

Pour ce qui est du positionnement des noeuds, on peut utiliser la méthode de Reinsch. Cette méthode place les noeuds à chaque t_i , joignant ensemble $N-1$ polynômes de manière à assurer une intégrale lisse, définie pour un pistolet cubique, ayant la forme

$$Q = \int (g''(t))^2 dt$$

soit contrôlée par la contrainte:

$$\sum ((g(t_i) - y_i) / dy_i)^2 \leq S$$

où les dy_i sont les erreurs de mesure standard et S est le paramètre contrôlant le taux de lissage (Wood, 1982). La procédure ICSSCU ("Cubic spline data smoother") de la banque IMSL (International Mathematical and Statistical Library) est basée sur l'algorithme de Reinsch, tous les noeuds étant ainsi implicitement définis.

Les fonctions-pistolets peuvent être implantées efficacement afin de produire de bonnes approximations des données biomécaniques. Leur grande flexibilité et leurs propriétés locales accentuées en font une technique généralement bonne nonobstant les choix qu'on doit faire pour le degré de la fonction-pistolet, la valeur-plafond de la contrainte pour la somme des carrés et l'arrangement des valeurs extrêmes de la série.

Jackson (1977) renchérit sur le mérite des fonctions-pistolets en mentionnant qu'une fonction-pistolet du troisième degré peut mieux suivre des variations locales dans les données que les fonctions globales tels les polynômes et les séries de Fourier. Une différence-clé entre les ajustements par fonction-pistolet et l'ajustement polynômial est que l'erreur des moindres carrés peut être variée comme un paramètre d'entrée par l'utilisateur pour l'ajustement par fonction-pistolet et qu'elle est rivée à sa valeur minimum pour l'ajustement polynômial (Zernicke et coll., 1976).

Plusieurs auteurs ont démontré que l'utilisation des fonctions-pistolets menait à des résultats plus intéressants que les techniques précédentes, c'est-à-dire les différences finies et l'approximation polynômiale (Wood et Jennings, 1979; McLaughlin et coll., 1977; Zernicke et coll., 1976).

Dans l'étude de Zernicke et coll. (1976), une comparaison a été faite entre un polynôme orthogonal et une fonction-pistolet du troisième degré à partir de données cinéti-

ques (un coup de pied filmé) enregistrées sur une plate-forme de force. La fonction-pistolet, appliquée aux données cinématographiques, produit les meilleurs résultats. Il y a moins de 5 pourcent de différence entre les données de force extraites à partir du film et celles de la plate-forme; tandis qu'en employant le polynôme orthogonal, il y avait plus de 10 pourcent de différence pour la même comparaison.

McLaughlin et coll. (1977) ont aussi démontré la supériorité des fonctions-pistolets du troisième degré par rapport à la méthode des différences finies et à un polynôme d'ordre fixe. Dans ce cas-ci, le geste étudié était un saut vertical enregistré simultanément sur film et sur plate-forme de force.

Enfin Wood et Jennings (1979) ont comparé deux fonctions-pistolets, une fonction du troisième degré et une autre du cinquième degré. Pour deux ensembles de données, celles de Miller et Nelson (1973), sur le déplacement vertical dans un saut en hauteur, et celles de Pezzack et coll. (1977) sur le déplacement angulaire d'un bras mécanique, les auteurs démontrent que la fonction-pistolet du cinquième degré produit les meilleurs résultats. Ils terminent en mentionnant que les fonctions-pistolets possèdent comme propriété désirable que leur comportement dans un intervalle des données est relativement indépendant de leur comportement dans un autre intervalle.

Malgré les résultats encourageants obtenus par l'utili-

sation des fonctions-pistolets du troisième degré, des problèmes ont été identifiés. Ainsi Zernicke et coll. (1976) et McLaughlin et coll. (1977) soulignent que lorsque les valeurs des données aux extrémités de la courbe d'accélération (deuxième dérivée) ne sont pas nulles, des erreurs importantes sont introduites dans l'analyse. McLaughlin et coll. (1977) ont d'ailleurs clairement illustré ce phénomène en filmant un objet en chute libre, l'approximation de l'accélération par la fonction-pistolet du troisième degré étant nettement différente de la droite représentant la constante gravitationnelle.

D'un autre côté, Wold (1974) poursuit dans la même veine en disant: "étant donné que les fonctions-pistolets sont des polynômes segmentés joints par des bornes communes, et qu'elles obéissent à la loi de continuité pour les première et deuxième dérivées, l'utilisation efficace de cette technique repose sur un ensemble de règles ayant rapport au choix du nombre de bornes et de leurs positions" (p. 3). Selon lui, il ne devrait pas y avoir plus d'un maximum ou minimum et d'un point d'inflexion par intervalle. Les extremums devraient aussi être centrés dans les intervalles et le point d'inflexion situé près de la borne. Une utilisation aveugle des fonctions-pistolets pourrait être néfaste lors de l'interprétation des résultats.

(e) Filtrage numérique

Un filtre numérique est une "boîte noire" qui accepte comme données d'entrée une séquence de nombres $y(t)$ équidistants, et opère sur eux pour produire comme données de sortie une autre séquence de nombres, $y'(t)$, d'une composition en fréquences altérée.

L'opération de base d'un filtre peut être représentée par une série d'opérateurs mathématiques $\sum a_j z^j$, où a_j désigne un coefficient de pondération et z^j , un décalage temporel, l'exposant j représentant le rang de la valeur à utiliser dans l'opération de filtrage. Par exemple, pour un lissage rectangulaire, ou moyenne mobile, à trois points, si les opérateurs de ce filtre élémentaire sont $a_0 = a_1 = a_2 = 1/3$ et $z^0 = 0$, $z^1 = -1$, $z^2 = -2$ alors la fonction correspondante est:

$$Y(t) = 1/3 (X(t) + X(t-1) + X(t-2)).$$

En conservant les mêmes coefficients a_j , avec $z^0 = -1$, $z^1 = 0$ et $z^2 = 1$, on obtient la fonction:

$$Y(t) = 1/3 (X(t-1) + X(t) + X(t+1)).$$

Il existe des filtres non récursifs ou récursifs. La principale différence entre ces deux sortes de filtres est que les seconds utilisent les valeurs déjà produites $Y(t)$ pour bâtir la fonction de transfert.

L'application de filtres numériques pour le lissage et pour la dérivation de données oblige l'utilisateur à faire des jugements de valeur à propos de la ou des fréquences de

coupure. Il faut aussi que le taux d'échantillonnage soit adéquat en relation avec le choix de la fréquence de coupure.

Cette remarque est aussi valable pour les fonctions-pistolets, dans lesquelles on décide du nombre et du positionnement des noeuds. Cette décision influence directement le taux de variations locales qui sera toléré dans les données, donc indirectement, une fréquence de coupure. En résumé, le filtrage numérique est un moyen efficace de lissage et de dérivation des données de position-temps. Une connaissance minimale des fréquences du signal et du bruit est requise; cependant l'analyse des résidus engendrés peut être un guide récursif utile en vue du choix d'une coupure optimale.

Pezzack et coll. (1977) confrontent trois techniques: (a) différences finies du deuxième ordre, (b) polynômes des moindres carrés de Chebyshev, et (c) filtre passe-bas du deuxième ordre suivi par une différence finie du premier ordre. Cette étude touche les données d'un film, traitées à l'aide des trois techniques, données que l'on compare à celles de l'accéléromètre relié au bras mécanique effectuant des mouvements d'abduction et d'adduction. Les comparaisons ont établi que la troisième technique se rapproche le plus des données de l'accéléromètre. Dans ce cas-ci, cette technique s'avère nettement supérieure aux deux autres.

Certains problèmes sont reliés à l'utilisation de fil-

tres passe-bas. Evidemment le bruit contenu dans les basses fréquences restera dans le signal s'il comporte des fréquences inférieures à la fréquence de coupure. Ce problème se retrouve aussi avec l'utilisation des fonctions-pistolets.

Le choix de la fréquence de coupure est souvent arbitraire. Certains auteurs proposent des moyens pour déterminer la fréquence de coupure. Il s'agit (a) de répéter quelques fois la digitalisation de la séquence analysée et ainsi d'en déduire le niveau de bruit grâce aux variations aléatoires dans les mesures (Lesh et coll., 1979); ou (b) de digitaliser un ou des points fixes contenus dans le film durant plusieurs images successives; encore ici les variations de position cartésienne correspondront au niveau de bruit contenu dans le film (Winter et coll., 1974).

L'utilisation d'un filtre passe-bas entraîne un dernier problème, soit le décalage du signal après le filtrage. Cependant ce décalage est annulé lorsque l'on refiltre les données dans la direction inverse du temps (Winter et coll., 1974).

(f) Analyse de Fourier

A l'époque des recherches portant sur les fonctions-pistolets, d'autres chercheurs s'arrêtaient à un nouvel outil, l'analyse de Fourier ou analyse spectrale. La base de cette analyse est le développement en séries de Fourier.

Les séries de Fourier fournissent un moyen d'exprimer une fonction périodique comme une somme pondérée de termes

cosinus et sinus de fréquences croissantes:

$$\begin{aligned} f(t) &= a_0 + a_1 \cos 2\pi t/T + a_2 \cos 4\pi t/T + \dots \\ &\quad + b_1 \sin 2\pi t/T + b_2 \sin 4\pi t/T + \dots \\ &= a_0 + \sum_j (a_j \cos j2\pi t/T + b_j \sin j2\pi t/T) \end{aligned}$$

Les premiers termes cosinus et sinus représentent des fonctions décrivant un cycle (2π radians) dans la période de temps totale (T secondes), et les termes subséquents représentent des fonctions dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale. Ces composantes de fonction sont appelées harmoniques, et leurs coefficients respectifs a_j , b_j (les coefficients de Fourier) indiquent la puissance de la j^{e} harmonique dont la fréquence est $j2\pi/T$ radians par unité de temps. Le coefficient a_0 est la moyenne de la série des données, et t est le temps, ou variable indépendante (Wood, 1982).

C'est ainsi que pour l'étude de signaux périodiques, les chercheurs se servent de l'analyse spectrale: par exemple, pour étudier les caractéristiques de l'EEG (Willey et coll., 1975), pour l'étude de la cinématique reliée à la marche (Winter et coll., 1974), etc.

Cependant l'analyse spectrale n'est pas limitée aux seuls signaux périodiques. La force exercée par le pied dans un simple coup de pied n'est pas une fonction périodique; pour qu'on y applique l'analyse spectrale, cet enregistrement doit être traité comme une partie d'une fonction périodique imaginée (Alexander et Jayes, 1975). Des données

d'impact, qui sont des fonctions temporelles transitoires, peuvent se traiter de la même façon.

En supposant que les données se répètent périodiquement, on peut utiliser l'algorithme de transformée de Fourier discrète (TFD), ou sa version accélérée, la transformée de Fourier rapide (TFR ou FFT en anglais) pour produire le spectre de fréquences de la série temporelle. Le spectre présentera les composantes fréquentielles jusqu'à une fréquence égale à la demie du taux d'échantillonnage, ou fréquence de Nyquist.

Une fonction auxiliaire de l'analyse spectrale est de guider le filtrage des données enregistrées. Le spectre peut permettre de découvrir quelles fréquences composent le bruit qui contamine les données. A partir de cela, un filtre approprié est implanté afin de réduire ou d'éliminer ce bruit. Dans une situation typique, un signal ne contenant essentiellement que des basses fréquences est contaminé par des erreurs de mesure aléatoires, généralement appelées "bruit blanc". En d'autres mots, un filtre passe-bas est nécessaire pour transmettre une forme vraisemblable du signal tout en éliminant le bruit dans le reste de la bande de fréquences (Lynn, 1971).

Tout comme pour les expériences utilisant les fonctions-pistolets, celles qui utilisent l'analyse de Fourier ont produit des résultats satisfaisants. Citons les études de Winter et coll. (1974), Pezzack et coll. (1977), Lesh et

coll. (1979), Hu (1980), Cappozzo (1981) et Hatze (1981).

Ainsi on croit que l'analyse spectrale peut permettre une adaptation à des variations locales, le point fort des fonctions-pistolets. On peut imaginer par exemple que, si le contenu en fréquences de l'ensemble des données dissimule une part de hautes fréquences dans une section restreinte, une analyse spectrale segmentée peut révéler la part d'énergie attribuable à de véritables hautes fréquences. Il faut cependant noter qu'une telle façon de procéder n'est pas courante, nécessite un grand nombre d'échantillons et peut entraîner des biais dans l'estimation des basses fréquences, par exemple.

Les chercheurs se sont, pour la plupart, attardés à démontrer la valeur de l'analyse spectrale et des traitements qui en découlent. Il semble aussi que des combinaisons de techniques soient intéressantes, par exemple analyse spectrale+filtrage+premières différences finies (Pezzack et coll., 1977), fonction-pistolet+analyse spectrale+filtrage (Cappozzo, 1981).

Une fonction est représentée dans le domaine des fréquences par les coefficients de Fourier a_j et b_j : cette fonction peut être reconstruite dans le domaine temporel en utilisant la transformée de Fourier inverse avec un nombre réduit d'harmoniques ou fréquences. Si cette fonction temporelle reconstruite, comparée avec la fonction temporelle originale, ne perd pas d'éléments d'information réelle, ceci

indique que la fréquence de coupure était suffisante (Hu, 1980).

Cette méthode et les précédentes représentent des solutions intéressantes parce qu'elles évitent des traitements de signal aveugles. Elles demeurent néanmoins simples d'application, l'utilisation de procédures sur ordinateur permettant d'effectuer tous ces calculs sans douleur.

Wood (1982) compare cinq techniques de lissage de données: un polynôme global, des fonctions-pistolets du troisième et du cinquième degré, des séries de Fourier optimalement régularisées et un filtre de Butterworth du deuxième ordre. Ces comparaisons sont réalisées à partir des données de Pezzack et coll. (1977).

En résumé, toutes ces techniques, sauf celle du polynôme global, présentent de bons résultats. Pour la composante d'accélération, de légères différences surviennent entre les résultats des quatre techniques restantes. Selon Wood toutefois, ces approximations des secondes dérivées demeurent acceptables quand on les compare aux données fournies par l'accéléromètre.

CHAPITRE III

Méthodologie

Sujets

Deux sujets participent à cette étude. Mme Danielle Roy effectue la tâche de mouvement horizontal d'aller-retour, ou glissement, entre deux cibles. L'expérimentateur sert lui-même de sujet pour le saut vertical et le saut en longueur sans élan.

Appareils

Une caméra Locam pour film de 16 millimètres (mm) est utilisée pour enregistrer les différents tests de l'expérimentation. Deux lentilles sont disponibles sur cette caméra: une de 25 mm et une autre à grand angle, de 12,5 mm. Un ordinateur Apple II Plus et ses accessoires s'ajoutent aux appareils pour les phases de contrôle d'expérience, d'extraction et de traitement de données.

Autres matériels

La réalisation des différents tests nécessite l'usage de matériels supplémentaires. En voici la liste: une grosse horloge à un tour par seconde (s); un indicateur d'essais; un ballon de volleyball; un support de bois pour le ballon; deux tapis sensibles à micro-contact; une lumière stroboscopique; des mouches pour marquer les articulations;

un métronome; un stilet.

Procédures

La séance de filmage se déroule au laboratoire de biomécanique du Département des Sciences de l'Activité Physique de l'U.Q.T.R. Les tests à filmer lors de cette séance sont: (a) la chute libre et (b) les rebonds d'un ballon; (c) le saut vertical; (d) le saut en longueur sans élan; (e) la tâche de glissement. De plus, nous utilisons le film de Dionne (1984) présentant la trajectoire parabolique d'un ballon. Une fonction mathématique périodique, contaminée par divers degrés de bruit aléatoire, complète l'ensemble des données de départ. Nous voyons les spécifications de cette dernière un peu plus loin dans cette section.

Nous retrouvons une série de paramètres communs aux différents tests comme: la distance lentille-sol, la distance lentille-plan d'action, le type de lentille, l'ouverture du diaphragme et la vitesse de la caméra. Ces paramètres sont présentés au tableau 1. Mentionnons qu'une référence de longueur connue (0,914 mètre (m) ou 3 pieds) est présente dans chacun des tests et qu'une marque blanche, à chaque 0,1 s, est imprimée sur le film via une diode faisant partie du mécanisme interne de la caméra. Nous reprenons ici les procédures spécifiques des différents tests.

Tableau 1

Paramètres communs de filmage

Test	Distance lentille sol (m)	Distance lentille- plan d'action (m)	Ouverture diaphragme (mm)	Lentille type (mm)	Vitesse caméra (im/s)
ballon (chute et rebonds)	1,45	7,20	2,8	12,5	20
saut vertical	1,45	5,15	2,8	12,5	40
saut en longueur sans élan	1,45	5,15	2,8	12,5	40
glissement	1,45	5,15	2,8	25,0	40
ballon parabole	- *	9,88	1,4	25,0	100

* Non spécifiée dans Dionne (1984).

(a) et (b) Tests de chute libre et de rebonds d'un ballon. Un ballon de volleyball conventionnel (21 cm de diamètre) est utilisé pour ces tests. Dans un premier temps, nous voulons retrouver un objet en chute libre, alors que dans un deuxième temps nous nous servons des rebonds de ce ballon comme test pratique n'ayant pas de base théorique, même si on approche une fonction de type périodique.

Une quinzaine d'essais composent ces tests. Le ballon est suspendu à 2,55 m du sol à l'aide d'un support en bois de fabrication maison. Un préposé au départ du ballon se trouve à la hauteur du ballon sur un escabeau. Le préposé maintient le ballon au moyen d'une pièce métallique pointue jusqu'au signal de l'opérateur de la caméra. Lorsque la caméra est activée et le signal donné, le préposé retire la pièce et on filme le ballon, rebonds inclus, jusqu'à ce qu'il déborde le couloir de départ dans le plan frontal. Ce critère est évalué par le préposé au ballon qui supervise l'action. La figure 2 illustre le dispositif expérimental de ces tests.

(c) Saut vertical. Le sujet effectue cinq sauts verticaux sans s'aider de ses bras afin de ne pas cacher l'articulation d'intérêt, soit la hanche droite, que marque une mouche circulaire blanche fixée sur un maillot foncé. La caméra vise le plan sagittal droit du sujet. Un tapis sensible couplé à une lumière stroboscopique sert à déterminer les instants de départ du sol et de retombée au sol du su-

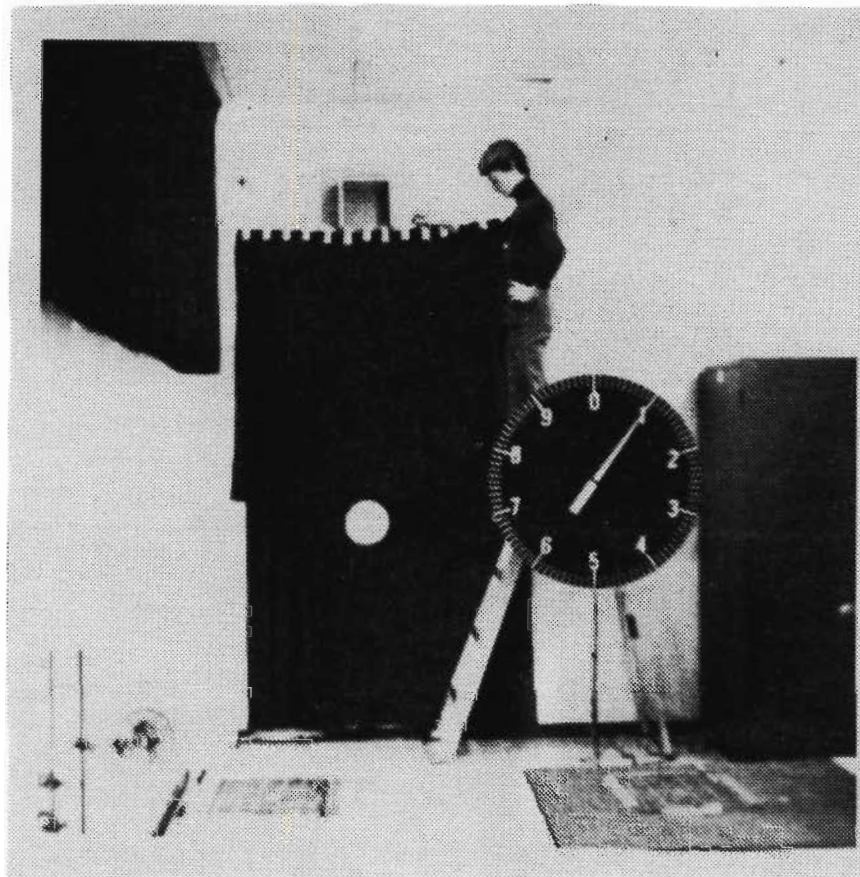


Figure 2. Chute libre et rebonds du ballon.

jet.

(d) Saut en longueur sans élan. Encore une fois, le sujet effectue cinq sauts. Le plan d'action demeure le même que celui du saut vertical, et la même articulation, la hanche droite, est marquée. Cette fois-ci, deux tapis sensibles sont couplés à la lumière stroboscopique puisque les points de départ et d'arrivée sont différents.

Dans les deux tests, le film est stoppé lorsque le sujet fait allumer la lumière stroboscopique une deuxième fois par l'entremise du ou des tapis sensibles, selon le cas. Un programme en Basic sur Apple II Plus contrôle les impulsions faisant allumer et éteindre la lumière stroboscopique. Les figures 3 et 4 illustrent les dispositifs relatifs à ces derniers tests.

(e) Glissement. Le sujet est dans un plan frontal, c'est-à-dire face à la caméra (voir figure 5). Un métronome, dont la fréquence est réglée à environ 84 battements à la minute, impose la cadence à laquelle le sujet doit rejoindre l'une et l'autre cibles, alternativement, avec un stylet. Les cibles ont deux cm de diamètre et sont séparées de 20 cm, centre à centre. Un couloir large de deux cm est tracé sur le parcours de glissement; le sujet doit respecter ce couloir pour effectuer ses déplacements entre les cibles. Le sujet commence à déplacer le stylet en suivant le rythme du métronome, puis la caméra est actionnée lorsque la cadence semble stabilisée. On filme cinq mouvements différents

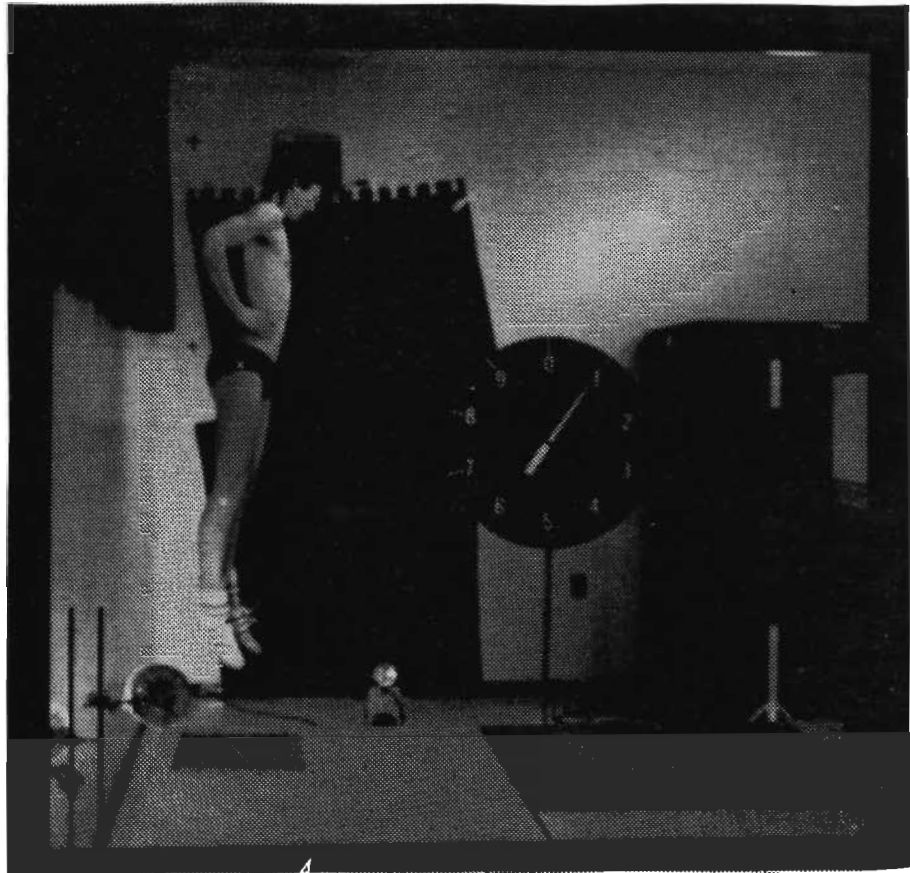


Figure 3. Saut vertical.



Figure 4. Saut en longueur sans élan.



Figure 5. Glissement.

pendant quatre cycles complets chacun, soit des séquences d'environ trois secondes.

(f) Trajectoire parabolique. Le film utilisé dans l'étude de Dionne (1984) sert pour le test impliquant la trajectoire parabolique. Un ballon noir (22 cm de diamètre) sur fond blanc suit une trajectoire naturelle sur une distance variant entre trois et quatre mètres, pour un total de cinq lancers.

(g) Fonction mathématique contaminée. Un composé sinusoïdal de deux fréquences constitue le point de départ de ce test. Les fréquences sont respectivement de 3 et de 15 Hertz (Hz). La fonction mathématique pure est: $4,47 \cos 3t + 13,42 \cos 15t$, où 4,47 et 13,42 sont les amplitudes associées aux fréquences 3 et 15, produisant une variance (pure) de 100^1 . La fonction est ensuite discrétisée en 100 points, correspondant à un échantillonnage au 0,01 s durant 1 s.

La fonction pure décrite plus haut sera contaminée par du bruit gaussien, à trois niveaux d'amplitude, introduit par programmation²: (a) une amplitude faible du bruit par rapport au signal (variance de 1), (b) une amplitude moyenne (variance de 5) et (c) une amplitude plus élevée (variance de 10). Nous avons ainsi trois pourcentages de la variance

$$^1 \text{var}(f_t) = 1/2 \sum a^2 = 1/2 (4,47^2 + 13,42^2) = 100.$$

$$^2 f_t \text{ (contaminée)} = 4,47 \cos 3t + 13,42 \cos 15t + \sqrt{\text{var}(E)} E_t, \\ \text{où } E_t \sim N(0,1).$$

pure, 1, 5 et 10 pourcent. Les variables aléatoires distribuées selon $N(0,1)$ sont produites à l'aide de la méthode de Box et Muller (1958).

Procédures de digitalisation

Le système d'analyse cinématographique COORDIPRO (1983) a permis de faire ressortir les coordonnées cartésiennes des points d'intérêt de l'étude. Ce système fonctionne à l'aide d'un micro-ordinateur, auquel sont annexées une unité-disque et une tablette graphique d'environ 31 par 31 cm et possédant une grille évaluée à 5800 unités en X et 6100 unités en Y. Le tout est complété par un projecteur de marque "photo optical data analyzer (Model 224A)", qui présente les images d'un film sur la tablette. La figure 6 illustre l'arrangement de ces appareils lors de la phase d'extraction.

Avant d'amorcer l'extraction, nous avons visionné les films de l'étude afin d'en vérifier la qualité et de déterminer les points à extraire pour chacun des tests. Ce visionnement a permis d'éliminer quelques essais dont les images sont floues et ceux dont l'enregistrement n'est pas complet. Ces cas se retrouvent aux essais 4, 5, 9, 10, 11 et 12 du ballon, à l'essai 5 du saut vertical, à l'essai 3 du saut en longueur sans élan, à l'essai 5 de la tâche de glissement et à l'essai 1 de la trajectoire parabolique du ballon. La phase d'extraction n'est pas menée pour ces essais.

Le choix des points à extraire s'est effectué selon les exigences suivantes: un point fixe servant de référence, un

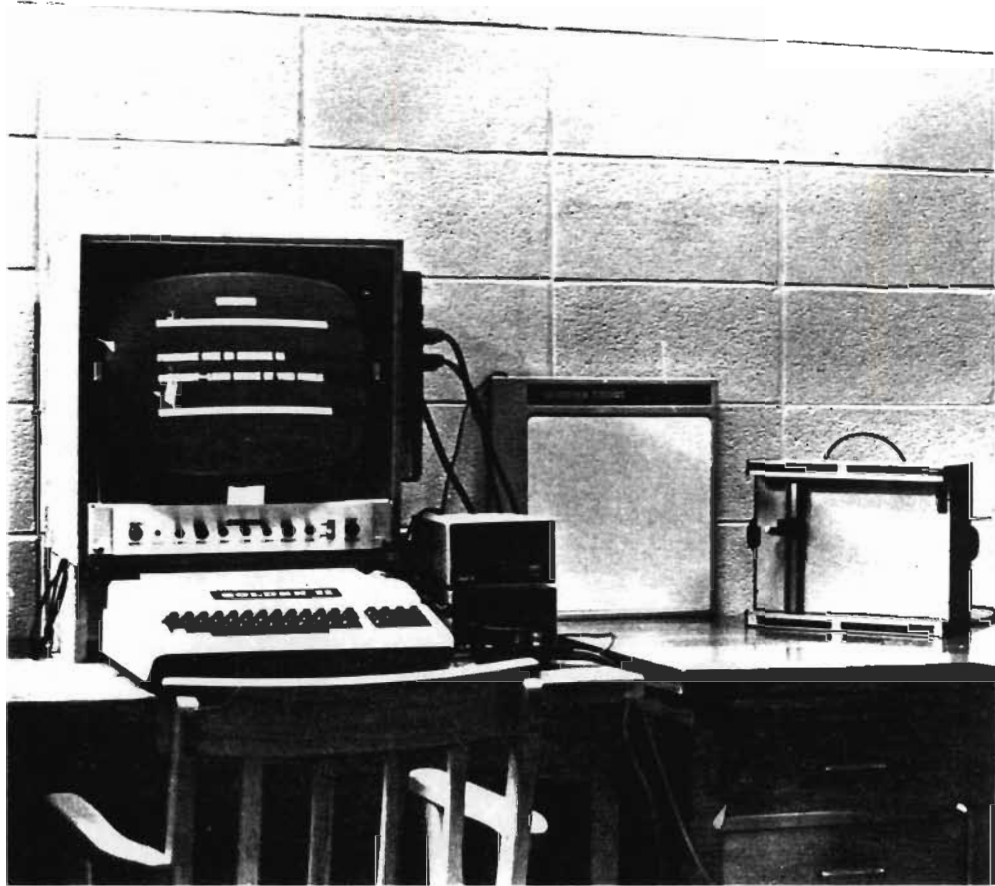


Figure 6. Appareils utiles durant la phase d'extraction. (Note: le projecteur n'apparaît pas sur la photo)

point d'analyse, un second point fixe. Bien entendu, tous ces points doivent être présents sur chaque image de l'essai à extraire; comme le plan d'action est identique d'un essai à l'autre pour un même test, les points choisis restent les mêmes pour l'ensemble des essais d'un test.

La procédure d'extraction et de digitalisation est la suivante: on extrait les points dans l'ordre décrit ci-haut, puis on recommence une deuxième fois les extractions sans changer d'image. On a donc, théoriquement, les coordonnées cartésiennes de chaque point en double. On répète cette procédure pour toutes les images constituant un essai, pour tous les essais retenus d'un test et pour tous les tests filmés. Le tableau 2 résume la nature des points extraits et le nombre de points par image des différents tests. Tous les essais sont conservés en fichier sur disquette à l'aide d'un programme qui gère la phase de digitalisation.

Choix des essais

Pour chacun des tests, nous n'avons besoin que d'un essai et ses deux extractions pour appliquer les techniques de traitement de données. Nous retenons l'essai qui semble le plus approprié pour l'analyse, comme expliqué plus bas.

Dans un premier temps, les données brutes extraites de la tablette graphique, en X et en Y, sont retranscrites sur des tableaux présentant le nom du test, le numéro de l'essai et, pour chaque image de l'essai, les coordonnées des extractions jumelles de tous les points. De plus, au bas des

Tableau 2
 Nature des points des différents tests*

Test	Point			
	1	2	3	4
Ballon Chute libre et rebonds	Croix de ruban (R)	Centre du ballon (A)	Centre de l'horloge (F)	
Saut vertical	Croix de ruban (R)	Hanche droite (A)	Centre de l'horloge (F)	
Saut en longueur	Croix de ruban (R)	Hanche droite (A)	Coin du rideau (F)	
Glissement	Croix de ruban (R)	Métronome (S)	Bout du stylet (A)	Bâton de référé- rence (F)
Trajectoire parabolique	Cadrage (S)	Centre du ballon (A)	Bas du ballon (S)	

* (R): point de référence, (A): point d'analyse,
 (F): point fixe, (S): point supplémentaire.

tableaux, les sommes, moyennes, variances et écarts-types des points sont affichés.

Cette étape permet d'identifier des erreurs évidentes, erreurs d'extraction ou d'un autre ordre, puisque les coordonnées des points doivent normalement suivre un certain patron, d'image en image. Ce patron est fonction de l'évolution réelle du ou des points étudiés dans la séquence filmée. Par exemple, un point fixe (ou stable) doit présenter des valeurs très près les unes des autres, alors que les coordonnées en Y du ballon en chute libre doivent diminuer graduellement image après image, pour toutes les images du test. De plus, la double extraction signifie que nous devons retrouver des couples de données, ou données jumelles, qui doivent être approximativement égales.

Une seule erreur d'ordre d'extraction est apparue et elle se répercute en X et en Y pour l'essai 1 du test de glissement. La reconstitution de l'ordre d'extraction s'est effectuée facilement et on a corrigé cette erreur sans compromettre l'essai.

Nous parlons ci-après des sortes de variances disponibles avec la méthodologie utilisée lors de l'extraction. Par ailleurs, les tableaux 12 à 16 (annexe D) présentent les écarts-types de tous les essais des tests filmés, en X et en Y. Nous avons retenu l'écart-type, plutôt que la variance, afin de présenter des valeurs d'un ordre de grandeur raisonnable.

Etant donné la méthode d'extraction utilisée, nous possédons quatre sortes de variances: (a) la variance des données brutes des points extraits, (b) la variance de la différence (ou soustraction) des données jumelles, (c) la variance des positions relatives (i.e. variance de la différence entre le point mesuré et le point de référence correspondant), (d) la variance des positions relatives jumelles (i.e. variance des différences de positions relatives des données jumelles). La statistique la plus utile dans le but de mettre en évidence la qualité de l'extraction pour un test quelconque est certes la variance de la différence des données jumelles. Cette statistique nous renseigne principalement sur la stabilité des valeurs jumelles, et ce pour chaque point différent, y compris le point de référence, un point très important car c'est de lui que découlent les données de positions relatives. C'est à partir de cette statistique que, dans un deuxième temps, une autre sélection d'essais est amorcée.

Les variances des différences des données jumelles, en valeurs absolues, se distribuent à peu près comme des variables Chi-carré (χ^2). En appliquant une transformation logarithmique à ces données, nous obtenons une distribution d'erreurs (ou écarts) approximativement normale. A partir de cela, nous sommes en mesure d'appliquer un critère de rejet à un seuil déterminé, en invoquant la loi normale. Ce critère est appliqué à chacun des tests, où tous les essais

d'un même test sont regroupés. Ainsi on détermine si à une image d'un essai donné, le point considéré s'écarte significativement de la courbe normale formée par l'ensemble des points du test, en X et en Y.

Cette étape se déroule de la façon suivante: (a) nous accumulons les données de tous les essais d'un test, en X et en Y; (b) pour chaque point différent, nous soustrayons les données jumelles tout en calculant la moyenne et la variance de la valeur absolue de cette différence; (c) après un tri, ou mise en ordre croissant, des différences, nous établissons les centiles 25, 50 et 75 et transformons ceux-ci à l'aide du logarithme; (d) à partir des $\log C_{25}$, $\log C_{50}$ et $\log C_{75}$, on obtient des estimés robustes de la moyenne ($a = \log C_{50}$) et de l'écart-type ($b = (\log C_{75} - \log C_{25}) / 1,349$) sur échelle transformée; (e) nous établissons les valeurs de rejet pour un test unicaudal $Z_{0,975} = 1,960$ et $Z_{0,990} = 2,326$ pour $p = 0,025$ et $0,010$ respectivement; (f) nous déterminons les bornes supérieures appropriées en les ré-exprimant sur l'échelle originale ($X_{0,975} = \exp(a + Z_{0,975}b)$ pour $p = 0,025$), et (g) nous affichons, s'il y a lieu, le numéro de l'image correspondant à une valeur de différence plus élevée que les valeurs de rejet. Nous avons donc les statistiques suivantes pour les différences de données jumelles; la moyenne et l'écart-type de base, leurs estimés robustes obtenus par le calcul des centiles, les valeurs de rejet pour $p = 0,025$ et $p = 0,010$.

On a conservé la valeur de rejet associé au seuil de 0,025 puisque ce dernier est suffisamment sévère et nous assure d'éliminer des images, d'où des essais passablement déviants. Le tableau 3 présente les essais déclarés déviants pour chacun des tests en fonction des points de référence, du point de l'analyse, du point fixe; le nombre d'images fautives fait aussi partie de ce tableau. Les essais considérés fautifs sont exclus des analyses ultérieures, sauf dans le cas du point fixe pour lequel les répercussions sont négligeables dans les phases qui suivent.

Un autre critère, celui de la variabilité des données de position en X ou en Y, est appliqué afin de réduire encore le nombre d'essais par test dans le but d'en retenir un seul. Quatre tests sont touchés par ce critère: le ballon en chute libre et ses rebonds (en X), le saut vertical (en X) et le test de glissement (en Y). Le critère constitue un contrôle spécifié à priori, dès avant l'expérimentation. Un programme sert à calculer la variance des positions relatives (point d'analyse - point de référence correspondant) du centre du ballon, de la hanche et du bout du stylet, et ce pour les données jumelles.

Pour le ballon, nous avons éliminé les essais 2 et 8 qui présentent une plus grande variance en X que l'essai 7 pour n'importe quel ensemble de données jumelles. L'essai 1 du saut vertical est aussi moins variable en X que l'essai 2. En glissement, cette procédure a favorisé l'essai 1, moins

Tableau 3

Synopsis des images déviantes des tests filmés

Test	N d'images fautives						Essais fautifs images		Nombre total images	Nombre total essais
	Pt de référence		Pts de l'analyse		Pt fixe		X	Y		
	X	Y	X	Y	X	Y				
Ballon (chute et rebonds)	4	-	-	1	-	9+	1(2) 3(2)	1(8) 6(2)	295	6
Saut vertical	1	2	6	1	1	1	3(6) 4(2)	3(2) 4(2)	247	4
Saut en longueur	1	-	-	2	1+	1 1	5(3)	4(2) 5(1)	183	4
Glissement	-	-	-	-	1	1	2(1)	2(1)	431	4
Trajectoire parabolique	-	1+	2	-	-	-	4(2)	4(1) 3(1)	375	4

Notes: 3(1) correspond à 1 image fautive dans l'essai 3
 + significatif au seuil p (alpha) = 0,01
 sans signe (significatif au seuil p = 0,025)

variable en Y, au détriment des essais restants 2, 3, 4.

Mentionnons qu'au saut en longueur, et pour la trajectoire parabolique, il ne reste que deux essais en lice. Alors un choix au hasard a favorisé les essais 2 pour ces deux tests.

Le résultat final de ce choix des essais apparaît au tableau 4, où l'on retrouve pour chaque test les numéros d'essais retenus, le nombre d'images correspondant, le facteur de conversion déterminé à partir de la référence de 0,914 m, la vitesse réelle de la caméra calculée à partir de la marque blanche imprimée sur le film à toutes les 0,1 s.

Erreurs de mesure

Pour les tests filmés, nous sommes en présence de deux types d'erreurs de mesure: 1) l'erreur d'extraction et 2) l'erreur de cadre (ou d'alignement des images). L'amplitude de ces erreurs sert souvent à fixer le degré de lissage des données. L'annexe A apporte des précisions algébriques sur les erreurs de mesure et de contamination.

Application des techniques

Tous les tests sont traités par les trois techniques principales retenues. L'ensemble des données initiales est la totalité des images de l'essai analysé de chaque extraction du test concerné. C'est à partir des données de position-temps que les techniques sont menées. Un bref exposé sur les spécifications de chacune des trois techniques suit.

(a) Lissage rectangulaire. Le lissage rectangulaire

Tableau 4
Essais retenus

Test	Essai	Nombre d'images	Facteur d'échelle (k) en m	Vitesse de la caméra en im/s
Chute libre	7	17	0,062859	21,923
Rebonds du ballon	7	61	0,062859	21,923
Saut vertical	1	70	0,045883	37,083
Saut en longueur sans élan	2	46	0,044411	35,455
Glissement	1	99	0,022157	37,273
Trajectoire parabolique	2	97	0,065227	103,000

est une technique simple qui agit sur les données comme peut le faire un filtre passe-bas élémentaire. Nous allons estimer un point Y, au temps t, par trois points: son prédécesseur, lui-même, son successeur. La formule mathématique est:

$$Y(t) = 1/3 (X(t-1) + X(t) + X(t+1)).$$

Nous utilisons la forme non récursive de cette moyenne mobile, les valeurs passées et estimées ne servant pas à l'estimation de Y au temps t. Dans cette technique, le premier et le dernier point ne sont pas changés par le lissage, i.e. $Y(1) = X(1)$ et $Y(N) = X(N)$. Le programme "Lisseur" (voir annexe B) traite les données brutes tel que décrit ci-haut.

(b) Fonction-pistolet ou approximation polynômiale segmentée. Nous avons arrêté notre choix sur une fonction-pistolet cubique, ou chaîne polynômiale segmentée du troisième degré. La littérature indique assez clairement que plusieurs études sont menées avec cette technique. De plus, nous avons opté pour une procédure automatique de positionnement des noeuds; la méthode recommandée dans ce cas est celle de Reinsch, illustrée dans la procédure ICSSCU de la banque IMSL. Cette façon de procéder est retenue parce que nous voulons limiter au minimum l'établissement de critères souvent subjectifs en ce qui concerne les noeuds. Le seul paramètre à inscrire pour ajuster les polynômes est la somme des carrés qui contrôle le degré de lissage. L'estimé d'erreur sert à établir le degré de lissage (SM) nécessaire dans

le programme "Splineur" (voir annexe B). Nous multiplions cet estimé par "N", le nombre de points traités. Une telle stratégie est justifiable en examinant l'algèbre utile pour satisfaire au rationnel du paramètre de lissage dans la méthode de Reinsch.

Une méthode inspirée de Laananen et Brooks (1978), citée dans Wood (1982) et basée sur le test de séquences (Runs test), permet d'estimer la valeur de ce paramètre. Cette méthode s'est avérée régulièrement satisfaisante avec des signaux mathématiques contaminés artificiellement. Cependant le temps d'exécution étant un facteur limitatif pour du traitement sur micro-ordinateur, une telle méthode a dû être mise de côté. Néanmoins cette méthode reste attrayante pour une exploration ultérieure.

(c) Analyse spectrale et filtre adaptatif. Cette technique comprend plusieurs étapes. Tout d'abord, nous nous servons de la transformée de Fourier discrète pour dresser l'image du contenu en fréquences du test analysé. Nous examinons ensuite ce contenu en termes d'énergie, puis nous établissons un filtre en amplitude pour éliminer les composantes dont l'énergie n'est attribuable qu'à de l'erreur.

Notons que deux filtres en amplitude sont utilisés. Le premier, le filtre algébrique (ci-après dénommé "filtre"), retire à chaque composante fréquentielle l'énergie d'erreur évaluée. Pour le deuxième filtre, que nous désignons "sur-

filtre", nous considérons qu'à chaque composante de fréquence l'énergie d'erreur se distribue comme un Chi-2 à deux degrés de liberté pour chacune des fréquences ($f: 1$ à $N/2$), sauf à la fréquence de Nyquist pour N pair, où le Chi-2 a un degré de liberté (Priestley, 1981, chap.6, pp. 397 et suiv.). Nous filtrons alors les données selon un critère de rejet qui est $10\sigma_B^2$, soit 10 fois l'estimé de l'énergie d'erreur, ou bruit. Lorsqu'une fréquence possède un niveau d'énergie plus élevé que le critère, le surfiltre fonctionne comme le filtre normal. Cependant si le niveau n'est pas plus élevé que le critère, la composante fréquentielle est considérée comme artificielle et assignable seulement à de l'erreur, et on la met à zéro. Dans le cas de ces deux filtrages, la réduction en énergie des composantes fréquentielles est itérée jusqu'à ce que la somme des énergies du spectre filtré soit réduite à notre estimé de la variance pure: cet estimé est tout simplement la variance totale dont on soustrait la variance d'erreur, celle-ci provenant de la différence entre les données relatives jumelles. Les programmes "Filtre Amplitude Algébrique" et "Filtre Amplitude Chi-carré" (voir annexe B) servent respectivement pour le filtre algébrique et le surfiltre.

Construction des données des tests ayant une base théorique

Les tests suivants sont soumis à l'influence de lois physiques ou mathématiques: le ballon en chute libre, le glissement, la trajectoire parabolique et la fonction mathé-

matique contaminée. Les paramètres nécessaires pour construire les ensembles de données sont le facteur d'échelle, le temps entre les images et le nombre d'images. Les autres paramètres sont spécifiques à chacun de ces tests.

La chute libre d'un corps, en négligeant la résistance de l'air, correspond aux équations suivantes:

$$X(t) = X(m), \text{ où } X(m) \text{ est une constante}$$

$Y(t) = Y(o) + 1/2 gt^2$, où g est la constante gravitationnelle et $Y(o)$ est la hauteur initiale de l'objet. La valeur de la constante gravitationnelle est le paramètre à spécifier ici.

Pour ce qui est du test de glissement, la structure de déplacement horizontal peut être approchée par un modèle périodique simple:

$X(t) = X(m) + A \cos (2\pi ft + \phi)$ où seules l'amplitude du déplacement (A), la fréquence imposée (f) et la phase (ϕ) restent à préciser.

La trajectoire parabolique doit se rapprocher de:

$$X(t) = X(o) + V(o)t \cos A$$

$$Y(t) = Y(o) + V(o)t \sin A + 1/2 gt^2.$$

Les paramètres $V(o)$ (vitesse initiale) et A (angle) sont à évaluer.

Les spécifications des paramètres de ces trois tests se retrouvent à l'annexe C. De plus, notons que nous avons un ensemble de données théoriques pour chacune des extractions de ces tests car certaines valeurs initiales, finales, ou

constantes diffèrent légèrement d'une extraction à l'autre.

Enfin la fonction mathématique contaminée est le seul test pour lequel nous bâtissons, à la fois, la fonction pure et la fonction contaminée. La procédure a été détaillée précédemment. Les tableaux 17 à 20 présentent les données théoriques ainsi construites. Par ailleurs, les tableaux 21 à 29 contiennent les données temporelles brutes. Dans ces deux ensembles de tableaux (annexe D), les données de position sont représentées en cm, sauf pour les fonctions mathématiques contaminées, où nous retrouvons des unités arbitraires.

CHAPITRE IV

Résultats

L'analyse des résultats est faite à partir de la statistique "racine de l'écart quadratique moyen", REQM (en anglais "root mean square", RMS). Cette statistique semble appropriée puisqu'elle quantifie l'écart existant entre deux séries de données, par exemple deux courbes. Nous nous en servons de deux façons, premièrement pour la comparaison des résultats obtenus avec les valeurs théoriques correspondantes, deuxièmement pour la comparaison des deux extractions équivalentes, suite à l'application sur chacune des techniques de traitement. La première façon est baptisée "REQM théorique" et la seconde, "REQM jumeau".

Le REQM théorique est certes la statistique la plus fiable car elle nous permet de quantifier l'écart "réel" entre les données obtenues avec les techniques de traitement par rapport aux données théoriques, prévues. Cette mesure est définie par :

$$\text{REQM théorique} = \sqrt{E (f - \hat{f})^2}$$

f étant la fonction pure,
 \hat{f} étant la fonction empirique.

De plus, le REQM semble plus adéquat qu'une simple corrélation car il représente mieux que cette dernière la distance

entre les données traitées et les données réelles; la corrélation reflète davantage la concomitance des allures globales des séries de données.¹ La valeur absolue moyenne des écarts ponctuels, valeur théorique moins la valeur de la technique en tout point, apparaît aussi être une statistique valable, puisqu'elle est moins influencée que le REQM pour des écarts possiblement aberrants, atypiques. L'écart absolu moyen (EAM) est compilé, de même que l'écart maximal (EM), valeur (absolue) de l'écart maximal à travers les séries.

Le REQM jumeau, ou écart entre les données jumelles d'une même technique, est la statistique utile pour les tests sans données théoriques de référence. Sa définition est:

$$\text{REQM}_{\text{jumeau}} = \sqrt{(1/2) E (\hat{f}_1 - \tilde{f}_2)^2}$$

\hat{f}_1, \tilde{f}_2 étant deux fonctions empiriques estimant f .

La valeur de cette statistique est d'abord établie dans les tests à référence théorique. Nous en discutons davantage plus loin dans le texte. Notons immédiatement que cette statistique peut être biaisée, avec l'utilisation d'une technique sévère par exemple. Ainsi un filtre qui amortit considérablement les données peut produire des résultats différant très peu pour les ensembles jumeaux, pas nécessairement des résultats vraisemblables. Nous tenterons d'iden-

¹ La corrélation linéaire r entre deux séries (à moyennes et variances supposées égales) est estimée ici par:
 $r = 1 - (\text{REQM})^2 / 2$.

tifier si un tel phénomène se produit avec les tests que nous analysons.

La présentation des résultats se fait en deux parties, tout d'abord les résultats des REQM théoriques et jumeaux pour les données ayant une référence théorique, puis ceux des REQM jumeaux pour les données sans référence théorique. Tel que mentionné précédemment, la première partie sert à vérifier la valeur d'interprétation des REQM jumeaux utilisés pour la deuxième partie. Dans les deux parties, nous retrouvons des REQM de position, de vitesse et d'accélération, les trois composantes cinématiques disponibles.

Il faut noter que quelques ajustements sont faits afin d'avoir des valeurs standardisées des REQM. Pour les REQM théoriques, nous avons corrigé le REQM obtenu à chacune des trois composantes par une réduction en fonction de la moyenne pour chaque technique employée. Cette correction semble utile car elle ramène les niveaux moyens (ou "niveaux DC") à l'égalité et rend équitable toute comparaison entre les techniques. La valeur corrigée correspond alors à la racine carrée d'une variance. De plus, les REQM de vitesse et d'accélération sont re-standardisés en fixant le temps entre les images. Comme l'intervalle temporel entre les images constitue un facteur de proportionnalité des REQM, en plaçant artificiellement une durée d'une seconde entre les images, nous uniformisons les REQM et nous permettons ainsi des comparaisons entre les REQM des différents tests. Nous fai-

sons donc

$(X(i+1) - X(i)) / T_i$ pour la vitesse et

$(V(i+1) - V(i)) / T_i$ pour l'accélération, avec $T_i = 1$,

$X(i)$ représentant la position à l'image i et $V(i)$ la vitesse estimée à l'image i . Ces ajustements prévalent aussi pour les statistiques EAM et EM.

Avant d'entreprendre la présentation des REQMs, il est de mise de regarder le niveau de l'erreur de contamination (appelée variance d'erreur) de chacun des tests analysés. Le tableau 5 présente l'allure du niveau d'erreur en X, axe horizontal et en Y, axe vertical. Ce niveau d'erreur correspond à la différence des données jumelles des positions relatives du point d'analyse (cf annexe A, (2) données jumelles relatives).

Les tableaux 30 à 38 (annexe D) présentent la statistique d'intérêt, le REQM, et les statistiques EAM et EM des axes X et Y et ce, pour les comparaisons avec les données théoriques et les données jumelles. D'autres tableaux contiennent les données temporelles brutes des deux extractions pour chacun des tests analysés (21 à 29, annexe D). Les figures des données spectrales brutes (14 à 21) et celles des accélérations (22 à 31), suite à l'application des techniques, sont regroupées à l'annexe E. Il faut noter que les spectres sont représentés d'une façon quelque peu particulière. Nous présentons les amplitudes (ou modules) des $N/2$ premières composantes fréquentielles. C'est donc dire que

Tableau 5
Niveau d'erreur observé dans chacun des tests

Test	Variance d'erreur (cm ²)	
	X	Y
Chute libre	0,1571	0,1095
Rebonds du ballon	0,2122	0,1979
Saut vertical	0,0734	0,0714
Saut en longueur sans élan	0,0501	0,0442
Glissement	0,0681	0,0749
Trajectoire parabolique	0,1890	0,3147
Fonction mathématique contaminée 1%	-----	0,9834*
Fonction mathématique contaminée 5%	-----	4,4475*
Fonction mathématique contaminée 10%	-----	9,9316*

* (unités arbitraires)

nous ne représentons pas le "reflet" des $N/2$ premières fréquences, mais nous doublons plutôt l'amplitude obtenue pour des fins de commodité d'interprétation. Par exemple, un signal de fréquence unique "F" possédant une amplitude "A", de forme $y(t) = A \cos Ft$, est représenté par le coefficient A à la fréquence F. Dans une version courante de représentation spectrale, nous aurions retrouvé $1/2A$ à F et $1/2A$ à $F' = N-F$, N étant le nombre de points. L'illustration finale correspond à un demi-spectre ne tenant pas compte du temps réel de l'événement, c'est-à-dire que l'on ne spécifie pas les composantes fréquentielles en Hz, ou autres unités de ce type. Nous convenons plutôt d'un temps uniforme de 1 s pour chaque signal transformé.

Données avec référence théorique

Les tests analysés dans cette première partie sont ceux de la chute libre, du glissement, de la trajectoire parabolique et des trois fonctions mathématiques contaminées. Nous présentons et discutons des classements des techniques de traitement utilisées en employant la statistique REQM. Les REQM théoriques et jumeaux alimentent la discussion orientée en fonction des axes X et Y, traités séparément.

Chute libre

Données en X. Les données théoriques de la chute libre, à l'axe horizontal, représentent une valeur constante, c'est-à-dire la valeur de la position réelle, en X, du ballon lorsqu'il a été lâché. Cette valeur est estimée par la

valeur moyenne soit 1,146 cm pour l'extraction 1 et 1,154 cm pour l'extraction 2. C'est donc dire qu'à chacune des images du test de la chute libre en X, nous nous attendons de retrouver la valeur moyenne de l'extraction concernée comme valeur théorique.

Les valeurs des REQM de position sont très près les unes des autres pour les données lissées, splinées, filtrées et surfiltrées. La proximité de ces REQM nous empêche de dégager des conclusions sûres à ce stade-ci. Nous voyons bien (tableau 30, annexe D) que ni le EM, ni le EAM n'aident à expliquer les renversements de classement des REQM de position pour les deux extractions. Les REQM jumeaux ne nous renseignent pas davantage, sauf peut-être en ce qui concerne les données lissées et filtrées qui semblent s'écarter des données splinées et surfiltrées. La conclusion la plus nette touche les données brutes, les REQM de ces dernières étant nettement supérieurs à ceux des autres données.

En appliquant une première différence à tous les ensembles de données, nous obtenons les vitesses associées et d'autres REQM sont calculés. Cette composante cinématique engendre des démarcations plus nettes entre les techniques. Les REQM théoriques confirment le premier rang aux données splinées, le deuxième rang est disputé entre les données surfiltrées et lissées, alors que les données filtrées et brutes s'écartent significativement des autres. Les REQM jumeaux présentent le classement suivant pour les différents

types de données: 1) surfiltrées, 2) splinées, 3) lissées, 4) filtrées et 5) brutes. Les résultats sont semblables à ceux des REQM théoriques, sauf pour les deux premiers rangs qui sont inversés. L'explication de cette inversion repose sur le fait que le travail en fréquence du surfiltre est plus uniforme d'une extraction à l'autre que celui du splineur avec les données temporelles. Cependant ce travail ne conduit pas aux meilleurs résultats puisque avec les REQM théoriques, le splineur se montre plus efficace.

Nous pouvons formuler les mêmes commentaires pour les REQM théoriques et jumeaux de la composante accélération. Ainsi on dénote une certaine stabilisation de l'efficacité des techniques lorsque nous effectuons les première et deuxième différences.

Données en Y. Les valeurs de la chute libre en Y sont représentées par une équation du second degré, dont les paramètres sont la hauteur initiale $Y(0)$ et la constante d'accélération, g . La forme

$$Y(t) = Y(0) + 1/2 gt^2$$

sert à bâtir deux ensembles de données théoriques, un pour chaque extraction. La chute libre de l'extraction 1 (fig. 7a) nous montre que les données brutes de position sont passablement près des données théoriques prévues.

Des conclusions plus évidentes se dégagent à propos du travail des techniques pour les trois composantes cinématiques lorsque l'on examine les REQM théoriques et jumeaux.

Les données filtrées et celles surfiltrées apparaissent identiques: le niveau d'erreur n'est pas suffisant pour éliminer des composantes fréquentielles même avec le surfiltre, la technique ayant le plus sévère critère de ces deux filtres en amplitude. Comme toutes les fréquences possèdent des énergies dépassant le niveau d'erreur, on soustrait exactement la même énergie dans les deux filtres, ce qui produit des résultats identiques, et médiocres, pour ces deux techniques.

Le classement des techniques se dresse comme suit: les deux ensembles de données filtrées sont toujours derniers, à peu près au même niveau que les données brutes, et les REQM des données lissées sont légèrement meilleurs que ceux des données splinées aux deux premières composantes cinématiques, la position et la vitesse. Cependant à la composante généralement plus révélatrice, l'accélération, les données splinées occupent le premier rang. Ces interprétations sont à la fois valides pour les REQM théoriques et jumeaux. D'ailleurs les graphiques d'accélération de la chute libre en Y (fig. 22, annexe E) semblent confirmer le classement obtenu avec les REQM.

En résumé, le splineur semble globalement plus efficace que les autres techniques pour les données analysées dans les deux plans, X et Y. Par ailleurs, en X le surfiltre occupe le deuxième rang alors qu'en Y le premier rang est partagé entre le splineur et le lisseur.

Glissement

Données en X. Nous proposons comme données théoriques en X que le sujet a atteint les cibles en suivant une fréquence fondamentale unique de deux cycles. Les niveaux de base, amplitudes et fréquences correspondants sont évalués à partir des spectres des deux extractions (voir fig. 18, annexe E). Le graphique temporel de position du test de glissement en X (fig. 7b) indique immédiatement que notre estimation théorique ne correspond pas tout à fait au patron des données brutes. Nous conservons quand même cette forme théorique car elle peut toutefois être approchée par des données brutes de même type ayant un taux de contamination plus élevé que celui que nous retrouvons ici.

Les REQM théoriques et jumeaux des données de position (tableau 34, annexe D) nous permettent de dégager seulement deux constats, le premier étant que les techniques semblent, encore une fois, équivalentes pour cette composante cinématique, sauf quant aux données brutes qui s'écartent déjà suffisamment de la fonction stipulée. Le deuxième constat touche le surfiltre, pour lequel le REQM jumeau est bien inférieur à ceux des autres techniques. Comme les spectres bruts présentent plusieurs fréquences possédant de faibles énergies, ces fréquences sont réduites à amplitude zéro suite à l'application sévère de ce filtre. Les fréquences restantes ont à peu près les mêmes énergies, ce qui a pour effet de produire un REQM jumeau peu élevé pour les deux ex-

tractions résultant du surfiltre.

Les composantes de vitesse et d'accélération du test de glissement nous indiquent assez clairement le rendement de chacune des techniques. Le surfiltre se classe premier tout juste devant le splineur, surtout en raison de la constance de ses REQM théoriques et de la petitesse de ses REQM jumeaux. Le lisseur prend le troisième rang assez loin derrière, suivi du filtre et, au dernier rang, des données brutes. Les graphiques d'accélération (fig. 23, annexe E) illustrent bien ces conclusions.

Données en Y. Les données temporelles en Y doivent théoriquement correspondre à une valeur constante (10,759 cm et 10,734 cm pour les extractions 1 et 2 respectivement) puisque les mouvements dans ce plan ont été interdits.

Il est intéressant de noter que les interprétations ou classifications faites pour les données horizontales prévalent aussi pour les données verticales. Même si les données de glissement en Y s'apparentent à celles de la chute libre en X, mentionnons que la vraisemblance du remplacement des données brutes par une constante peut être plus correcte (ou réelle) pour les données de glissement, les erreurs de réalisation des tests et les erreurs cinématographiques étant possiblement moindres pour le test de glissement. Rappelons que le couloir de déplacement permis pour le glissement avait deux cm de largeur, alors que pour la chute libre le préposé au départ du ballon tentait seulement de limiter

dans un plan la chute du ballon. La marge d'erreur semble ainsi plus élevée, ou moins contrôlée, pour la chute libre. De plus, l'extraction du centre du ballon est aussi plus difficile que celle du bout du stylet et finalement, l'agrandissement sur film (facteur d'échelle) favorise encore le test de glissement.

Le surfiltre semble retracer plus efficacement les fonctions théoriques présumées, c'est-à-dire une fonction périodique de fréquence deux (2) en X et une valeur constante en Y. Les données brutes en Y peuvent d'ailleurs être considérées comme du bruit "blanc" possédant un niveau de base, ou moyenne. Le splineur présente toutefois des résultats très acceptables.

Trajectoire parabolique

Données en X. Lorsque l'on projette la trajectoire parabolique dans l'axe horizontal, on obtient des valeurs théoriques obéissant à une équation du premier degré en t. Nous avons une forme

$X(t) = X(o) + m_x t$, où $X(o)$ est la position initiale et m_x la pente de la droite, soit la vitesse initiale multipliée par le cosinus de l'angle d'envol ($V(o) \cos A$). Cette équation théorique et les données brutes sont représentées dans le graphique de position (fig. 7c). Nous voyons que, dans cette figure, de légères fluctuations éloignent occasionnellement les données brutes des données théoriques.

Les résultats des REQM théoriques et jumeaux se ratta-

chent exactement, en termes de classement ou d'efficacité, à ceux présentés pour la chute libre en Y. C'est donc dire que les données splinées se rapprochent le plus de la réalité, suivies des données lissées et, au dernier rang, des trois autres ensembles de données. Comme auparavant, le splineur marque davantage sa supériorité à la composante d'accélération. Notons aussi que tous les écarts absolus moyens (EAM) se comportent de la même façon que les REQM.

Données en Y. Projetée sur l'axe vertical, la trajectoire parabolique se traduit par une équation du second degré:

$Y(t) = Y(o) + Bt + Ct^2$, où $Y(o)$ est la hauteur initiale, B le coefficient du premier degré ($V(o) \sin A$) et C , celui du second degré ($1/2g$). Encore une fois, le graphique de position (fig. 7d) reflète la vraisemblance des données théoriques prévues avec les données brutes initiales.

Même si le lisseur a légèrement le dessus sur le splineur pour le REQM théorique de l'extraction 1, ce dernier se démarque davantage pour les REQM théoriques de l'extraction 2 et pour les REQM jumeaux des trois composantes. L'allure globale du classement d'efficacité des techniques est préservée par rapport aux données de l'axe horizontal, même si l'écart splineur-lisseur est moindre.

Ce test sert à confirmer que les deux filtres en amplitude semblent inefficaces pour corriger des données à structure polynômiale de faible degré et contaminées. L'inter-

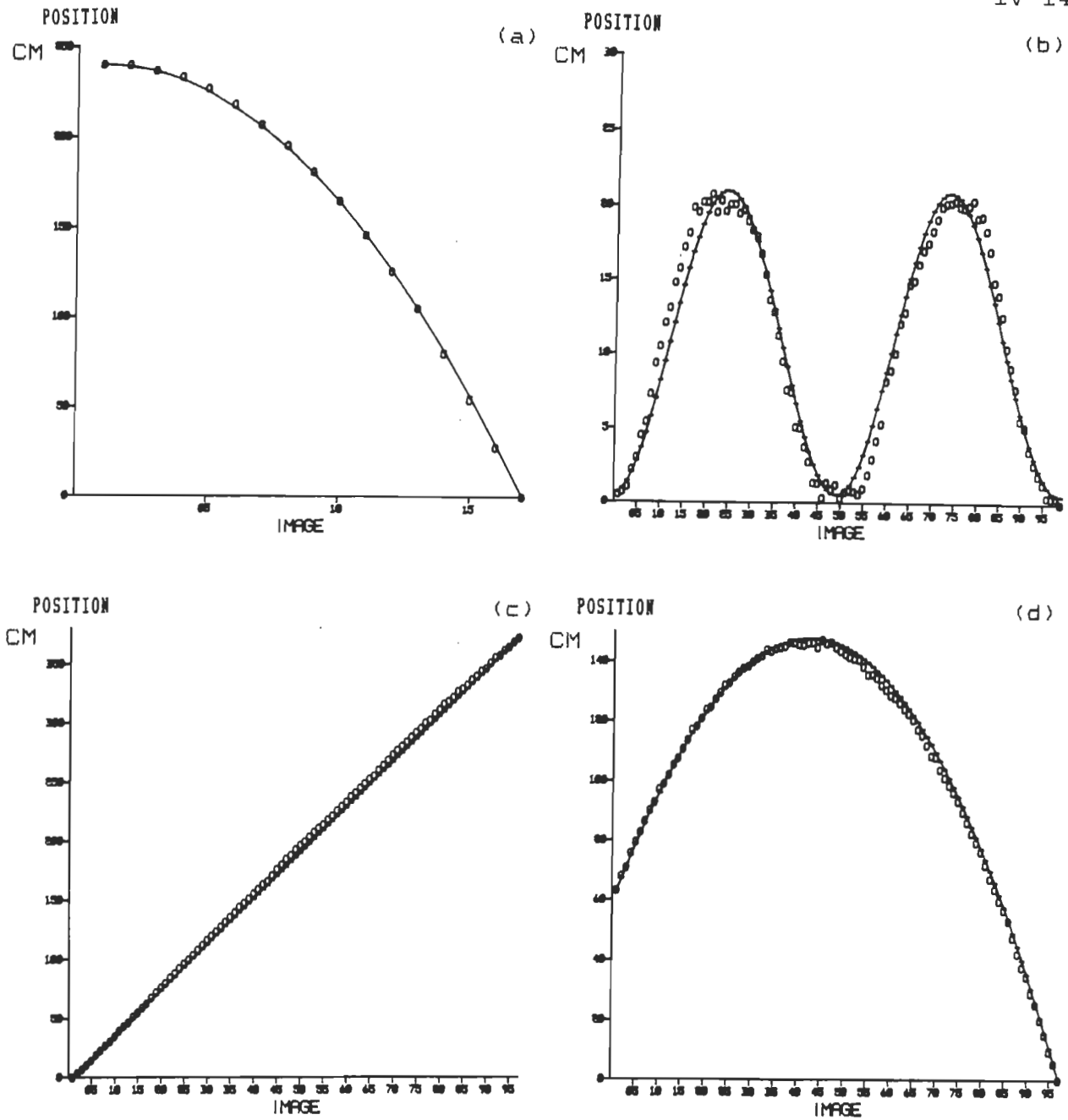


Figure 7. Données de position-temps (a) de la chute libre en Y, (b) du glissement en X, (c) et (d) de la trajectoire parabolique en X et en Y. (Note: les données théoriques sont en ligne continue et les brutes, en petits cercles)

prétation des graphiques d'accélération en X et en Y (fig. 24 et 25, annexe E) concorde avec les interprétations faites à partir des REQM.

Fonctions mathématiques contaminées

Rappelons qu'avec un composé en fréquences contenant 3 et 15 Hz, nous avons produit trois ensembles de données. En X, nous retrouvons uniquement l'élément temps, non contaminé, qui augmente régulièrement et ne fait pas l'objet de l'analyse. En Y, nous avons la forme théorique:

$$Y(t) = 4,47 \cos(3t) + 13,42 \cos(15t) + e(t)$$

où $e(t)$ est un bruit blanc gaussien¹.

Cette forme théorique a une variance de 100 et est contaminée par trois niveaux de bruit blanc, soit $\sigma_e^2 = 1, 5$ et 10, en d'autres mots 1, 5 et 10% de la variance pure. Mentionnons que le spectre théorique pur contient seulement une valeur d'énergie de base, la moyenne du signal (à la fréquence zéro, ou DC), et deux valeurs d'énergie associées respectivement aux fréquences de 3 et 15 Hz. La figure 8 nous montre les trois fonctions mathématiques contaminées avec la fonction théorique initiale à la composante de position.

Fonction mathématique contaminée 1%

Les résultats obtenus à partir de ces données brutes

¹ Cette fluctuation aléatoire est ainsi dénommée parce qu'elle se retrouve à toutes les fréquences du spectre, d'où sa "blancheur", et qu'elle obéit à la loi normale², ou loi gaussienne, de moyenne nulle et de variance σ_e^2 .

sont passablement clairs. Les deux filtres sont nettement supérieurs à toutes les autres techniques, le splineur étant cependant bien plus efficace que les techniques restantes dans les REQM théoriques. Le surfiltre obtient les meilleurs résultats pour les REQM théoriques de l'extraction 1 et il présente aussi les meilleurs REQM partout. Le bruit "blanc" de l'extraction 1 étant étalé moins uniformément que celui de l'extraction 2, ceci ne facilite pas le travail du filtre normal puisque quelques fréquences artificielles dépassent le niveau moyen estimé de l'énergie d'erreur et déforment encore quelque peu le signal filtré.

Fonction mathématique contaminée 5%

Avec ce niveau intermédiaire de contamination, nous ne notons qu'un seul changement. Le niveau de bruit "blanc" possédant une variance plus élevée, le niveau de l'erreur toléré par le filtre en amplitude est dépassé par plusieurs fréquences particulièrement élevées (ex. 42, 43, 46 et 48 Hz), ce qui contribue à écarter suffisamment les données filtrées de la réalité; et le splineur, avec un travail régulier, s'insère au deuxième rang pour le REQM théorique de l'extraction 2 et pour les REQM jumeaux. Il faut cependant noter qu'au même moment, le surfiltre s'affirme de plus en plus, ou plutôt maintient son rendement. Les résultats du surfiltre sont meilleurs en tout point, REQM théoriques et jumeaux, EAM théoriques et jumeaux.

Fonction mathématique contaminée 10%

Nous obtenons exactement les mêmes résultats avec 10% de contamination que ceux obtenus avec 5% comme ci-haut, sauf que le rendement des deux filtres est identique pour l'extraction 1.

Le résumé des résultats obtenus avec ces trois niveaux de contamination d'une fonction mathématique périodique se présente assez facilement. Tout d'abord, le surfiltre s'avère de loin la technique la plus efficace. Il est habituellement suivi par le filtre, mais le splineur se glisse occasionnellement devant ce dernier. Pour sa part, le lisseur offre des résultats moyens alors que des données non traitées, à l'état brut, sont inacceptables si l'on vise une interprétation sérieuse des résultats. Comme on peut le voir, les interprétations des graphiques d'accélération (fig. 26 à 28, annexe E) concordent bien avec celles provenant des REQM théoriques et/ou jumeaux. Les graphiques indiquent aussi que le lisseur et le splineur écrêtent sensiblement les trois signaux contaminés.

Données sans référence théorique

Pour trois tests, nous ne disposons que des REQM jumeaux de chaque composante cinématique. Il s'agit des tests des rebonds du ballon, du saut vertical et du saut en longueur. Nous considérons que les deux extractions sont perturbées par de l'erreur d'extraction seulement. Des erreurs de vitesse de caméra, de distorsion de l'image causée par le

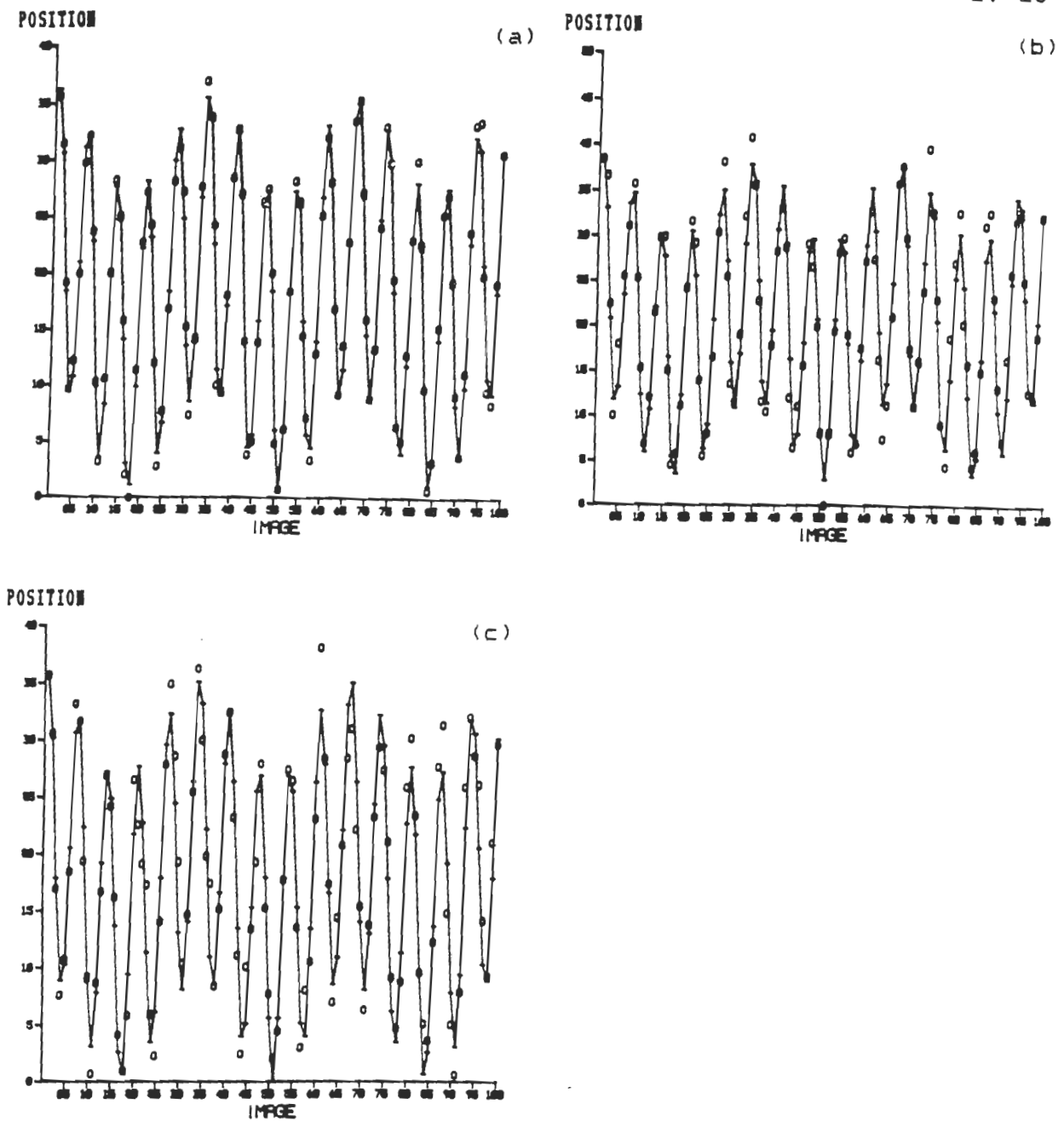


Figure 8. Données de position-temps des trois fonctions mathématiques contaminées (a) 1%, (b) 5% et (c) 10%. (Note: les données théoriques sont en ligne continue et les brutes, en petits cercles. Unités arbitraires en Y.)

projecteur ou autres, ne peuvent être considérées puisque nous ne possédons pas de données externes valides pour de tels phénomènes. Les données de position de ces trois tests se retrouvent à la figure 9.

Rebonds du ballon

Données en X. Idéalement le ballon ne devait pas se déplacer dans l'axe horizontal. Cependant chaque fois que le ballon touche le sol, le rebond ne se fait pas exactement dans le même plan à cause des imperfections de la surface du ballon de volleyball ou de sa rotation lors de l'impact. Il nous est donc difficile d'invoquer un patron théorique de déplacement du ballon en fonction des images.

Considérant que le niveau d'erreur entre les deux extractions brutes est évalué par le REQM jumeau et que les deux extractions doivent représenter le même patron de déplacement, on peut assumer que la technique de traitement la plus efficace présentera les plus faibles REQM jumeaux. Partant de ces déclarations, nous pouvons affirmer que le splineur, suivi de très près du surfiltre, est la meilleure technique pour les trois composantes cinématiques. Le lisseur prend le troisième rang; viennent ensuite le filtre avec des résultats moyens et les données brutes avec des résultats médiocres.

Données en Y. Les données de position en Y contiennent trois arrivées au sol, d'où deux rebonds du ballon (fig. 9a). Le spectre des données brutes (fig. 15, annexe E) de

ce phénomène est complet, c'est-à-dire que toutes les fréquences ont des valeurs d'énergie réelles. Les deux filtres retirent une même valeur d'énergie à chacune des fréquences car le niveau d'erreur est inférieur à toutes les valeurs d'énergie des composantes fréquentielles. Cette façon de procéder ramène habituellement l'efficacité des filtres au même niveau que celui des données brutes. Ces effets se retrouvent ici, les deux filtres offrant des résultats aussi éloignés que les données brutes pour les REQM jumeaux. Pour cet axe, le lisseur devance passablement le splineur, ayant les plus bas REQM jumeaux à toutes les composantes. On se rappellera d'ailleurs que dans le test de la chute libre en Y, le lisseur a des REQM théoriques et jumeaux presque aussi bons que ceux du splineur. Cependant les graphiques d'accélération (fig. 29, annexe E) ne permettent pas de se prononcer complètement sur le travail respectif du lisseur et du splineur. Le lisseur atténue davantage les valeurs d'accélération extrêmes alors que le splineur tolère des oscillations de plus grande amplitude.

Saut vertical

Données en X. Malheureusement un tel saut, même s'il est désigné vertical, se déroule aussi dans l'axe horizontal pour la mise en action et la poussée finale. Ainsi il n'est pas possible de prévoir justement un patron de mouvement en X.

Les REQM jumeaux sont tout de même suffisamment expres-

sifs. L'efficacité des techniques se traduit comme suit: splineur, lisseur, surfiltre, filtre et enfin pas de traitement. Les deux premières techniques se distinguent davantage. Le surfiltre offre des résultats tolérables, alors que les deux dernières techniques sont médiocres.

Données en Y. L'analyse des résultats dans l'axe vertical se lit de la même manière que celle de l'axe horizontal. Par contre, il faut possiblement se méfier du rendement obtenu par le surfiltre, étant donné que le spectre des données brutes a une forme décroissante avec de très faibles valeurs d'énergie dans les dernières fréquences. Le spectre des données splinées (voir fig. 10), les données ayant les meilleurs REQM, semble d'ailleurs confirmer que ces dernières fréquences sont faibles mais réelles, donc une technique quelconque ne devrait pas éliminer ces fréquences pour se rapprocher de la "vérité". La figure 30 (annexe E) indique bien que le splineur produit une forme plus stable ou régulière que les autres techniques. Toutefois, le surfiltre possède lui aussi une forme assez lisse dans la section intermédiaire de l'ensemble des données.

Saut en longueur sans élan

Si l'on fait exception de la mise en action et de la poussée finale, les valeurs horizontales et verticales s'apparentent à celles d'une trajectoire parabolique. Cependant le nombre d'images total étant très restreint, soit 46, nous ne pouvons nous permettre d'écarter des images pour conser-

ver seulement l'ensemble qui contient une forme parabolique. Nous retenons ainsi toutes les données et nous restons en présence d'un test sans référence théorique.

Données en X. Malgré le fait que nous ayons conservé les données cinématographiques au complet, nous obtenons des résultats en tout point semblables à ceux de la trajectoire parabolique du ballon en X. Les deux techniques qui produisent des REQM jumeaux à la fois acceptables et bons sont le splineur et le lisseur. Les spectres des données brutes (fig. 17, annexe E) nous montrent que nous sommes encore une fois en présence d'un spectre complet en fréquences, ce qui semble faire obstacle au filtrage en amplitude. Cette interprétation est appuyée par la figure 31 (annexe E) représentant les accélérations après traitement.

Données en Y. Les données splinées et lissées présentent des REQM jumeaux très près les uns des autres, et meilleurs que ceux des autres techniques, dans l'axe vertical. Leur efficacité à éliminer une part importante du bruit tout en conservant une forme vraisemblable du signal semble assurée. D'un autre côté, les trois autres techniques se retrouvent une fois de plus à l'opposé, incapables d'effectuer un travail acceptable. Il faut toutefois rappeler que la similitude des données actuelles avec les données de la trajectoire parabolique explique grandement les efficacités respectives obtenues ici. Il est d'ailleurs rassurant de remarquer une constance dans les résultats récipro-

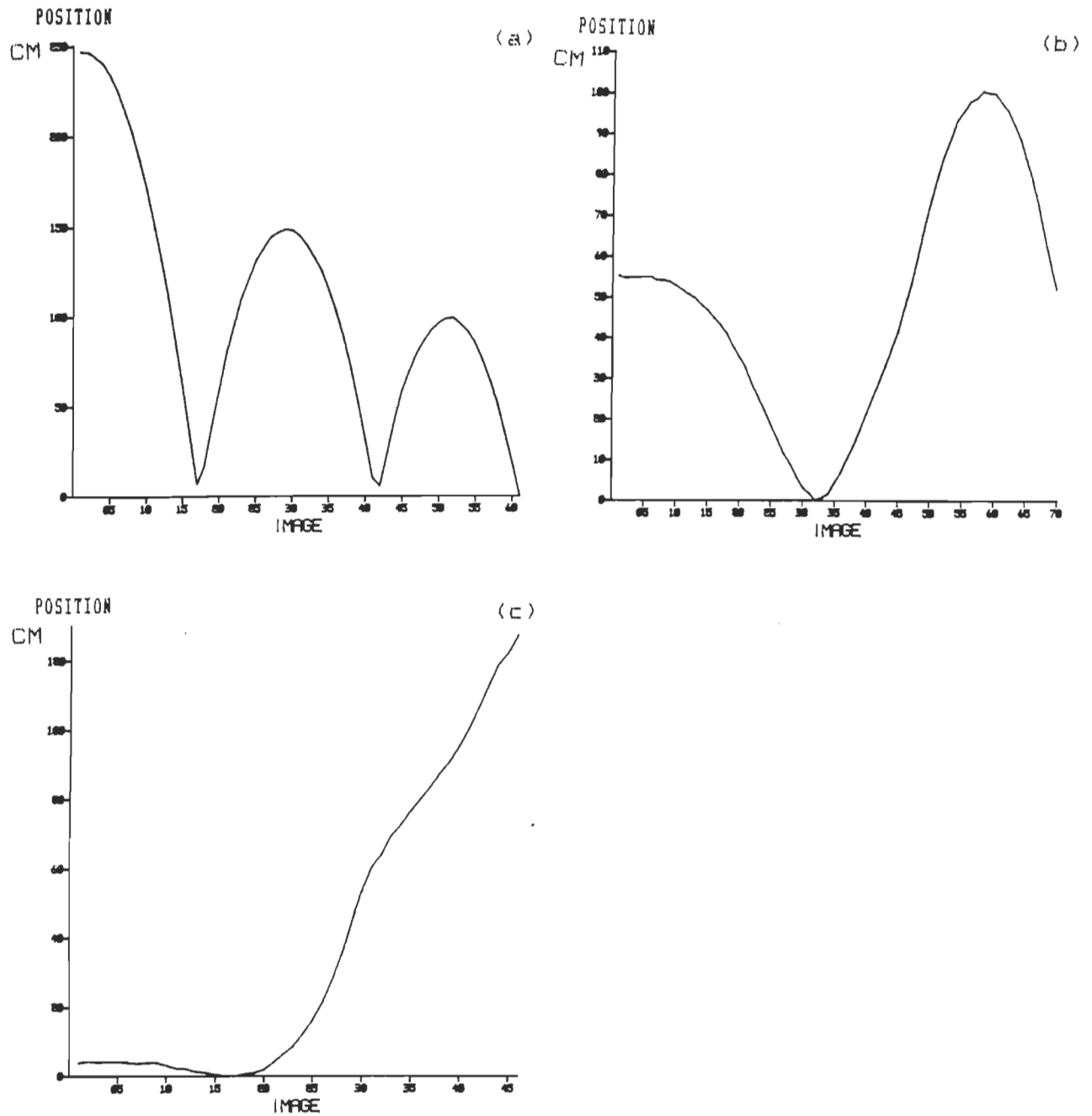


Figure 9. Données de position-temps (a) des rebonds du ballon en Y, (b) du saut vertical en Y et (c) du saut en longueur sans élan en X.

ENERGIE

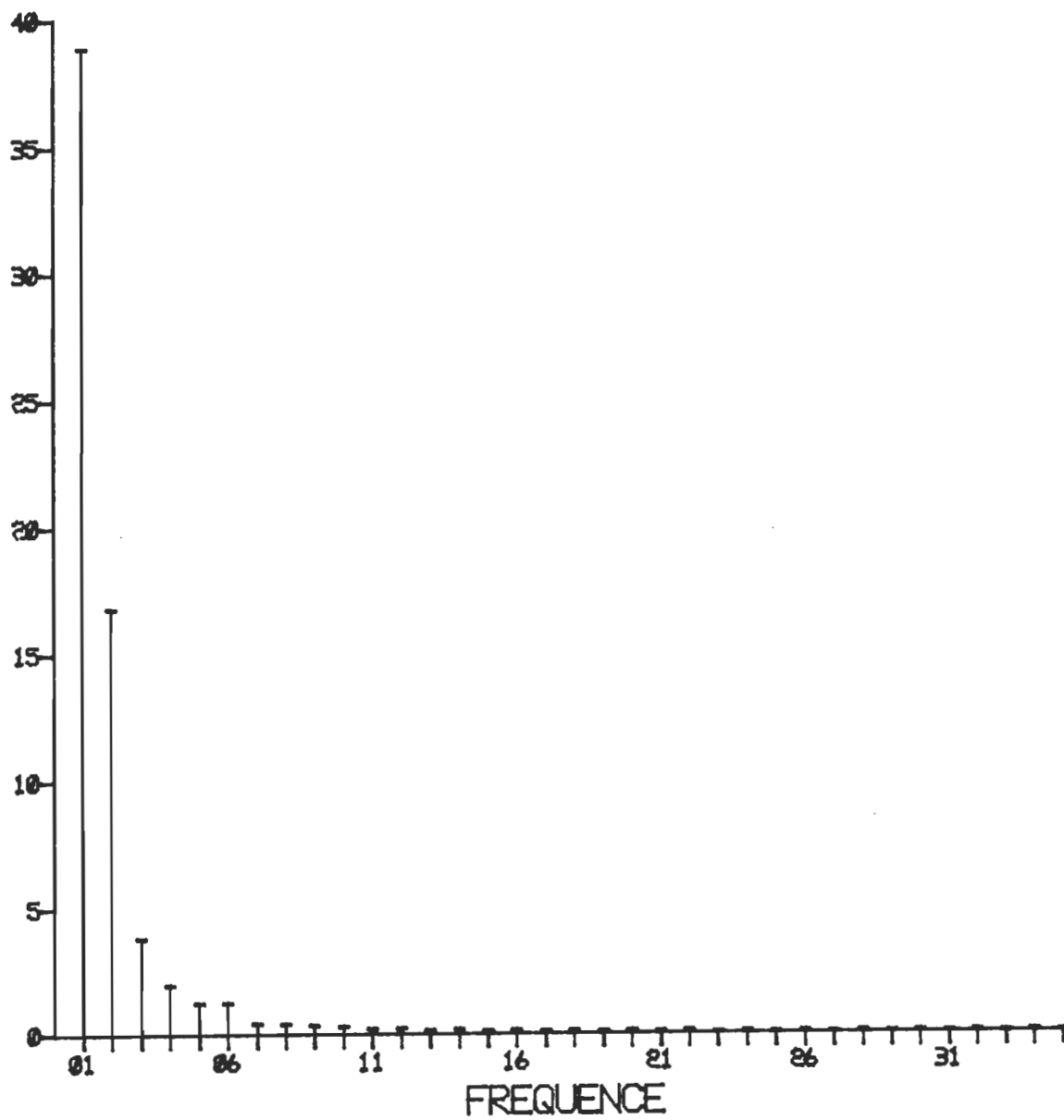


Figure 10. Spectre des données splinées du test du saut vertical en Y.

ques des techniques pour de telles données.

Les résultats obtenus avec les REQM jumeaux sont plus difficiles à défendre. D'ailleurs les figures 22 à 31 (annexe E) illustrent généralement que le surfiltre est moins efficace que le splineur et le lisseur pour les spectres complets. Par ailleurs, on s'aperçoit que le lisseur, en tant que technique simple, produit de nombreux renversements de forme, alors que le splineur rend une forme finale plus régulière, ou lisse.

Les tableaux 6 et 7 dressent un résumé des classements obtenus pour les différentes techniques en utilisant les statistiques REQM théoriques et jumeaux et ce, pour les trois composantes cinématiques.

Autres statistiques

Tel que précisé au début de cette section, nous avons fait l'analyse et la discussion des résultats en fonction de la statistique REQM. Cependant nous avons aussi proposé que l'écart absolu moyen (EAM) soit une statistique tout aussi valable pour le type de comparaisons effectuées à partir des ensembles de données.

Afin de renforcer cette déclaration, mentionnons qu'un seul classement à partir des EAM jumeaux diffère du classement fourni par les REQM jumeaux, et ce d'une position seulement. Ce cas se retrouve avec les données de la fonction contaminée 10% à la composante d'accélération. Ainsi sur les 45 classements possibles, il y a 44 comparaisons de classement entre les REQM et les EAM jumeaux qui concordent

Tableau 6

Classement des techniques en fonction des REQM théoriques
selon les trois composantes cinématiques (P,V,A)

Test		Brute	Lisseur	Splineur	Filtre	Surfiltre
Plan Extraction						
Chute libre						
X	1	5,5,5	4,2,3	3,1,1	1,4,4	1,3,2
	2	5,5,5	2,3,3	1,1,1	3,4,4	3,2,2
Y	1	3,3,3	1,1,2	2,2,1	3,3,3	3,3,3
	2	3,3,3	1,1,2	2,2,1	3,3,3	3,3,3
Glissement						
X	1	5,5,5	1,3,3	3,2,2	4,4,4	2,1,1
	2	5,5,5	2,3,3	1,1,1	4,4,4	3,2,2
Y	1	5,5,5	4,3,3	1,2,2	3,4,4	2,1,1
	2	5,5,5	4,4,3	1,1,1	3,3,4	2,2,2
Trajectoire parabolique						
X	1	3,3,3	1,2,2	2,1,1	3,3,3	3,3,3
	2	3,3,3	2,2,2	1,1,1	3,3,3	3,3,3
Y	1	3,3,3	1,1,1	2,2,2	4,4,4	4,4,4
	2	3,3,3	2,2,2	1,1,1	4,4,4	4,4,4
Fonction math. contaminée 1%						
Y	1	3,4,5	5,5,4	4,3,3	2,2,2	1,1,1
	2	3,4,4	5,5,5	3,3,3	2,2,1	1,1,1
Fonction math. contaminée 5%						
Y	1	4,5,5	5,4,4	3,3,3	2,2,2	1,1,1
	2	4,5,5	5,4,4	3,3,2	2,2,3	1,1,1
Fonction math. contaminée 10%						
Y	1	3,5,5	4,4,4	5,3,3	1,1,1	1,1,1
	2	5,5,5	4,4,4	3,3,2	2,2,3	1,1,1

Tableau 7

Classement des techniques en fonction des REQM jumeaux
selon les trois composantes cinématiques (P,V,A)

Test Plan	Brute	Lisseur	Splineur	Filtre	Surfiltre
Chute libre					
X	5,5,5	3,3,3	2,2,2	4,4,4	1,1,1
Y	3,3,3	1,1,1	2,2,2	3,3,3	3,3,3
Rebonds du ballon					
X	5,5,5	3,3,3	2,1,1	4,4,4	1,2,2
Y	3,3,3	1,1,1	2,2,2	3,3,3	3,3,3
Saut vertical					
X	5,5,5	1,2,2	2,1,1	4,4,4	3,3,3
Y	5,5,5	2,2,2	1,1,1	4,4,4	3,3,3
Saut en longueur sans élan					
X	3,3,3	1,2,2	2,1,1	3,3,3	3,3,3
Y	4,4,4	1,1,2	2,2,1	3,3,3	5,5,5
Glissement					
X	5,5,5	3,3,3	2,2,2	4,4,4	1,1,1
Y	5,5,5	3,3,3	2,2,2	4,4,4	1,1,1
Trajectoire parabolique					
X	3,3,3	2,2,2	1,1,1	3,3,3	3,3,3
Y	3,3,3	2,2,2	1,1,1	4,4,4	4,4,4
Fonction math. contaminée 1%					
Y	5,5,5	3,3,2	4,4,4	2,2,3	1,1,1
Fonction math. contaminée 5%					
Y	5,5,5	3,3,3	4,2,2	2,4,4	1,1,1
Fonction math. contaminée 10%					
Y	5,5,5	3,4,3	4,3,2	2,2,4	1,1,1

tout à fait, les comparaisons provenant des données en X, en Y et des trois composantes cinématiques.

Par ailleurs, les classements des EAM théoriques versus ceux des REQM théoriques offrent des résultats satisfaisants même s'ils sont moins rapprochés. Des 54 comparaisons de classement possibles, nous avons 40 accords complets et 14 désaccords, ces désaccords se produisant presque toujours sur le classement d'un seul rang: ces inversions de rangs surviennent habituellement entre les données lissées et splinées. Il faut d'ailleurs se rappeler que les interprétations au sujet de l'efficacité des techniques avec les REQM théoriques étaient parfois impossibles après les deux premières composantes cinématographiques, et ce en raison de certaines inversions de classement qui se produisaient d'une extraction à l'autre. Il n'est donc pas alarmant de constater de légers désaccords de classement qui affectent peu ou pas l'allure générale d'efficacité dégagée d'une technique dans un test donné. Le test de la chute libre est le seul à présenter moins d'accords (4) que de désaccords (8); c'est ce test qui contient le plus petit nombre de points, d'où des fluctuations possiblement plus importantes dans le travail des techniques. Enfin notons qu'à la composante d'accélération, souvent la plus significative, nous obtenons 16 accords complets contre seulement deux désaccords.

A la lueur de ces résultats de concordance REQM-EAM, il semble légitime d'affirmer que ces deux statistiques sont

aussi valables l'une que l'autre pour rendre compte de l'efficacité des techniques de traitement de signal retenues dans l'analyse des données brutes issues de la batterie de tests.

Le EAM devrait même être plus fiable que le REQM lorsque au préalable on ne procède pas comme ici à une sélection aussi minutieuse des essais. Cette statistique étant plus robuste que le REQM en présence de données possiblement aberrantes (parce que les écarts sont additionnés au simple plutôt qu'au carré), on peut en escompter, en général, une plus grande stabilité et une plus grande fiabilité.

Quant à l'erreur maximale (EM), mentionnons qu'elle ne semble pas une statistique suffisamment raffinée pour permettre de statuer sur l'efficacité des techniques de traitement de signal. Elle peut expliquer à l'occasion certaines inversions de classement entre des techniques; mais sa principale utilité serait sans doute pour détecter des images déviantes après les traitements.

Couleur du bruit

Par curiosité, nous avons voulu inspecter le type de contamination qui prévaut dans nos données cinématographiques. En bref, nous voulons voir si les erreurs d'extraction et les autres erreurs reliées à la cinématographie se comportent comme du bruit blanc, c'est-à-dire de l'erreur aléatoire répartie à peu près également en énergie à chaque composante fréquentielle.

Pour réaliser cette vérification, nous avons retenu les trois tests pratiques ayant une référence théorique soit: la chute libre, le glissement et la trajectoire parabolique. Nous avons cerné la "couleur" de l'erreur d'extraction en effectuant la soustraction des deux ensembles de données relatives jumelles (données temporelles) pour ensuite calculer le spectre résultant de cette différence. Les figures 11 et 12 présentent les spectres obtenus. Il ne semble pas y avoir de raisons valables pour ne pas interpréter ces spectres comme démontrant un bruit blanc empirique.

D'un autre côté, des valeurs de chacune des extractions jumelles sont soustraites des valeurs théoriques correspondantes. Les mêmes figures illustrent les spectres découlant de cette soustraction. Cette fois-ci, il est clair que l'énergie d'erreur résultante ne correspond pas à un spectre de bruit blanc. Nous voyons bien que les valeurs d'énergie ont tendance à se distribuer telle une rampe décroissante, les premières fréquences se distinguant par leurs énergies plus élevées. Il semble alors raisonnable de croire que les données ne sont pas contaminées uniquement par de l'erreur d'extraction, l'erreur la plus forte devant provenir de la vitesse irrégulière de la caméra, ce qui a pour effet de produire des images non équidistantes sur l'axe temporel.

Afin de consolider cette hypothèse, nous avons contaminé une fonction présentant une trajectoire parabolique du même type que celle du test pratique portant ce nom. Un

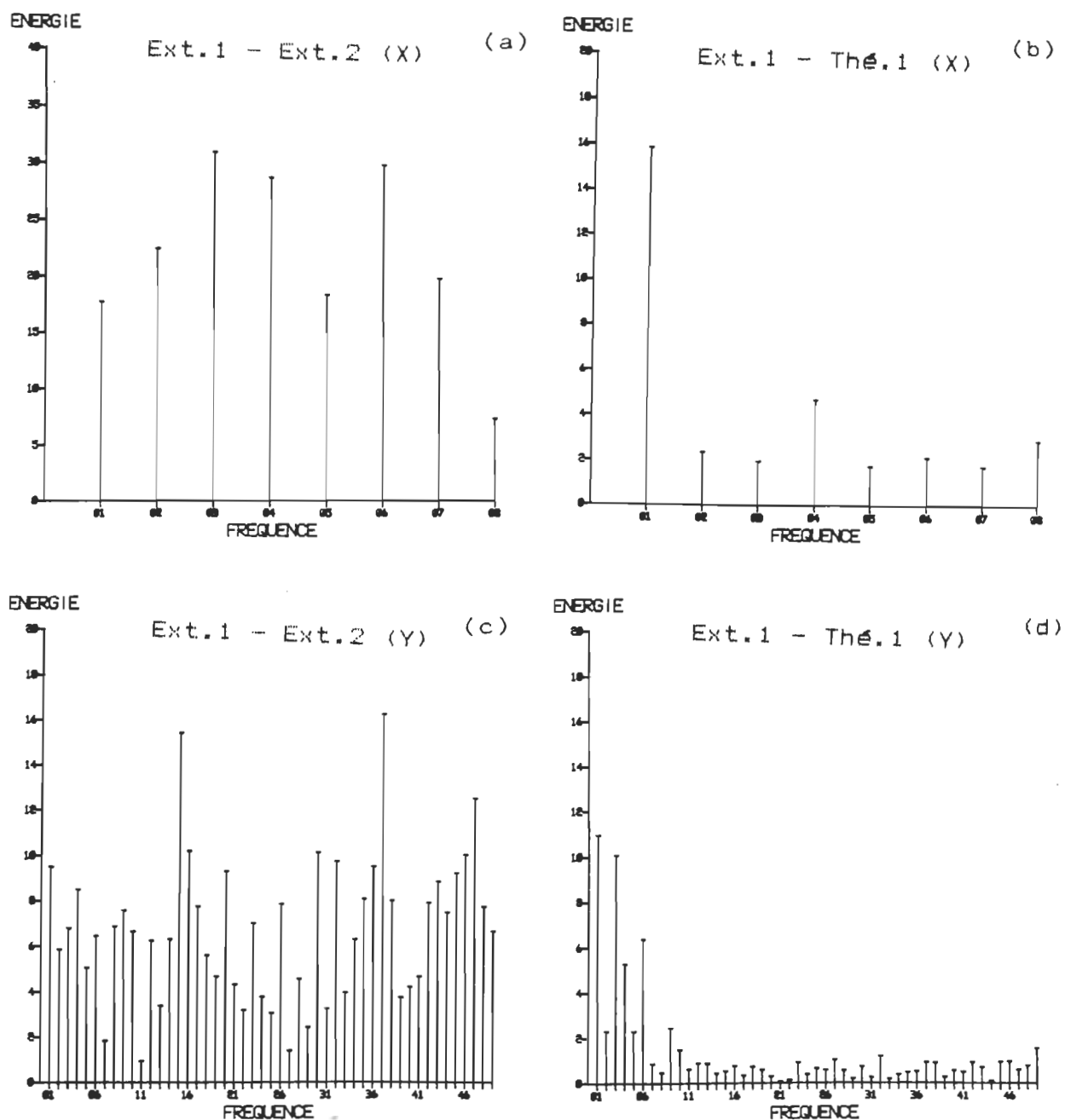


Figure 11. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques pour les tests de la chute libre en Y (a, b) et du glissement en X (c, d).

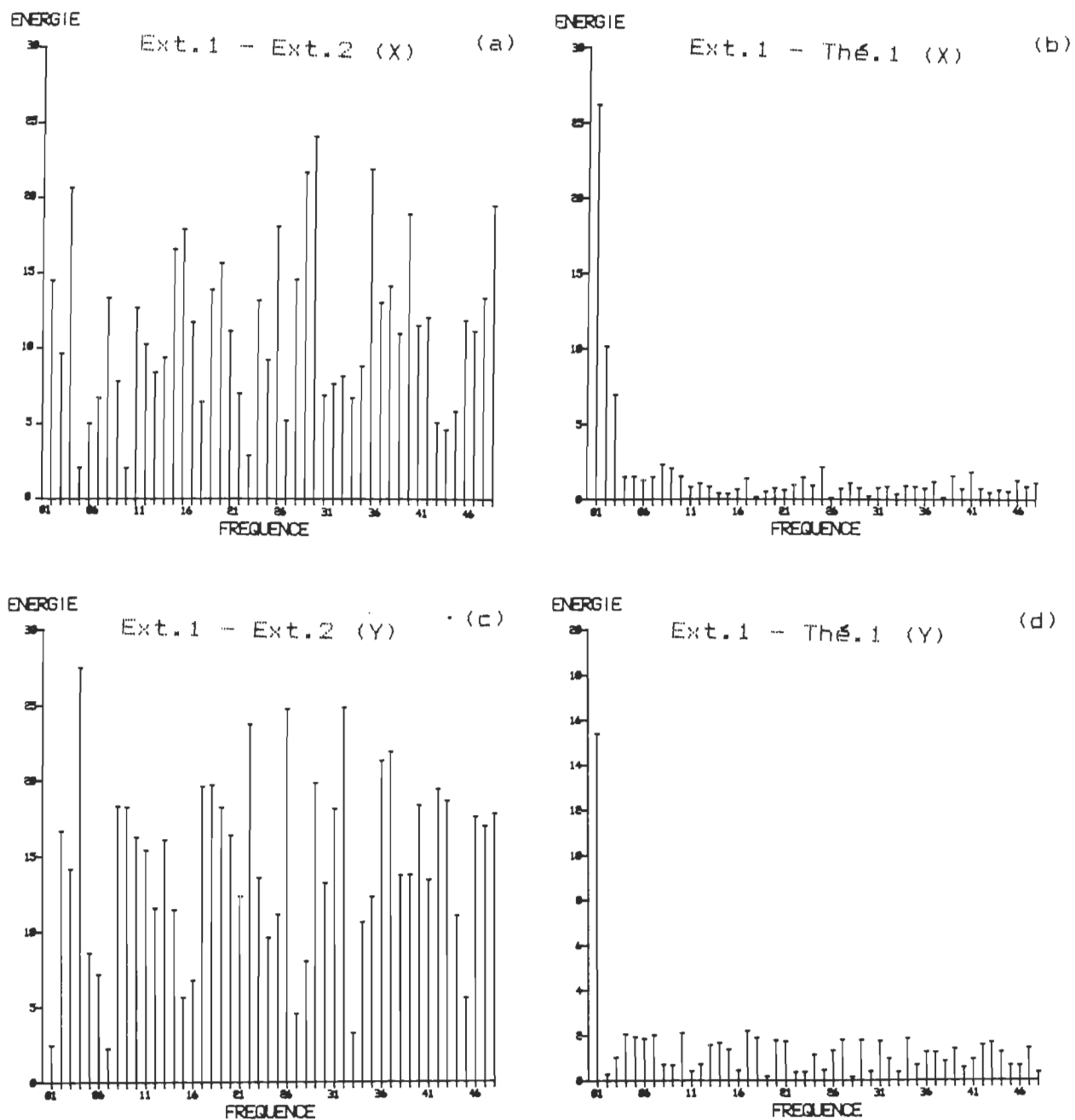


Figure 12. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques pour le test de la trajectoire parabolique en X (a, b) et en Y (c, d).

même niveau de contamination a été appliqué sur deux ensembles de données pures, en X et en Y. La figure 13 présente les deux mêmes sortes de spectres que précédemment. Il est assez évident que, dans ce cas, nous ne pouvons distinguer différents types de contamination à partir de ces quatre spectres, aucune erreur de synchronisation temporelle n'ayant pu s'intégrer à cette contamination. Il semblerait donc que, en plus du bruit blanc, se soit rajouté un bruit de synchronisation temporelle qui "colore" (vers le rouge, i.e. les basses fréquences) le bruit blanc attendu.

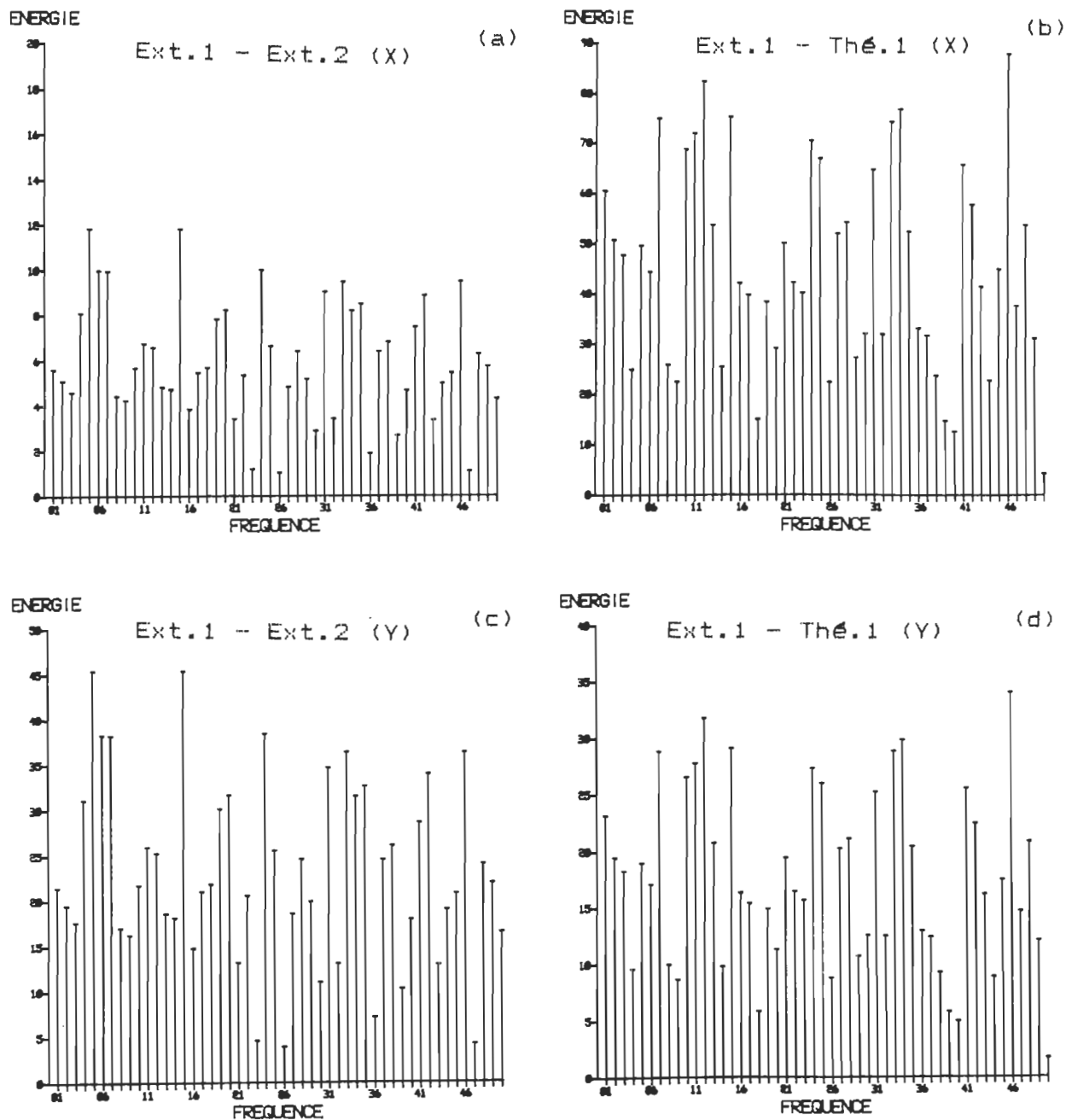


Figure 13. Spectres de la différence entre les données jumelles et de la différence avec les données théoriques d'une trajectoire parabolique contaminée artificiellement en X (a, b) et en Y (c, d).

CHAPITRE V

Conclusion

Cette section comporte deux parties principales. La première partie touche l'évaluation sommaire des techniques, puis la seconde est réservée à des indications en vue d'éventuelles recherches dans le domaine du traitement de signal.

Evaluation sommaire des techniques

On peut d'abord rappeler que le rendement obtenu par les techniques de traitement dans l'ensemble des tests est pratiquement semblable, peu importe les statistiques utilisées, REQM ou EAM théoriques et jumeaux. De plus, les interprétations graphiques appuient presque toujours les interprétations statistiques. Cette concordance des moyens d'évaluation de l'efficacité des techniques de traitement est rassurante. Entre autres, elle permet de faire une brève revue critique au sujet du rendement de chacune des techniques.

Les données brutes, ou non traitées, occupent presque toujours le dernier rang. Elles ne permettent pas de conduire des analyses cinématiques valables sur des données même faiblement contaminées et ce, principalement pour les composantes de vitesse et d'accélération où le bruit ini-

tial s'amplifie lors de la dérivation. Le besoin d'une technique de traitement de signal ne peut être mis en doute.

Le filtre en amplitude normal, ou "filtre", s'avère une technique bien moyenne si l'on fait exception de son rendement obtenu avec les fonctions mathématiques contaminées. Dans sa version actuelle, son utilisation devrait être limitée. On peut toutefois envisager l'utiliser lorsque nous sommes en présence de composés fréquentiels contaminés par du bruit blanc bien étalé. Une méthodologie d'application plus réfléchie pourrait éventuellement augmenter sensiblement ses possibilités d'utilisation. Nous y revenons dans la deuxième partie.

Le lisseur rectangulaire non récursif d'ordre trois, une simple moyenne mobile à trois points, a surpris par la qualité des résultats de REQM qu'il a produits. Le faible taux de contamination des tests de données biomécaniques a certainement aidé au rendement de cette technique. Il convient cependant de noter que sa tendance à l'écrêtement systématique l'éloigne souvent de la vraie forme du signal. Cet aspect le disqualifie presque pour des signaux démontrant une fréquence assez élevée; c'est d'ailleurs ce qu'on a relevé lors de son application avec les fonctions mathématiques contaminées. Une autre limite importante à son utilisation est qu'il ne tient pas véritablement compte du taux de contamination contenu dans les données brutes. Bien entendu, on peut varier son effet de lissage en manipulant les

caractéristiques d'ordre du lisseur ou de type, non récursif ou récursif. En bref, disons qu'une telle technique ne devrait être utilisée que pour traiter des signaux faiblement contaminés. Dans de tels cas, la rapidité d'implantation et la vitesse d'exécution de cette technique constituent des facteurs à considérer.

Le splineur, fonction-pistolet du troisième degré, représente certes la technique qui rend les meilleurs résultats pour l'ensemble des tests analysés. Il se distingue particulièrement avec les données biomécaniques non fréquentielles, et peu contaminées. Le degré de lissage (SM) utilisé ici, et basé sur le niveau d'erreur estimé, semble suffisamment juste pour que le splineur travaille adéquatement. Avec les fonctions polynômiales de faible degré, chute libre, trajectoire parabolique, voire le saut en longueur, le splineur semble tolérer de plus grandes valeurs de REQM à la composante de position afin d'obtenir les meilleures approximations aux composantes de vitesse et d'accélération. Cette caractéristique a été remarquée lors des fréquents renversements de classement observés entre le lisseur et le splineur, après dérivation. Enfin il semble légitime de prétendre qu'une fonction-pistolet du cinquième degré, fonctionnant selon la même logique d'opération que ce splineur du troisième degré, aurait obtenu des résultats à peu près équivalents étant donné le faible taux de contamination. D'ailleurs, Wood et Jennings (1979) ont obtenu des résultats

favorisant la fonction-pistolet du cinquième degré pour deux ensembles de données traitées.

Le filtre en amplitude sévère, ou "surfiltre", semble une technique passablement sophistiquée lorsqu'on l'applique à des composés fréquentiels. Son critère de coupure d'énergie, établi selon une distribution Chi-2 de l'erreur, a démontré que seules les vraies fréquences résistent habituellement. C'est d'ailleurs uniquement ce critère de sévérité qui le distingue du filtre normal, et qui fait en sorte qu'il ne se laisse pas tellement affecter par l'étalement irrégulier de l'énergie d'erreur. Car comme nous l'avons vu avec la fonction contaminée 10% (extraction 1), lorsque l'estimé d'erreur correspond bien avec la distribution en fréquences de celle-ci, les deux filtres accomplissent un même travail et des résultats identiques en ressortent. Notons que l'efficacité du surfiltre avec des fonctions polynômiales de faible degré est nulle. Tel que mentionné précédemment, un spectre artificiellement complet en fréquences ne permet pas aux versions actuelles des deux filtres d'effectuer des coupures d'erreur adéquates. La raison est simple: les deux filtres en amplitude ne font que soustraire systématiquement de l'énergie d'erreur à toutes les composantes spectrales. Dans un spectre issu de données polynômiales contaminées, nous notons des variations aléatoires, en plus et en moins, de l'énergie "vraie". Un filtre idéal en amplitude devrait donc pouvoir tantôt soustrai-

re, tantôt additionner une fraction d'énergie à chaque composante spectrale.

En résumé, nous pouvons dire que les deux techniques de traitement de signal qui se sont le plus distinguées sont le splineur et le surfiltre. Par contre, chacune de ces techniques possède son champ ou domaine de distinction. Avec les présentes données, on peut affirmer que le splineur traite optimalement les données biomécaniques peu contaminées, spécialement celles qui se développent en fonctions polynômiales. Quant au surfiltre, il excelle dans les fonctions périodiques à composé fréquentiel réel, quel qu'en soit le niveau de contamination.

On peut aussi affirmer que le taux d'échantillonnage (N points) influence passablement le surfiltre, ce dernier basant ses opérations sur $N/2$ fréquences réelles. Avec N petit, la manoeuvre devient restreinte et l'impact de toute erreur d'ajustement augmente. Le splineur ne subit pas de tels dommages, étant une technique itérative d'ajustements de moindres carrés.

D'un autre côté, la présence de données aberrantes devrait favoriser le surfiltre; les effets temporels de ces données devraient être mieux répartis dans le spectre, donc ajouter quelque peu à l'estimé d'énergie d'erreur. Le splineur, traitant dans le domaine temporel, ne pourrait absorber facilement ce genre de données. Nous en avons un aperçu dans les fonctions mathématiques contaminées (1%, 5% et

10%).

Au sujet de ces deux techniques, mentionnons enfin que les temps de calcul et le degré d'automatisation sont comparables.

Recommandations

Les suggestions que nous formulons pour la recherche touchent surtout deux éléments: les difficultés rencontrées dans cette étude, ou points à améliorer, et les aspects qui nous semblent prioritairement à explorer.

Les principales difficultés rencontrées ici sont liées à la nature des signaux traités, de même qu'à la provenance de ceux-ci. Sans vouloir enlever de l'importance au traitement de signaux provenant de gestes biomécaniques, mentionnons que ces derniers ne se prêtent pas bien à une étude rigoureuse des techniques de traitement de signal. Ces signaux réels possèdent les inconvénients suivants: (a) la valeur exacte du signal à chaque instant n'est pas disponible; (b) le signal, provenant d'appareils et d'une série de procédures (digitalisation, obtention de valeurs relatives, etc.) est ainsi contaminé, et cette contamination reste difficile à cerner précisément. La section "couleur du bruit", au chapitre précédent, et l'annexe A ont permis de constater que la contamination des données provenant du film ne correspond pas à ce qu'on attendait, c'est-à-dire du bruit blanc. Bref, il nous apparaît important de traiter des signaux dont le type de contamination est stipulable,

afin de faciliter l'interprétation des résultats: il sera ensuite possible de voir si les conclusions ainsi dégagées peuvent se généraliser pour des contaminations de types divers ou inconnus.

Nous recommandons donc d'évaluer le travail des techniques de traitement de signal à partir de signaux numériques de structure connue, mais diversifiés, comme des fonctions polynômiales, sinusoïdales, exponentielles, etc., contaminés artificiellement. La contamination artificielle étant basée sur un générateur aléatoire non biaisé qui sert à produire le type de coloration que l'on veut ajouter aux données initiales pures. Bien entendu, une telle façon de procéder élimine certains délais occasionnés par la prise de mesures (film, sélection préliminaire des essais, digitalisation). Disons aussi que même des phénomènes assujettis à des lois physiques ou mathématiques subissent les effets d'une coloration inconnue et des éléments naturels ou physiques intervenants (résistance de l'air, poids et forme de l'objet, etc.). C'est pour de telles raisons que nous sommes passablement éloignés de la constante gravitationnelle "g" dans les tests de la chute libre et de la trajectoire parabolique (voir annexe C).

Comme on l'a mentionné plus haut, le taux d'échantillonnage peut influencer le rendement des techniques de filtrage, par exemple. Un échantillon d'au moins 60 points est souhaitable. On peut uniformiser ce nombre de points pour

tous les tests afin de les comparer équitablement et pour pouvoir utiliser optimalement des routines de traitement implantées sur micro-ordinateur ou autres.

D'autres aspects reliés au traitement de signal sont apparus en cours de route et semblent intéressants à explorer. Parmi ceux-ci se trouve la méthode automatique de repérage du niveau d'erreur, à l'aide du test de séquences (Lehmann, 1975). Un temps de calcul important et, surtout, un nombre élevé de tests ont été les raisons principales pour écarter ici une telle stratégie opérationnelle. On possédait d'ailleurs un estimé très simple de la variance d'erreur, dû au fait que nous avons retenu deux extractions jumelles. Cependant la méthode du test de séquences n'en demeure pas moins attrayante et pourrait pallier à la double extraction utilisée ici.

Un autre aspect qui peut susciter de l'intérêt pour le chercheur touche le filtre en amplitude, ou le filtrage numérique en général: il s'agit des séries de Fourier régularisées. Un tel domaine de recherche a déjà été abordé (Hatze, 1981). Le lien que nous voulons faire avec de telles séries est le suivant: le filtre en amplitude que nous employons dans cette étude ne fait que soustraire une valeur d'énergie d'erreur. Or nous voudrions que la série de Fourier résultante puisse présenter des coefficients diminués et aussi augmentés afin que le spectre ainsi traité se rapproche du spectre pur. Ce type d'ajustements améliorerait

certainement le rendement des filtres en amplitude pour des données à structure polynômiale. Ainsi, il est possible de façonner le filtre d'après la forme du spectre. Avec des données satisfaisant à un polynôme du second degré ou moins, les coefficients en sinus et en cosinus présentent des formes simples, par exemple une fonction linéaire de degré 2 ou moindre. Il devient alors possible d'utiliser ces fonctions du spectre pour le "régulariser" et ensuite passer à la reconstitution du signal. Autant d'idées qui méritent sans doute d'être regardées de plus près.

Annexe A

Erreurs de mesure

Dans les premières sections de ce mémoire (introduction et recension des écrits), on a dressé une liste des différentes erreurs de mesure que l'on peut retrouver en cinématographie. Nous nous intéressons ici à deux de ces erreurs, soit l'erreur d'extraction, attribuable à l'instrument de mesure et à l'intervention humaine, et l'erreur de cadre ou d'alignement des images, imputable au projecteur. Nous tentons d'apporter des précisions algébriques sur ces erreurs, précisions reliées à la méthodologie de digitalisation employée.

Nous avons différentes sortes d'erreurs d'extraction: celles caractérisant (1) les données jumelles (brutes) dans la même image, (2) les données jumelles relatives (dont on soustrait le point de référence) dans la même image, (3) le(s) point(s) fixe(s) d'une image à l'autre et (4) le point fixe relatif d'une image à l'autre. Bien entendu, l'erreur de cadre se retrouve aussi dans les données de type (3).

(1) Données jumelles

L'espérance mathématique de la variance d'erreur provenant de la soustraction de données jumelles est formée de la variance d'erreur d'extraction et de la variance d'erreur de grille (quantisation).

L'erreur de grille (suite à la conversion en coordonnées numériques) moyenne correspond, en unités réelles, au facteur d'échelle k (voir tableau 4) présent dans chaque

test filmé. Plus précisément, l'étendue de cette erreur est $-k/2, +k/2$. La variance associée à une telle variable aléatoire uniforme est $k^2/12$.

Nous possédons une seule valeur de variance de grille par test; alors que nous retrouvons autant d'estimés de variance d'extraction que de points digitalisés. D'ailleurs nous pensons que des points fixes sont généralement plus faciles à extraire que des points d'analyse, par exemple des articulations; c'est pour cela que nous présumons que les variances d'extraction diffèrent d'un point à l'autre.

Chaque donnée jumelle (J_i) peut se représenter par l'addition des paramètres M (valeur réelle du point mesuré), em (erreur du point mesuré) et eg (erreur de grille), ce qui se résume par:

$$J_i = M_i + em_i + eg_i.$$

La variance $V(J)$ des données jumelles est ainsi:

$$\begin{aligned} V(J) &= E (J_i - J_i')^2 \\ &= 2 * (Vem + Veg) \text{ ou } Vem = V(J)/2 - Veg. \end{aligned}$$

Le tableau 8 présente les différentes variances d'erreur des points digitalisés.

(2) Données jumelles relatives

La donnée jumelle relative étant obtenue par la soustraction du point mesuré avec le point de référence, l'expansion algébrique de celle-ci est:

$$JR_i = (M_i + em_i + eg_i) - (R_i + er_i + eg_i').$$

La variance d'erreur résultant de la différence de don-

Tableau 8
 Variances issues des données jumelles (m²)

TEST point	Variance de grille	Variance d'extraction		Variance totale/2	
		X	Y	X	Y
CHUTE LIBRE					
référence	0,00033	0,01699	0,02698	0,01732	0,02731
ballon	0,00033	0,07870	0,02803	0,07902	0,02836
fixe	0,00033	0,02994	0,01507	0,03027	0,01540
REBONDS					
référence	0,00033	0,03238	0,07147	0,03271	0,07180
ballon	0,00033	0,05972	0,06981	0,06005	0,07103
fixe	0,00033	0,05249	0,02438	0,05283	0,02471
SAUT VERTICAL					
référence	0,00018	0,02466	0,02439	0,02483	0,02457
hanche	0,00018	0,01105	0,01144	0,01123	0,01162
fixe	0,00018	0,01567	0,01505	0,01584	0,01523
SAUT EN LONGUEUR SANS ELAN					
référence	0,00016	0,01116	0,01907	0,01132	0,01923
hanche	0,00016	0,01625	0,01128	0,01641	0,01145
fixe	0,00016	0,03141	0,03130	0,03158	0,03146
GLISSEMENT					
référence	0,00004	0,01766	0,01666	0,01770	0,01670
stylet	0,00004	0,02451	0,02078	0,02455	0,02082
fixe	0,00004	0,03052	0,01918	0,03056	0,01922
TRAJECTOIRE PARABOLIQUE					
cadrage	0,00035	0,15371	0,54855	0,15406	0,54890
ballon	0,00035	0,09416	0,15698	0,09451	0,15733

nées jumelles relatives comprend donc de la variance d'extraction du point de référence et du point mesuré (d'analyse ou fixe), et de la variance de grille supplémentaire. La forme de l'équation illustrant l'espérance mathématique de cette variance d'erreur est:

$$\begin{aligned} V(JR) &= E (JR_i - JR'_i)^2 \\ &= 2 * ((Vem + Veg) + (Ver + Veg)), \end{aligned}$$

où Ver est la variance d'erreur d'extraction du point de référence.

Le tableau 9 comprend les différentes variances de ce type de données. Par contre, les deux variances d'extraction (Ver et Vem) ne peuvent être dissociées quantitativement; alors on présente ces deux variances sous le titre de variance d'extraction.

(3) Point fixe

La variance issue de la soustraction de point fixe (F_i) d'une image à l'autre peut s'approcher par:

$$\begin{aligned} V(F) &= E(F_i - F_{i+1})^2 \\ &= 2 * (Vem + Vec * (1 - R_{ij}) + Veg). \end{aligned}$$

Le terme central (erreur de cadre (Vec) * (1 - coefficient de corrélation (R_{ij}))) évolue effectivement avec l'écart entre les images ($j-i$). Il est minimum lorsque l'écart est de une image ($j-i=1$), puis augmente habituellement avec l'accroissement de l'écart. Le tableau 10 présente les corrélations et variances en fonction de l'écart dans le test du glissement. On remarque que la corrélation a tendance à

Tableau 9

Variances issues des données jumelles relatives (m^2)

TEST point	Variance grille*2	Variance d'extraction		Variance totale/2	
		X	Y	X	Y
CHUTE LIBRE					
ballon	0,00066	0,07790	0,05408	0,07856	0,05474
fixe	0,00066	0,05995	0,02683	0,06061	0,02748
REBONDS					
ballon	0,00066	0,10544	0,09827	0,10610	0,09893
fixe	0,00066	0,10133	0,08954	0,10199	0,09020
SAUT VERTICAL					
hanche	0,00035	0,03637	0,03533	0,03672	0,03568
fixe	0,00035	0,04225	0,04006	0,04260	0,04041
SAUT EN LONGUEUR SANS ELAN					
hanche	0,00033	0,02472	0,02177	0,02505	0,02210
fixe	0,00033	0,04220	0,05765	0,04253	0,05798
GLISSEMENT					
stylet	0,00008	0,03396	0,03738	0,03404	0,03746
fixe	0,00008	0,04093	0,03485	0,04101	0,03494
TRAJECTOIRE PARABOLIQUE					
ballon	0,00071	0,22760	0,64690	0,22831	0,64761

Tableau 10
 Corrélations et variances des différents points fixes
 en fonction de l'écart entre les images

Ecart	Corrélations		Variances (m ²)	
	X	Y	X	Y
TEST DU GLISSEMENT				
Point de référence 1				
01	0,637	0,275	163,994	274,176
02	0,549	0,124	197,724	328,037
03	0,380	0,112	259,825	327,916
04	0,338	0,222	272,058	276,839
05	0,231	0,234	313,205	273,515
06	0,105	0,193	365,104	289,209
07	-0,028	0,149	418,689	307,529
08	-0,032	0,081	421,630	329,026
09	-0,203	0,140	493,193	307,676
10	-0,062	0,113	438,287	314,694
Point de référence 2				
01	0,556	0,356	260,136	349,144
02	0,485	0,176	294,736	442,309
03	0,359	0,154	356,657	433,761
04	0,271	0,144	397,248	429,791
05	0,174	0,180	440,875	414,882
06	0,058	0,122	499,839	441,883
07	-0,045	0,206	550,164	400,959
08	-0,040	0,080	551,215	458,968
09	-0,138	0,109	608,468	441,452
10	-0,170	0,253	630,745	369,985
Point fixe 1				
01	0,580	0,326	253,581	346,287
02	0,480	0,142	308,280	439,409
03	0,297	0,117	408,771	444,307
04	0,275	0,166	413,166	406,232
05	0,204	0,145	445,998	416,261
06	0,187	0,063	457,847	457,300
07	0,112	0,193	502,933	396,253
08	0,001	0,191	566,174	397,459
09	-0,051	0,052	600,837	466,165
10	-0,089	0,088	626,187	443,102

Tableau 10 (suite)

Ecart	Corrélations		Variances (m ²)	
	X	Y	X	Y
Point fixe 2				
01	0,593	0,350	250,272	326,914
02	0,515	0,048	288,853	481,484
03	0,346	0,170	382,727	412,162
04	0,396	0,124	350,948	432,853
05	0,276	0,007	409,040	492,780
06	0,161	-0,017	469,034	498,842
07	0,049	-0,015	530,495	494,052
08	-0,066	0,045	595,712	456,177
09	-0,062	-0,030	599,497	492,658
10	-0,038	0,055	591,082	453,477

diminuer alors que la variance augmente au fur et à mesure que l'écart s'accroît. C'est le type de coloration, "rouge", auquel il est fait référence au chapitre IV (Résultats). Ces conclusions tiennent aussi pour les autres tests cinématographiques.

(4) Point fixe relatif

Tel que mentionné précédemment, nous ne retrouvons pas d'erreur de cadre dans de telles données, celle-ci s'éliminant en soustrayant le point de référence du point fixe. La résolution de l'algèbre de la variance aboutit à l'équation approximative:

$$\begin{aligned} V(\text{FR}) &= E(\text{FR}_i - \text{FR}'_i)^2 \\ &= 2 * ((V_{em} + V_{eg}) + (V_{er} + V_{eg})). \end{aligned}$$

Les corrélations et variances du point fixe relatif en fonction des images, tableau 11 (glissement), nous montrent que l'on corrige bel et bien l'erreur de cadre présente dans le cas de la soustraction de points fixes seuls. La corrélation oscille généralement autour de zéro; alors que la variance fluctue autour d'une valeur constante. Encore ici, ces conclusions prévalent pour les autres tests.

Tableau 11
 Corrélations et variances des points fixes relatifs
 en fonction de l'écart entre les images

Ecart	Corrélations		Variances (m ²)	
	X	Y	X	Y
TEST DU GLISSEMENT				
Point fixe relatif 1				
01	0,112	0,144	257,816	226,998
02	0,010	0,133	290,288	230,804
03	-0,067	0,139	315,366	230,556
04	0,009	0,180	290,895	219,853
05	0,027	0,043	276,143	258,596
06	0,146	0,009	244,272	270,519
07	0,048	0,048	274,464	260,060
08	-0,010	0,042	290,843	263,977
09	-0,101	-0,019	319,154	276,252
10	-0,280	-0,065	367,460	291,026
Point fixe relatif 2				
01	-0,040	-0,129	450,300	395,303
02	-0,085	0,029	473,728	339,256
03	-0,104	0,062	467,299	327,182
04	-0,029	-0,035	439,480	362,147
05	-0,070	0,092	461,162	319,412
06	0,013	0,086	422,813	324,553
07	-0,088	-0,118	469,361	394,956
08	0,058	0,053	408,958	337,765
09	-0,091	-0,088	478,100	390,826
10	-0,086	0,252	476,891	271,164

Annexe B

Les principaux programmes

de BASIC Applesoft

(pour Apple II Plus)

```

1  REM PROGRAMME LISSANT LES DONNEES DE FACON NON-RECURSIVE
3  HIMEM: 32000:AD = 32000:D# = CHR# (4): HOME
5  INPUT "NOM DU FICHIER DE DONNEES: ";C#
6  PRINT D#;"BLOAD ";C#
7  DIM X(110,1),Z(110,1)
9  N = PEEK (AD):NI = N - 1:AD = AD + 1:AD = AD + 20: REM
SAUTER LES PP ET PG
40 FOR I = 0 TO NI
45 GOSUB 5000:X(I,0) = ZZ
50 GOSUB 5000:X(I,1) = ZZ: NEXT I
53 AD = 32000: POKE AD,N:AD = AD + 1
75 REM LISSAGE NON-RECURSIF
80 FOR I = 1 TO NI - 1
85 Z(I,0) = (X(I - 1,0) + X(I,0) + X(I + 1,0)) / 3
90 Z(I,1) = (X(I - 1,1) + X(I,1) + X(I + 1,1)) / 3: NEXT I
100 Z(0,0) = X(0,0):Z(NI,0) = X(NI,0):Z(0,1) =
X(0,1):Z(NI,1) = X(NI,1)
145 PX = Z(0,0):GX = Z(0,0):PY = Z(0,1):GY = Z(0,1)
150 FOR I = 1 TO NI
155 IF Z(I,0) < PX THEN PX = Z(I,0): GOTO 165
160 IF Z(I,0) > GX THEN GX = Z(I,0)
165 IF Z(I,1) < PY THEN PY = Z(I,1): GOTO 180
170 IF Z(I,1) > GY THEN GY = Z(I,1)
180 NEXT I
210 ZZ = PX: GOSUB 5500:ZZ = GX: GOSUB 5500
220 ZZ = PY: GOSUB 5500:ZZ = GY: GOSUB 5500
230 FOR I = 0 TO NI
235 ZZ = Z(I,0): GOSUB 5500
240 ZZ = Z(I,1): GOSUB 5500: NEXT I
250 PRINT : INPUT "NOM DU FICHIER DE LA FN LISSEE: ";C#
255 PRINT D#;"BSAVE ";C#;"A32000,L":1 + 20 + 2 * 5 * N
260 END
500 V = PEEK (AD) * 256 + PEEK (AD + 1):AD = AD + 2:
RETURN
4000 POKE AD,V / 256: POKE AD + 1,V - 256 * PEEK (AD):AD =
AD + 2: RETURN
4999 REM S-R COMMUNE RECUPERATION
5000 Q = PEEK (AD):AD = AD + 1
5005 GOSUB 500:Y = V: GOSUB 500:Z = V:ZZ = Y + Z / 1000: IF
Q = 1 THEN ZZ = - ZZ
5020 RETURN
5499 REM S-R COMMUNE STOCKAGE
5500 POKE AD,0:IF ZZ < 0 THEN POKE AD,1
5510 AD = AD + 1: ZZ = ABS(ZZ): V = INT (ZZ): GOSUB 4000:Y
= V
5520 Z = INT (ZZ * 1000 + .5):V = Z - 1000 * Y: GOSUB 4000:
RETURN

```

*** PROGRAMME SPLINEUR ***

```

1  REM  CUBIC SPLINE ACCELERE, LES VALEURS EN ABSCISSE ETANT
2  EQUIDISTANTES (I.E. H=1 AU DEBUT, EDH, G, ETC.)
3  HIMEM= 32000:AD = 32000:I = 0:G = 0:H = 0:E = 0:FF = 0
4  D$ = CHR$(4): HOME
5  INPUT "NOM DU FICHIER DE DONNEES: ";C$
6  PRINT D$:"BLOAD ";C$
7  DIM WK(7,100),C(100,3),Y(100,1),F(100,1)
8  NX = PEEK (AD):NI = NX - 1:AD = AD + 1:AD = AD + 20: REM
9  SAUTER LES PP ET PG
10 FOR I = 1 TO NX: GOSUB 5000:F(I,0) = ZZ
11 GOSUB 5000:F(I,1) = ZZ: NEXT I
12 AD = 32000: POKE AD,NX:AD = AD + 1
13 FOR R = 0 TO 1
14 M2 = NX + 2:N1P = NX + 1
15 WK(1,1) = 0:WK(1,2) = 0:WK(2,N1P) = 0:WK(3,M2) =
16 0:WK(3,N1P) = 0:WK(6,1) = 0:WK(6,M2) = 0:WK(6,N1P) = 0
18 INPUT "VALEUR DE L'ERREUR D'EXTRACTION: ";ER
19 SM = ER * NX: P = 0:H = 1:F2 = - SM
25 FF = (F(2,R) - F(1,R)): G = 1:EDH = 1
30 FOR I = 3 TO NX: E = FF
40 FF = (F(I,R) - F(I - 1,R))
45 Y(I,R) = FF - E:WK(4,I) = 4 / 3
50 WK(5,I) = 1 / 3:WK(3,I) = 1
55 WK(1,I) = EDH:WK(2,I) = - 1 / G - EDH: NEXT I
95 FOR I = 3 TO NX
100 C(I - 1,1) = WK(1,I) ^ 2 + WK(2,I) ^ 2 + WK(3,I) ^ 2
110 C(I - 1,2) = WK(1,I) * WK(2,I + 1) + WK(2,I) * WK(3,I +
11  1)
115 C(I - 1,3) = WK(1,I) * WK(3,I + 2): NEXT I
127 IF NX < 3 THEN 210
130 FOR I = 3 TO NX
135 WK(2,I - 1) = FF * WK(1,I - 1):WK(3,I - 2) = G * WK(1,I
13  - 2)
140 WK(1,I) = 1 / (P * C(I - 1,1) + WK(4,I) - FF * WK(2,I -
14  1) - G * WK(3,I - 2))
145 WK(6,I) = Y(I,R) - WK(2,I - 1) * WK(6,I - 1) - WK(3,I -
14  2) * WK(6,I - 2)
150 FF = P * C(I - 1,2) + WK(5,I) - H * WK(2,I - 1)
155 G = H:H = C(I - 1,3) * P: NEXT I
180 N3P = NX + 3
185 FOR I = 3 TO NX:J = N3P - I
190 WK(6,J) = WK(1,J) * WK(6,J) - WK(2,J) * WK(6,J + 1) -
19  WK(3,J) * WK(6,J + 2)
195 NEXT I
210 E = 0:H = 0
215 FOR I = 2 TO NX:G = H:H = WK(6,I + 1) - WK(6,I)
220 HMG = H - G
225 WK(7,I) = HMG

```



```

230 E = E + WK(7,I) * HMG: NEXT I
249 REM AUTRE SECTION
250 G = - H
255 WK(7,N1P) = G: E = E - G * H: G = F2:F2 = E * P 1 2
260 IF (F2 > = SM) OR (F2 < = G) THEN 320
265 FF = 0: H = WK(7,3) - WK(7,2)
266 IF NX < 3 THEN 300
267 FOR I = 3 TO NX
268 G = H: H = WK(7,I + 1) - WK(7,I)
270 G = H - G - WK(2,I - 1) * WK(1,I - 1) - WK(3,I - 2) *
WK(1,I - 2)
275 FF = FF + G * WK(1,I) * G: WK(1,I) = G: NEXT I
300 H = E - P * FF
305 IF H < = 0 THEN 320
310 P = P + (SM - F2) / ((SQR (SM / E) + P) * H)
315 GOTO 127
320 REM
325 N1P = NX - 1
330 FOR I = 1 TO N1P
335 Y(I,R) = F(I,R) - P * WK(7,I + 1)
340 C(I,2) = WK(6,I + 1): WK(1,I) = Y(I,R): NEXT I
350 WK(1,NX) = F(NX,R) - P * WK(7,NX + 1)
355 Y(NX,R) = WK(1,NX)
360 FOR I = 2 TO NX: H = 1
370 C(I - 1,3) = (WK(6,I + 1) - C(I - 1,2)) / (H + H + H)
375 C(I - 1,1) = (WK(1,I) - Y(I - 1,R)) / H - (H * C(I -
1,3) + C(I - 1,2)) * H
380 NEXT I
460 REM :PRI1
464 PRINT : PRINT
465 PRINT "VALEUR DE SM", "VARIANCE (SM/NX)"
468 PRINT SM, SM / NX: PRINT : PRINT
470 PRINT "F(I)", "Y(I)": PRINT
475 FOR I = 1 TO NX
480 PRINT F(I,R), Y(I,R)
485 NEXT I: GET Z#: NEXT R
490 GOSUB 700
495 HOME : INPUT "NOM DU FICHER A CONSERVER: "; C#
496 PRINT D#: "BSAVE "; C#: ",A32000,L": 1 + 20 + 2 * 5 * NX
497 END
499 REM RECUPERATION
500 V = PEEK (AD) * 256 + PEEK (AD + 1): AD = AD + 2:
RETURN
700 REM SOUS-ROUTINE DE STOCKAGE
755 PX = Y(1,0): GX = Y(1,0): PY = Y(1,1): GY = Y(1,1)
760 FOR I = 2 TO NX
765 IF Y(I,0) < PX THEN PX = Y(I,0): GOTO 775
770 IF Y(I,0) > GX THEN GX = Y(I,0)
775 IF Y(I,1) < PY THEN PY = Y(I,1): GOTO 785
780 IF Y(I,1) > GY THEN GY = Y(I,1)
785 NEXT I

```

```
790 ZZ = PX: GOSUB 5500
795 ZZ = GX: GOSUB 5500
800 ZZ = PY: GOSUB 5500
805 ZZ = GY: GOSUB 5500
820 FOR I = 1 TO NX
825 ZZ = Y(I,0): GOSUB 5500
830 ZZ = Y(I,1): GOSUB 5500: NEXT I
4000 POKE AD,V / 256: POKE AD + 1,V - 256 * PEEK (AD):AD =
AD + 2
4010 RETURN
4999 REM S-R COMMUNE RECUPERATION
5000 Q = PEEK (AD):AD = AD + 1: GOSUB 500:Y = V: GOSUB
500:Z = V
5010 ZZ = Y + Z / 1000: IF Q = 1 THEN ZZ = -ZZ
5020 RETURN
5499 REM S-R COMMUNE STOCKAGE
5500 POKE AD,0: IF ZZ < 0 THEN POKE AD,1
5510 AD = AD + 1: ZZ = ABS (ZZ)
5530 V = INT (ZZ): GOSUB 4000:Y = V
5540 Z = INT (ZZ * 1000 + .5):V = Z - 1000 * Y: GOSUB 4000
5550 RETURN
```

*** FILTRE EN AMPLITUDE (ALGEBRIQUE)

```

1  REM PROGRAMME SERVANT A FILTRER LES DONNEES DE THESE.
  LE POINT DE DEPART ETANT LE NIVEAU DE L'ERREUR D'EXTRACTION
3  HIMEM: 32000:AD = 32000: D$ = CHR$(4):PI = 3.14159265:
  HOME
5  INPUT "NOM DU FICHIER DE DONNEES: ";C$
6  PRINT D$;"BLOAD ";C$
7  DIM X(106,1),Y(53),Z(53),AM(53),C(106),S(106),F(106,1)
8  N = PEEK (AD):NI = N - 1:AD = AD + 21: REM SAUTER LES PF
  ET PG
9  PA = ( INT (N / 2) = N / 2)
10 QU = N / 4:DE = N / 2:CS = 2 * PI / N:A$(0) = "X":A$(1) =
  "Y"
11 T = 1: REM ARBITRAIRE, POUR CES CALCULS
12 FOR I = 0 TO NI
13  GOSUB 5000:X(I,0) = ZZ
14  GOSUB 5000:X(I,1) = ZZ: NEXT I
68  IF QU - INT (QU) = 0 THEN GOSUB 1000: GOTO 72
69  IF DE - INT (DE) = 0 THEN GOSUB 1500: GOTO 72
70  GOSUB 2000
72  PRI 1: PRINT "LE NOMBRE DE POINTS ANALYSES EST: ";N
74  PRINT "FICHIER DE DONNEES: ";C$
78  PRI 0: HOME : VTAB (13): HTAB (7): PRINT "*** CALCULS EN
  COURS ***"
79  REM CALCUL DES FREQUENCES
80  FOR L = 0 TO 1
85  FOR Q = 0 TO N / 2:Y(Q) = 0:Z(Q) = 0: NEXT Q
100 FOR J = 0 TO N / 2
110 FOR Q = 0 TO N - 1:MM = X(Q,L):Z = Q * J:Z = Z - N *
  INT (Z / N)
120 Y(J) = Y(J) + MM * C(Z)
130 Z(J) = Z(J) - MM * S(Z): NEXT Q
145 REM DIVISION DES FREQUENCES (Y (K F)) PAR N/2 (OU
  *2/N)
150 Y(J) = Y(J) * 2 / N:Z(J) = Z(J) * 2 / N
160 NEXT J:Y(0) = Y(0) / 2:Z(0) = Z(0) / 2
162 IF (PA) THEN Y(N / 2) = Y(N / 2) / 2:Z(N / 2) = Z(N /
  2) / 2
163 PRI 1: PRINT "DONNEES EN ";A$(L): PRINT "-----"
165 PRINT "F";: HTAB (5): PRINT "Y(K F)";: HTAB (18): PRINT
  "Y(K F)";: HTAB (31): PRINT "Z(K F)"
170 PRINT " ";: HTAB (5): PRINT "COSINUS";: HTAB (18):
  PRINT "SINUS";: HTAB (31): PRINT "AMPLITUDE": PRINT
200 REM IMPRESSION DES RESULTATS
210 W = 1000: FOR A = 0 TO N / 2
215 AM(A) = SQR (Y(A) ^ 2 + Z(A) ^ 2)
220 PRINT A;: HTAB (5): PRINT INT (W * Y(A) + .5) / W;:
  HTAB (18): PRINT INT (W * Z(A) + .5) / W;: HTAB (31): PRINT
  INT (W * AM(A) + .5) / W

```

```

230 NEXT A: PRINT : PRI 0
241 REM CALCUL DE LA VARIANCE TOTALE
242 MO = 0:VT = 0: FOR I = 0 TO NI:ZZ = X(I,L)
243 MO = MO + ZZ:VT = VT + ZZ  $\uparrow$  2: NEXT I
245 MO = MO / N:VT = (VT - N * MO  $\uparrow$  2) / NI
250 GOSUB 2500: NEXT L: GOSUB 3000
270 REM STOCKAGE
275 AD = 32000: POKE AD,N:AD = AD + 1
280 ZZ = PX: GOSUB 5500:ZZ = GX: GOSUB 5500
285 ZZ = PY: GOSUB 5500:ZZ = GY: GOSUB 5500
290 FOR I = 0 TO NI
295 ZZ = F(I,0): GOSUB 5500
300 ZZ = F(I,1): GOSUB 5500: NEXT I
310 PRINT : PRINT C$: INPUT "NOM DU FICHER DE LA FN
FILTREE: ";C$
315 PRINT D$:"BSAVE ";C$;",A32000,L":1 + 20 + 2 * 5 * N
320 END
500 V = PEEK (AD) * 256 + PEEK (AD + 1):AD = AD + 2:
RETURN
999 REM N SE DIVISE PAR 4
1000 FOR H = 0 TO QU
1005 Z = SIN (H * CS)
1010 S(H) = Z:S(H + DE) = - Z:S(DE - H) = Z:S(N - H) = - Z
1015 C(QU - H) = Z:C(QU + H) = - Z:C(3 * QU - H) = - Z:C(3
* QU + H) = Z
1020 NEXT H: RETURN
1499 REM N SE DIVISE PAR 2
1500 FOR H = 0 TO DE
1505 Z = SIN (H * CS)
1510 S(H) = Z:S(H + DE) = - Z
1515 Z = COS (H * CS)
1520 C(H) = Z:C(H + DE) = - Z
1525 NEXT H: RETURN
1999 REM N EST IMPAIR
2000 FOR H = 0 TO N
2005 S(H) = SIN (H * CS):C(H) = COS (H * CS)
2010 NEXT H: RETURN
2499 REM SPECIFICATION DE LA REP. EN FREQ.
2500 PRINT : PRINT "ERREUR D'EXTRACTION EN ";A$(L): INPUT
EE: PRINT "VARIANCE TOTALE: ";VT
2501 EP = (N - 1) * (VT - EE) / N:EE = EE * 2 / N:KO = 0:K1
= 0:K2 = 0:EF = 0: REM EP-->ENERGIE PURE, EF-->ENERGIE
FILTREE
2502 REM AMPLIT. TRANSFORMEE EN ENERGIE/2 (PAIR OU IMPAIR)
2503 FOR B = 1 TO N / 2:AM(B) = (AM(B) * AM(B)) / 2: NEXT
B: IF (PA) THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) * 2
2504 REM SEPARER LES CAS N PAIR ET N IMPAIR
2505 IF NOT PA GOTO 2540
2509 REM CAS N PAIR
2510 K = N / 2 - 1: FOR B = 1 TO K:AM(B) = AM(B) - EE
2511 IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:KO = KO + 1

```

```

2513 EF = EF + AM(B): NEXT B:AM(N / 2) = AM(N / 2) - EE / 2:
IF AM(N / 2) < = 0 THEN AM(N / 2) = 0:K2 = 1
2515 EF = EF + AM(N / 2)
2519 LL = 0: REM LES COMPARAISONS
2520 IF EF < = EP THEN UU = (K + .5) / (K - (K0 + K2 / 2 -
K1)): GOTO 2565
2521 REM EF>EP A ATTENUER
2522 CO = (EF - EP) / ((K - K0) + (1 - K2) / 2):K1 = 0:LL =
LL + 1: FOR B = 1 TO K
2523 IF AM(B) = 0 GOTO 2527
2524 AM(B) = AM(B) - CO: IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:K1 =
K1 + 1
2527 NEXT B: IF AM(N / 2) > 0 THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) -
CO / 2: IF AM(N / 2) < = 0 THEN AM(N / 2) = 0:K2 = 1
2529 K0 = K0 + K1:EF = 0
2530 FOR B = 1 TO K + 1:EF = EF + AM(B): NEXT B: PRINT "N
DE FOIS: ";LL: PRINT "EF","EP": PRINT EF,EP
2532 PRINT : GOTO 2520
2539 REM CAS N IMPAIR
2540 K = (N - 1) / 2: FOR B = 1 TO K:AM(B) = AM(B) - EE
2542 IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:K0 = K0 + 1
2544 EF = EF + AM(B): NEXT B
2546 LL = 0: REM LES COMPARAISONS
2547 IF EF < = EP GOTO 2559
2550 REM EF>EP A ATTENUER
2552 CO = (EF - EP) / (K - K0):EF = 0:K1 = 0:LL = LL + 1:
FOR B = 1 TO K
2553 IF AM(B) = 0 GOTO 2556
2554 AM(B) = AM(B) - CO: IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:K1 =
K1 + 1
2556 EF = EF + AM(B): NEXT B:K0 = K1 + K0
2558 PRINT "N DE FOIS: ";LL: PRINT "EF","EP": PRINT EF,EP:
PRINT : IF EF > EP GOTO 2552
2559 UU = K / (K - (K0 - K1))
2560 REM EF<=EP A AMPLIFIER (CAS N PAIR DU IMPAIR)
2565 CO = EP / EF: FOR B = 1 TO N / 2:AM(B) = AM(B) * CO:
NEXT B
2570 EXCES = 100 * (UU / CO - 1):W = 1000: FRI 1
2575 PRINT "ENERGIE PURE: ";EP;" ENERGIE D'ERREUR: ";(N -
1) * EE / 2: PRINT "EXCES: ";EXCES;" %": PRINT "N DE FOIS:
";LL: PRINT
2580 REM RESTITUTION
2582 IF (PA) THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) / 2: REM FOUR
RESTITUTION EXACTE SI N PAIR (CF LIGNE 2585)
2585 FOR B = 1 TO N / 2:X = Y(B):Y = Z(B):Z = SQR (X * X +
Y * Y):Q = SQR (AM(B) * 2)
2586 IF AM(B) = 0 THEN Y(B) = 0:Z(B) = 0: GOTO 2595
2590 IF Z > 0 THEN Y(B) = X * Q / Z:Z(B) = Y * Q / Z
2595 X = Y(B):Y = Z(B):Z = SQR (X * X + Y * Y): PRINT B:;
HTAB (5): PRINT INT (X * W + .5) / W:; HTAB (18): PRINT
INT (Y * W + .5) / W:; HTAB (31): PRINT INT (Z * W + .5) /

```

```

W: NEXT B: PRINT
2599  PR# 0: REM  TFD (-1)
2600  FOR J = 0 TO N1:F(J,L) = 0: NEXT J
2605  FOR J = 0 TO N1: FOR Q = 0 TO N / 2: IF Y(Q) = 0 AND
Z(Q) = 0 GOTO 2630
2615  Z = Q * J:Z = Z - N * INT (Z / N)
2620  F(J,L) = F(J,L) + Y(Q) * C(Z)
2625  F(J,L) = F(J,L) - Z(Q) * S(Z)
2630  NEXT Q: NEXT J: RETURN
2999  REM  S-R PP ET PG
3000  PX = F(0,0):GX = PX:PY = F(0,1):GY = PY
3005  FOR I = 1 TO N1
3010  IF F(I,0) < PX THEN PX = F(I,0): GOTO 3020
3015  IF F(I,0) > GX THEN GX = F(I,0)
3020  IF F(I,1) < PY THEN PY = F(I,1): GOTO 3030
3025  IF F(I,1) > GY THEN GY = F(I,1)
3030  NEXT I: RETURN
4000  POKE AD,V / 256: POKE AD + 1,V - 256 * PEEK (AD):AD =
AD + 2: RETURN
5000  Q = PEEK (AD):AD = AD + 1
5010  GOSUB 500:Y = V: GOSUB 500:ZZ = Y + V / 1000: IF Q = 1
THEN ZZ = - ZZ
5020  RETURN
5500  POKE AD,0: IF ZZ < 0 THEN POKE AD,1:ZZ = ABS (ZZ)
5505  AD = AD + 1:V = INT (ZZ): GOSUB 4000:Y = V
5510  V = INT (ZZ * 1000 + .5):V = V - 1000 * Y: GOSUB 4000:
RETURN

```

*** PROGRAMME FILTRE EN AMPLITUDE (CHI-CARRE)

```

1  REM PROGRAMME SERVANT A FILTRER LES DONNEES DE THESE
ETANT DONNE UN SEUIL ALPHA DE LA DISTRIBUTION CHI-2, SEUIL
EN FONCTION DE L'ERREUR D'EXTRACTION
3  HIMEM: 32000:AD = 32000: D$ = CHR$(4):PI = 3.14159265:
HOME
5  INPUT "NOM DU FICHIER DE DONNEES: ";C$
6  PRINT D$;"BLOAD ";C$
7  DIM X(106,1),Y(53),Z(53),AM(53),C(106),S(106),F(106,1)
8  N = PEEK (AD):NI = N - 1:AD = AD + 21: REM SAUTER LES PF
ET PG
9  PA = ( INT (N / 2) = N / 2)
10 QU = N / 4:DE = N / 2:CS = 2 * PI / N:A$(0) = "X":A$(1) =
"Y"
11 T = 1: REM ARBITRAIRE, POUR CES CALCULS
12 FOR I = 0 TO NI
13  GOSUB 5000:X(I,0) = ZZ
14  GOSUB 5000:X(I,1) = ZZ: NEXT I
68  IF QU - INT (QU) = 0 THEN GOSUB 1000: GOTO 72
69  IF DE - INT (DE) = 0 THEN GOSUB 1500: GOTO 72
70  GOSUB 2000
72  PRI 0: PRINT "TRANSFORMEE DE FOURIER (TFD)"
73  PRINT : PRINT "LE NOMBRE DE POINTS ANALYSES EST: ";N:
PRINT : PRINT
74  PRINT "FICHIER DE DONNEES: ";C$: PRINT Q$: PRINT
78  PRI 0: HOME : VTAB (13): HTAB (7): PRINT "*** CALCULS EN
COURS ***"
79  REM CALCUL DES FREQUENCES
80  FOR L = 0 TO 1
85  FOR Q = 0 TO N / 2:Y(Q) = 0:Z(Q) = 0: NEXT Q
100 FOR J = 0 TO N / 2
110 FOR Q = 0 TO N - 1:MM = X(Q,L):Z = Q * J:Z = Z - N *
INT (Z / N)
120 Y(J) = Y(J) + MM * C(Z)
130 Z(J) = Z(J) - MM * S(Z): NEXT Q
145 REM DIVISION DES FREQUENCES (Y (K F)) PAR N/2 (OU
*2/N)
150 Y(J) = Y(J) * 2 / N:Z(J) = Z(J) * 2 / N
160 NEXT J:Y(0) = Y(0) / 2:Z(0) = Z(0) / 2
162 IF (PA) THEN Y(N / 2) = Y(N / 2) / 2:Z(N / 2) = Z(N /
2) / 2
163 PRI 0: PRINT "DONNEES EN ";A$(L): PRINT "-----"
165 PRINT : PRINT : PRINT "F";: HTAB (5): PRINT "Y(K F)";:
HTAB (18): PRINT "Y(K F)";: HTAB (31): PRINT "Z(K F)"
170 PRINT " ";: HTAB (5): PRINT "COSINUS";: HTAB (18):
PRINT "SINUS";: HTAB (31): PRINT "AMPLITUDE": PRINT
200 REM IMPRESSION DES RESULTATS
210 W = 1000: FOR A = 0 TO N / 2
215 AM(A) = SQR (Y(A) ↑ 2 + Z(A) ↑ 2)

```

```

220 PRINT A;: HTAB (5): PRINT INT (W * Y(A) + .5) / W;:
HTAB (18): PRINT INT (W * Z(A) + .5) / W;: HTAB (31): PRINT
INT (W * AM(A) + .5) / W
230 NEXT A: PRINT : PRI 0
241 REM CALCUL DE LA VARIANCE TOTALE
242 MO = 0:VT = 0: FOR I = 0 TO NI:ZZ = X(I,L)
243 MO = MO + ZZ:VT = VT + ZZ ↑ 2: NEXT I
245 MO = MO / N:VT = (VT - N * MO ↑ 2) / NI
250 GOSUB 2500: NEXT L: GOSUB 3000
270 REM STOCKAGE
275 AD = 32000: POKE AD,N:AD = AD + 1
280 ZZ = PX: GOSUB 5500:ZZ = GX: GOSUB 5500
285 ZZ = PY: GOSUB 5500:ZZ = GY: GOSUB 5500
290 FOR I = 0 TO NI
295 ZZ = F(I,0): GOSUB 5500
300 ZZ = F(I,1): GOSUB 5500: NEXT I
310 HOME : PRINT : INPUT "NOM DU FICHIER DE LA FN FILTREE:
";C$
315 PRINT D$;"BSAVE ";C$;" ,A32000,L";1 + 20 + 2 * 5 * N
320 END
499 REM RECUPERATION
500 V = PEEK (AD) * 256 + PEEK (AD + 1):AD = AD + 2:
RETURN
999 REM N SE DIVISE PAR 4
1000 FOR H = 0 TO QU
1005 Z = SIN (H * CS)
1010 S(H) = Z:S(H + DE) = - Z:S(DE - H) = Z:S(N - H) = - Z
1015 C(QU - H) = Z:C(QU + H) = - Z:C(3 * QU - H) = - Z:C(3
* QU + H) = Z
1020 NEXT H: RETURN
1499 REM N SE DIVISE PAR 2
1500 FOR H = 0 TO DE
1505 Z = SIN (H * CS)
1510 S(H) = Z:S(H + DE) = - Z
1515 Z = COS (H * CS)
1520 C(H) = Z:C(H + DE) = - Z
1525 NEXT H: RETURN
1999 REM N EST IMPAIR
2000 FOR H = 0 TO N
2005 S(H) = SIN (H * CS):C(H) = COS (H * CS)
2010 NEXT H: RETURN
2497 REM CHI-CARRE 1 DL, SEUIL ALPHA .0000454= 16.727
(INTERPOLATION QUADRATIQUE)
2498 REM CHI-CARRE 2 DL, SEUIL ALPHA .0000454= 20.0
2499 REM SPECIFICATION DE LA REP. EN FREQ.
2500 PRINT : PRINT "ERREUR D'EXTRACTION EN ";A$(L): INPUT
EE: PRINT "VARIANCE TOTALE: ";VT
2501 EP = (N - 1) * (VT - EE) / N:E1 = EE * 20 / N:EN = EE *
16.727 / N:EE = EE * 2 / N:K0 = 0:K1 = 0:K2 = 0:EF = 0: REM
EP-->ENERGIE PURE, EF-->ENERGIE FILTREE
2502 REM AMPLIT. TRANSFORMEE EN ENERGIE/2 (PAIR OU IMPAIR)

```



```

2503 FOR B = 1 TO N / 2:AM(B) = (AM(B) * AM(B)) / 2: NEXT
B: IF (PA) THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) * 2
2504 REM SEPARER LES CAS N PAIR ET N IMPAIR
2505 IF NOT PA GOTO 2540
2509 REM CAS N PAIR
2510 K = N / 2 - 1: FOR B = 1 TO K: IF AM(B) < = E1 THEN
AM(B) = 0:K0 = K0 + 1: GOTO 2513
2511 AM(B) = AM(B) - EE
2513 EF = EF + AM(B): NEXT B: IF AM(N / 2) < = EN THEN AM(N
/ 2) = 0:K2 = 1: GOTO 2515
2514 AM(N / 2) = AM(N / 2) - EE / 2
2515 EF = EF + AM(N / 2)
2519 LL = 0: REM LES COMPARAISONS
2520 IF EF < = EP THEN UU = (K + .5) / (K - (K0 + K2 / 2 -
K1)): GOTO 2565
2521 REM EF>EP A ATTENUER
2522 CD = (EF - EP) / ((K - K0) + (1 - K2) / 2):K1 = 0:LL =
LL + 1: FOR B = 1 TO K
2523 IF AM(B) = 0 GOTO 2527
2524 AM(B) = AM(B) - CD: IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:K1 =
K1 + 1
2527 NEXT B: IF AM(N / 2) > 0 THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) -
CD / 2: IF AM(N / 2) < = 0 THEN AM(N / 2) = 0:K2 = 1
2529 K0 = K0 + K1:EF = 0
2530 FOR B = 1 TO K + 1:EF = EF + AM(B): NEXT B: PRINT "N
DE FOIS: ";LL: PRINT "EF","EP": PRINT EF,EP
2532 PRINT : GOTO 2520
2539 REM CAS N IMPAIR
2540 K = (N - 1) / 2: FOR B = 1 TO K: IF AM(B) < = E1 THEN
AM(B) = 0:K0 = K0 + 1: GOTO 2544
2541 AM(B) = AM(B) - EE
2544 EF = EF + AM(B): NEXT B
2546 LL = 0: REM LES COMPARAISONS
2547 IF EF < = EP GOTO 2559
2550 REM EF>EP A ATTENUER
2552 CD = (EF - EP) / (K - K0):EF = 0:K1 = 0:LL = LL + 1:
FOR B = 1 TO K
2553 IF AM(B) = 0 GOTO 2556
2554 AM(B) = AM(B) - CD: IF AM(B) < = 0 THEN AM(B) = 0:K1 =
K1 + 1
2556 EF = EF + AM(B): NEXT B:K0 = K1 + K0
2558 PRINT "N DE FOIS: ";LL: PRINT "EF","EP": PRINT EF,EP:
PRINT : IF EF > EP GOTO 2552
2559 UU = K / (K - (K0 - K1))
2560 REM EF<=EP A AMPLIFIER (CAS N PAIR OU IMPAIR)
2565 CO = EP / EF: FOR B = 1 TO N / 2:AM(B) = AM(B) * CO:
NEXT B
2570 EXCES = 100 * (UU / CO - 1):W = 10000: PRI 1
2575 PRINT "ENERGIE PURE: ";EP;" ENERGIE D'ERREUR: ";(N -
1) * EE / 2: PRINT "EXCES: ";EXCES;" %": PRINT "N DE FOIS:
";LL: PRINT

```

```

2580 REM RESTITUTION
2582 IF (PA) THEN AM(N / 2) = AM(N / 2) / 2: REM POUR
RESTITUTION EXACTE SI N PAIR (CF LIGNE 2585)
2585 FOR B = 1 TO N / 2: X = Y(B): Y = Z(B): Z = SQR (X * X +
Y * Y): Q = SQR (AM(B) * 2)
2586 IF AM(B) = 0 THEN Y(B) = 0: Z(B) = 0: GOTO 2595
2590 IF Z > 0 THEN Y(B) = X * Q / Z: Z(B) = Y * Q / Z
2595 X = Y(B): Y = Z(B): Z = SQR (X * X + Y * Y): PRINT B;:
HTAB (5): PRINT INT (X * W + .5) / W;: HTAB (18): PRINT
INT (Y * W + .5) / W;: HTAB (31): PRINT INT (Z * W + .5) /
W: NEXT B: PRINT
2599 PRI 0: REM TFD (-1)
2600 FOR J = 0 TO NI: F(J,L) = 0: NEXT J
2605 FOR J = 0 TO NI: FOR Q = 0 TO N / 2: IF Y(Q) = 0 AND
Z(Q) = 0 GOTO 2630
2615 Z = Q * J: Z = Z - N * INT (Z / N)
2620 F(J,L) = F(J,L) + Y(Q) * C(Z)
2625 F(J,L) = F(J,L) - Z(Q) * S(Z)
2630 NEXT Q: NEXT J: RETURN
2999 REM S-R PP ET PG
3000 PX = F(0,0): GX = PX: PY = F(0,1): GY = PY
3005 FOR I = 1 TO NI
3010 IF F(I,0) < PX THEN PX = F(I,0): GOTO 3020
3015 IF F(I,0) > GX THEN GX = F(I,0)
3020 IF F(I,1) < PY THEN PY = F(I,1): GOTO 3030
3025 IF F(I,1) > GY THEN GY = F(I,1)
3030 NEXT I: RETURN
4000 POKE AD,V / 256: POKE AD + 1,V - 256 * PEEK (AD): AD =
AD + 2: RETURN
5000 Q = PEEK (AD): AD = AD + 1
5010 GOSUB 500: Y = V: GOSUB 500: ZZ = Y + V / 1000: IF Q = 1
THEN ZZ = - ZZ
5020 RETURN
5500 POKE AD,0: IF ZZ < 0 THEN POKE AD,1: ZZ = ABS (ZZ)
5505 AD = AD + 1: V = INT (ZZ): GOSUB 4000: Y = V
5510 V = INT (ZZ * 1000 + .5): V = V - 1000 * Y: GOSUB 4000:
RETURN

```

Annexe C

Spécifications des paramètres dans les tests théoriques

Chute libre

La construction des deux ensembles de données théoriques, un pour chaque extraction, est effectuée à partir de la valeur de quelques paramètres (structuraux) de base. Pour l'axe X, il s'agit simplement de la position moyenne observée dans l'extraction concernée. En Y, ces valeurs sont la position de départ (initiale, $y(0)$), la position d'arrivée (finale, $y(N)$, où N représente la dernière image) et le temps total (T_t) pour parcourir cette distance. Avec ces valeurs, nous sommes en mesure d'estimer les N-1 valeurs utiles pour les comparaisons statistiques.

Une méthode des moindres carrés a aussi été envisagée; mais elle a été écartée car elle aurait favorisé nettement le splineur dont le travail de base s'accomplit justement avec des minimisations du type moindres carrés. La même remarque prévaut pour la trajectoire parabolique qui suit plus loin. Regardons maintenant les équations résultantes pour chaque extraction.

$$x(t) = x(\text{moyen})$$

$$y(t) = y(0) + 1/2 \, g t^2$$

Pour l'extraction 1, nous avons $x(\text{moyen}) = 1,146$, $y(0) = 240,121\text{cm}$, $y(N) = 0\text{cm}$ et $T_t = 0,776\text{s}$. Nous obtenons un estimé de g en faisant:

$$y(N) - y(0) = 1/2 \, g t^2 \text{ ou}$$

$$240,121 - 0 = 1/2 \, g (0,776)^2$$

$$1/2 \, g = -399,270\text{cm/s}^2, \text{ donc } g = -798,540\text{cm/s}^2. \text{ Les}$$

deux équations utiles sont :

$$x(t) = 1,146\text{cm}, \text{ et}$$

$$y(t) = 240,121\text{cm} - 399,270\text{cm/s}^2 * t^2.$$

En répétant la même procédure pour l'extraction 2 de la chute libre, on obtient les équations suivantes :

$$x(t) = 1,154\text{cm}$$

$$y(t) = 240,121\text{cm} - 399,165\text{cm/s}^2 * t^2, \text{ où}$$

$$g = -798,330\text{cm/s}^2$$

A noter que nos calculs intermédiaires sont basés sur plus de huit chiffres de précision.

Trajectoire parabolique

Les deux équations générales d'une trajectoire parabolique divisées dans les axes X et Y sont :

$$x(t) = x(o) + v(o) \cos (A)t$$

$$y(t) = y(o) + v(o) \sin (A)t + 1/2 gt^2$$

où $v(o)$ représente la vitesse initiale et A , l'angle de départ. Les paramètres de base sont, pour l'extraction 1 :

$$x(o) = 0\text{cm}, x(N) = 372,381\text{cm}$$

$$y(o) = 63,401\text{cm}, y(N) = 0\text{cm}, N = 97 \text{ images}$$

$$y(\text{max}) = y(44) = 147,152\text{cm} \text{ et } Tt = 0,942\text{s}.$$

La hauteur maximale en Y est nécessaire puisque nous sommes en présence d'une équation du second degré et que nous avons besoin de trois points pour spécifier une telle équation. Par ailleurs, notons que les $y(\text{max})$ des deux extractions correspondent en temps, ce qui aurait été attendu. Voici le résumé de l'algèbre effectuée pour l'extraction 1 :

$$x(N) = 372,381\text{cm} = 0\text{cm} + v(o) \cos (A) * 0,942\text{s}$$

$$v(o) \cos (A) = 395,435\text{cm/s}.$$

$$y(44) = 147,152 = 63,401 + v(o) \sin (A) * (44/96) * 0,942\text{s} + 1/2g ((44/96) * 0,942\text{s})^2. \quad (1)$$

$$y(N) = 0\text{cm} = 63,401\text{cm} + v(o) \sin (A) * 0,942\text{s} + 1/2g (0,942\text{s})^2. \quad (2)$$

En résolvant ce système à deux équations pour l'axe Y, nous retrouvons:

$$1/2 g = -512,399\text{cm/s}^2, \text{ où } g = -1024,798\text{cm/s}^2 \text{ et}$$

$$v(o) \sin (A) = 415,200\text{cm/s}.$$

L'angle initial (A) et la vitesse initiale v(o) peuvent maintenant être estimés en se servant de:

$$A = v(o) \sin (A) / (v(o) \cos (A)),$$

$$A = \tan^{-1} (415,200\text{cm/s} / 395,435\text{cm/s})$$

$$A = 46,397 \text{ degrés (deg)}.$$

$$v(o) = v(o) \sin (A) / \sin (A)$$

$$v(o) = 415,200\text{cm/s} / \sin (46,39671525\text{deg})$$

$$v(o) = 573,375641\text{cm/s}.$$

Les équations résultantes des deux extractions se lisent comme suit:

Extraction 1

$$x(t) = 0\text{cm} + 395,435\text{cm/s} * t$$

$$y(t) = 63,401\text{cm} + 415,200\text{cm/s} * t - 512,399\text{cm/s}^2 * t^2$$

Extraction 2

$$x(t) = 0\text{cm} + 395,227\text{cm/s} * t$$

$$y(t) = 63,401\text{cm} + 419,416\text{cm/s} * t - 516,214\text{cm/s}^2 * t^2$$

Glissement

Nous avons proposé que ce test comprenait une fréquence de deux seulement. Il faut noter que nous ne parlons pas de deux Hz car le temps total ne sert pas ici à statuer de façon précise sur le nombre de cycles par seconde. On se sert plutôt d'une fréquence exprimée en fonction du nombre total de points, la méthode qui a d'ailleurs été utilisée dans les reproductions de tous les spectres dans cette monographie.

Les équations générales sont:

$$x(t) = x(\text{moyen}) + \text{Amp} * \cos (2*\pi*f*t/N + \text{ph})$$

$$y(t) = y(\text{moyen})$$

où Amp est l'amplitude, $\pi = 3,1415\dots$, f est la fréquence (2), N est le nombre total d'images (ou points) et ph est la phase de ce signal.

En X, comme la fréquence suggérée est unique, il reste à préciser la moyenne du signal (niveau DC), l'amplitude et la phase relative à cette fréquence. Les données temporelles brutes et les spectres bruts ont servi pour la spécification de ces paramètres.

Pour la moyenne, on prend les moyennes associées à chacune des extractions en X et en Y. Pour l'amplitude (Amp), on prend un estimé moyen des soustractions maximum - minimum retrouvés dans les séries temporelles brutes correspondantes. On a deux estimés puisqu'on a une fréquence de deux. En ce qui à trait à la phase (ph), on se sert de la phase associée à la fréquence 2 dans le spectre brut approprié.

L'algèbre se résume ainsi pour l'extraction 1:

$$x(\text{moyen}) = 10,759\text{cm}$$

$$\text{Amp} = (20,761\text{cm} - 0,332\text{cm} + 20,473\text{cm} - 0\text{cm}) / 2$$

$$\text{Amp} = 10,226\text{cm}$$

$$\text{ph} = -\tan^{-1} (-1,838-10,293) = -0,177$$

$$\text{ph} = -1 * (\text{pi} - 0,177) / \text{pi}$$

$$\text{ph} = -0,944 * \text{pi}, \text{ lorsque exprimée en fonction de pi}$$

(radians).

Les équations théoriques résultantes sont:

Extraction 1

$$x(t) = 10,759\text{cm} + 10,226\text{cm} * \cos (4*\text{pi}*t/N - 0,944*\text{pi})$$

$$y(t) = 1,100\text{cm}$$

Extraction 2

$$x(t) = 10,734\text{cm} + 10,225\text{cm} * \cos (4*\text{pi}*t/N - 0,945*\text{pi})$$

$$y(t) = 1,031\text{cm}.$$

Voici ce qui résume l'obtention des données théoriques pour les tests pratiques, ou filmés. Les données théoriques de la fonction mathématique ont été explicitées auparavant et se retrouvent à l'annexe D.

Annexe D

Tableaux et résultats complémentaires

Tableau 12*

Écart-types des différentes extractions en X et en Y
pour les tests de chute libre et de rebonds

Essai	Données en X			Données en Y		
	Extraction		Moyenne	Extraction		Moyenne
	1	2		1	2	
Point 1						
1	9,49	9,79	9,64	12,26	14,97	13,62
2	5,80	6,20	6,00	10,25	12,81	11,53
3	11,07	11,16	11,12	17,74	20,93	19,34
6	85,31	85,81	85,56	38,58	41,76	40,17
7	12,35	12,45	12,40	14,73	15,50	15,12
8	11,78	12,57	12,18	12,24	13,28	12,76
Point 2						
1	40,58	39,21	39,90	1042,06	1040,35	1041,21
2	24,07	25,95	24,58	1019,27	1021,14	1020,16
3	19,06	19,58	19,32	1290,46	1289,10	1289,78
6	90,35	98,40	94,38	1280,35	1277,60	1279,23
7	28,23	28,28	28,26	1052,44	1052,51	1052,48
8	37,28	39,52	38,40	1032,37	1032,66	1032,52
Point 3						
1	16,16	15,16	15,66	34,10	33,92	34,01
2	8,90	6,84	7,87	4,14	3,58	3,86
3	17,79	16,59	17,19	15,62	18,42	16,02
6	68,46	68,53	68,50	16,86	17,89	17,38
7	16,38	16,91	16,65	9,60	8,70	9,15
8	10,77	11,68	11,23	8,29	8,96	8,58

* Pour les tableaux 12 à 16, les valeurs sont exprimées en cm.

Tableau 13

Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y
pour le test du saut vertical

Essai	Données en X			Données en Y		
	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne
Point 1						
1	15,35	16,81	16,08	13,68	14,06	13,87
2	6,62	7,48	7,05	12,57	12,89	12,73
3	10,50	13,36	11,93	14,65	14,78	14,72
4	8,27	8,54	8,41	12,28	11,59	11,94
Point 2						
1	149,49	149,08	149,29	656,04	656,13	656,09
2	174,91	174,89	174,90	700,54	700,46	700,50
3	157,12	157,00	157,06	795,13	796,07	795,60
4	154,55	156,91	155,73	737,18	738,61	737,90
Point 3						
1	14,15	14,36	14,26	11,41	11,88	11,65
2	7,02	6,70	6,86	12,52	13,00	12,76
3	11,38	12,71	12,05	13,47	15,16	14,32
4	6,93	8,48	7,71	12,53	14,17	13,35

Tableau 14

Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y
pour le test du saut en longueur sans élan

Essai	Données en X			Données en Y		
	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne
Point 1						
1	9,91	11,03	10,47	15,97	14,98	15,48
2	9,09	8,54	8,82	10,24	10,83	10,54
4	11,20	11,78	11,49	13,02	15,89	14,46
5	10,16	11,99	11,08	18,86	21,05	19,96
Point 2						
1	970,37	969,25	969,81	233,71	233,90	233,80
2	973,74	973,44	973,59	212,40	214,14	213,27
4	984,52	983,67	984,10	304,19	302,77	303,48
5	971,65	971,19	971,42	356,33	357,68	357,01
Point 3						
1	9,18	8,89	9,04	16,13	16,86	16,50
2	8,62	9,59	9,11	11,14	12,11	11,63
4	11,25	9,64	10,45	16,44	13,39	14,92
5	11,02	10,46	10,74	20,95	21,34	21,15

Tableau 15

Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y
pour le test du glissement

Essai	Données en X			Données en Y		
	Extraction		Moyenne	Extraction		Moyenne
	1	2		1	2	
Point 1						
1	15,37	17,52	16,45	13,71	16,39	15,05
2	21,47	25,87	23,67	35,70	36,22	35,96
3	11,31	21,81	16,56	18,84	23,91	21,38
4	18,60	19,37	18,99	23,32	23,69	23,51
Point 2						
1	177,35	178,22	177,79	41,16	41,57	41,37
2	180,57	184,78	182,68	50,31	53,18	51,75
3	179,37	178,11	178,74	43,70	44,83	44,27
4	174,76	174,41	174,59	45,74	44,71	45,23
Point 3						
1	349,92	348,77	349,35	22,97	22,95	23,00
2	348,43	349,51	348,97	37,83	39,64	38,74
3	364,69	363,54	364,12	27,02	28,56	27,79
4	348,41	349,69	349,05	21,84	20,46	21,15
Point 4						
1	17,71	17,89	17,80	16,00	15,81	15,90
2	26,07	27,94	27,01	34,36	36,28	35,32
3	18,25	19,22	18,74	22,54	22,40	22,47
4	20,19	21,15	20,67	25,23	26,18	25,71

Tableau 16

Ecarts-types des différentes extractions en X et en Y
pour le test de la trajectoire parabolique

Essai	Données en X			Données en Y		
	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne	Extraction 1	Extraction 2	Moyenne
Point 1						
2	8,88	9,66	9,27	21,79	23,42	22,61
3	22,13	24,08	23,11	28,76	34,89	31,83
4	18,47	20,57	19,52	24,24	26,71	25,98
5	18,92	30,07	24,50	22,91	26,86	24,89
Point 2						
2	1689,99	1687,98	1688,99	602,18	601,82	602,00
3	1687,82	1688,62	1688,22	623,03	617,33	620,18
4	1671,20	1670,37	1670,78	588,94	591,58	590,26
5	1686,22	1685,82	1686,02	447,58	447,29	447,44
Point 3						
2	1685,42	1685,90	1685,66	604,18	601,86	603,02
3	1677,75	1682,54	1680,25	617,70	619,00	618,35
4	1668,56	1671,44	1670,00	591,46	591,72	591,60
5	1681,10	1682,08	1681,59	445,37	442,37	443,72

TABLEAU 17*

DONNEES TEMPORELLES THEORIQUES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA CHUTE LIBRE

IMAGE	CH T BALLON (1)		CH T2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
01	1.146	240.121	1.154	240.121
02	1.146	239.183	1.154	239.183
03	1.146	236.369	1.154	236.370
04	1.146	231.679	1.154	231.681
05	1.146	225.113	1.154	225.117
06	1.146	216.672	1.154	216.678
07	1.146	206.354	1.154	206.363
08	1.146	194.160	1.154	194.172
09	1.146	180.091	1.154	180.107
10	1.146	164.145	1.154	164.165
11	1.146	146.324	1.154	146.348
12	1.146	126.626	1.154	126.656
13	1.146	105.053	1.154	105.088
14	1.146	81.604	1.154	81.645
15	1.146	56.278	1.154	56.327
16	1.146	29.077	1.154	29.133
17	1.146	0.000	1.154	0.063
MOY:	1.146	157.579	1.154	157.601
VAR:	0.000	6169.544	0.000	6166.292
E-T:	0.000	78.546	0.000	78.526

* Pour les tableaux 17 à 29, les valeurs sont exprimées en cm.

TABLEAU 18

DONNEES TEMPORELLES THEORIQUES DES FICHIERS JUMEAUX
DU GLISSEMENT

IMAGE	GL T STYLET (1)		GL T2 STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.693	1.100	0.658	1.031
02	1.001	1.100	0.960	1.031
03	1.467	1.100	1.419	1.031
04	2.082	1.100	2.028	1.031
05	2.837	1.100	2.777	1.031
06	3.719	1.100	3.654	1.031
07	4.714	1.100	4.645	1.031
08	5.807	1.100	5.734	1.031
09	6.979	1.100	6.903	1.031
10	8.212	1.100	8.134	1.031
11	9.487	1.100	9.407	1.031
12	10.781	1.100	10.701	1.031
13	12.076	1.100	11.996	1.031
14	13.349	1.100	13.270	1.031
15	14.580	1.100	14.504	1.031
16	15.750	1.100	15.677	1.031
17	16.840	1.100	16.770	1.031
18	17.831	1.100	17.766	1.031
19	18.709	1.100	18.650	1.031
20	19.460	1.100	19.405	1.031
21	20.070	1.100	20.022	1.031
22	20.530	1.100	20.488	1.031
23	20.833	1.100	20.798	1.031
24	20.974	1.100	20.946	1.031
25	20.951	1.100	20.930	1.031
26	20.763	1.100	20.749	1.031
27	20.415	1.100	20.408	1.031
28	19.911	1.100	19.910	1.031
29	19.260	1.100	19.265	1.031
30	18.472	1.100	18.483	1.031
31	17.560	1.100	17.576	1.031
32	16.539	1.100	16.559	1.031
33	15.425	1.100	15.449	1.031
34	14.235	1.100	14.262	1.031
35	12.990	1.100	13.019	1.031
36	11.709	1.100	11.739	1.031
37	10.412	1.100	10.442	1.031
38	9.121	1.100	9.151	1.031
39	7.857	1.100	7.885	1.031
40	6.639	1.100	6.665	1.031
41	5.487	1.100	5.510	1.031
42	4.421	1.100	4.439	1.031
43	3.456	1.100	3.470	1.031
44	2.609	1.100	2.617	1.031

TABLEAU 18 (SUITE)

D-9

IMAGE	GL T STYLET (1)		GL T2 STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
45	1.892	1.100	1.895	1.031
46	1.319	1.100	1.315	1.031
47	0.897	1.100	0.887	1.031
48	0.634	1.100	0.618	1.031
49	0.534	1.100	0.511	1.031
50	0.599	1.100	0.568	1.031
51	0.827	1.100	0.789	1.031
52	1.215	1.100	1.170	1.031
53	1.756	1.100	1.705	1.031
54	2.442	1.100	2.386	1.031
55	3.263	1.100	3.200	1.031
56	4.203	1.100	4.136	1.031
57	5.249	1.100	5.178	1.031
58	6.384	1.100	6.310	1.031
59	7.589	1.100	7.512	1.031
60	8.846	1.100	8.767	1.031
61	10.133	1.100	10.053	1.031
62	11.430	1.100	11.350	1.031
63	12.716	1.100	12.637	1.031
64	13.971	1.100	13.893	1.031
65	15.174	1.100	15.099	1.031
66	16.306	1.100	16.235	1.031
67	17.349	1.100	17.281	1.031
68	18.286	1.100	18.223	1.031
69	19.101	1.100	19.044	1.031
70	19.783	1.100	19.732	1.031
71	20.319	1.100	20.274	1.031
72	20.701	1.100	20.663	1.031
73	20.924	1.100	20.893	1.031
74	20.983	1.100	20.958	1.031
75	20.877	1.100	20.860	1.031
76	20.609	1.100	20.598	1.031
77	20.182	1.100	20.178	1.031
78	19.603	1.100	19.606	1.031
79	18.883	1.100	18.891	1.031
80	18.031	1.100	18.044	1.031
81	17.063	1.100	17.081	1.031
82	15.993	1.100	16.015	1.031
83	14.838	1.100	14.864	1.031
84	13.619	1.100	13.646	1.031
85	12.353	1.100	12.382	1.031
86	11.061	1.100	11.091	1.031
87	9.765	1.100	9.795	1.031
88	8.485	1.100	8.513	1.031
89	7.241	1.100	7.268	1.031
90	6.054	1.100	6.078	1.031
91	4.942	1.100	4.963	1.031

IMAGE	GL T STYLET (1)		GL T2 STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
92	3.924	1.100	3.941	1.031
93	3.017	1.100	3.028	1.031
94	2.233	1.100	2.239	1.031
95	1.587	1.100	1.587	1.031
96	1.089	1.100	1.082	1.031
97	0.746	1.100	0.732	1.031
98	0.564	1.100	0.544	1.031
99	0.546	1.100	0.519	1.031
MOY:	10.759	1.100	10.734	1.031
VAR:	52.814	0.000	52.811	0.000
E-T:	7.267	0.000	7.267	0.000

TABLEAU 19

DONNEES TEMPORELLES THEORIQUES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA TRAJECTOIRE PARABOLIQUE

IMAGE	PA T BALLON (1)		PA T2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	63.401	0.000	63.401
02	3.879	67.425	3.877	67.466
03	7.758	71.349	7.754	71.431
04	11.637	75.176	11.631	75.297
05	15.516	78.904	15.508	79.063
06	19.395	82.533	19.385	82.730
07	23.274	86.063	23.262	86.298
08	27.153	89.495	27.138	89.767
09	31.032	92.828	31.015	93.136
10	34.911	96.063	34.892	96.405
11	38.790	99.199	38.769	99.576
12	42.669	102.236	42.646	102.647
13	46.548	105.175	46.523	105.619
14	50.427	108.016	50.400	108.491
15	54.306	110.757	54.277	111.264
16	58.185	113.400	58.154	113.938
17	62.064	115.945	62.031	116.512
18	65.942	118.390	65.908	118.987
19	69.821	120.738	69.785	121.363
20	73.700	122.986	73.662	123.639
21	77.579	125.136	77.539	125.816
22	81.458	127.187	81.415	127.894
23	85.337	129.140	85.292	129.872
24	89.216	130.994	89.169	131.751
25	93.095	132.750	93.046	133.531
26	96.974	134.407	96.923	135.211
27	100.853	135.965	100.800	136.792
28	104.732	137.425	104.677	138.274
29	108.611	138.786	108.554	139.656
30	112.490	140.048	112.431	140.939
31	116.369	141.212	116.308	142.122
32	120.248	142.277	120.185	143.207
33	124.127	143.244	124.062	144.191
34	128.006	144.112	127.939	145.077
35	131.885	144.881	131.816	145.863
36	135.764	145.552	135.692	146.550
37	139.643	146.124	139.569	147.137
38	143.522	146.598	143.446	147.626
39	147.401	146.973	147.323	148.014
40	151.280	147.249	151.200	148.304
41	155.159	147.427	155.077	148.494
42	159.038	147.506	158.954	148.585
43	162.917	147.487	162.831	148.576
44	166.796	147.369	166.708	148.468

TABLEAU 19 (SUITE)

IMAGE	PA T BALLON (1)		PA T2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
45	170.675	147.152	170.585	148.261
46	174.554	146.837	174.462	147.954
47	178.433	146.423	178.339	147.548
48	182.312	145.910	182.216	147.043
49	186.191	145.299	186.093	146.439
50	190.069	144.589	189.969	145.735
51	193.948	143.781	193.846	144.931
52	197.827	142.874	197.723	144.029
53	201.706	141.869	201.600	143.026
54	205.585	140.764	205.477	141.925
55	209.464	139.562	209.354	140.724
56	213.343	138.260	213.231	139.424
57	217.222	136.860	217.108	138.025
58	221.101	135.362	220.985	136.526
59	224.980	133.764	224.862	134.928
60	228.859	132.069	228.739	133.231
61	232.738	130.274	232.616	131.434
62	236.617	128.381	236.493	129.538
63	240.496	126.389	240.369	127.542
64	244.375	124.299	244.246	125.448
65	248.254	122.110	248.123	123.253
66	252.133	119.823	252.000	120.960
67	256.012	117.437	255.877	118.567
68	259.891	114.952	259.754	116.075
69	263.770	112.369	263.631	113.483
70	267.649	109.687	267.508	110.793
71	271.528	106.906	271.385	108.002
72	275.407	104.027	275.262	105.113
73	279.286	101.049	279.139	102.124
74	283.165	97.973	283.016	99.036
75	287.044	94.798	286.893	95.848
76	290.923	91.524	290.770	92.561
77	294.802	88.152	294.646	89.175
78	298.681	84.681	298.523	85.689
79	302.560	81.112	302.400	82.104
80	306.439	77.444	306.277	78.420
81	310.318	73.677	310.154	74.636
82	314.196	69.812	314.031	70.753
83	318.075	65.848	317.908	66.771
84	321.954	61.786	321.785	62.689
85	325.833	57.625	325.662	58.508
86	329.712	53.365	329.539	54.228
87	333.591	49.007	333.416	49.848
88	337.470	44.550	337.293	45.369
89	341.349	39.994	341.170	40.791
90	345.228	35.340	345.047	36.113
91	349.107	30.587	348.923	31.336

TABLEAU 19 (SUITE)

IMAGE	FA T BALLON (1)		FA T2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
92	352.986	25.736	352.800	26.459
93	356.865	20.786	356.677	21.484
94	360.744	15.737	360.554	16.408
95	364.623	10.590	364.431	11.234
96	368.502	5.344	368.308	5.960
97	372.381	0.000	372.185	0.587
MOY:	186.191	106.644	186.093	107.496
VAR:	11919.245	1552.954	11906.709	1564.632
E-T:	109.175	39.408	109.118	39.555

DONNEES TEMPORELLES THEORIQUES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA FONCTION MATHEMATIQUE PURE

IMAGE	FM T POINT (1)		FM T POINT (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	17.890	0.000	17.890
02	1.000	12.279	1.000	12.279
03	2.000	0.009	2.000	0.009
04	3.000	-8.989	3.000	-8.989
05	4.000	-7.599	4.000	-7.599
06	5.000	2.627	5.000	2.627
07	6.000	12.760	6.000	12.760
08	7.000	13.875	7.000	13.875
09	8.000	4.428	8.000	4.428
10	9.000	-8.448	9.000	-8.448
11	10.000	-14.801	10.000	-14.801
12	11.000	-10.042	11.000	-10.042
13	12.000	1.298	12.000	1.298
14	13.000	9.319	13.000	9.319
15	14.000	6.940	14.000	6.940
16	15.000	-4.251	15.000	-4.251
17	16.000	-15.292	16.000	-15.292
18	17.000	-17.224	17.000	-17.224
19	18.000	-8.477	18.000	-8.477
20	19.000	3.844	19.000	3.844
21	20.000	9.804	20.000	9.804
22	21.000	4.828	21.000	4.828
23	22.000	-6.542	22.000	-6.542
24	23.000	-14.409	23.000	-14.409
25	24.000	-11.695	24.000	-11.695
26	25.000	0.000	25.000	0.000
27	26.000	11.695	26.000	11.695
28	27.000	14.409	27.000	14.409
29	28.000	6.542	28.000	6.542
30	29.000	-4.828	29.000	-4.828
31	30.000	-9.804	30.000	-9.804
32	31.000	-3.844	31.000	-3.844
33	32.000	8.477	32.000	8.477
34	33.000	17.224	33.000	17.224
35	34.000	15.292	34.000	15.292
36	35.000	4.251	35.000	4.251
37	36.000	-6.940	36.000	-6.940
38	37.000	-9.319	37.000	-9.319
39	38.000	-1.298	38.000	-1.298
40	39.000	10.042	39.000	10.042
41	40.000	14.801	40.000	14.801
42	41.000	8.448	41.000	8.448
43	42.000	-4.428	42.000	-4.428
44	43.000	-13.875	43.000	-13.875

TABLEAU 20 (SUITE)

IMAGE	FM T POINT (1)		FM T POINT (2)	
	X	Y	X	Y
45	44.000	-12.760	44.000	-12.760
46	45.000	-2.627	45.000	-2.627
47	46.000	7.599	46.000	7.599
48	47.000	8.989	47.000	8.989
49	48.000	-0.009	48.000	-0.009
50	49.000	-12.279	49.000	-12.279
51	50.000	-17.890	50.000	-17.890
52	51.000	-12.279	51.000	-12.279
53	52.000	-0.009	52.000	-0.009
54	53.000	8.989	53.000	8.989
55	54.000	7.599	54.000	7.599
56	55.000	-2.627	55.000	-2.627
57	56.000	-12.760	56.000	-12.760
58	57.000	-13.875	57.000	-13.875
59	58.000	-4.428	58.000	-4.428
60	59.000	8.448	59.000	8.448
61	60.000	14.801	60.000	14.801
62	61.000	10.042	61.000	10.042
63	62.000	-1.298	62.000	-1.298
64	63.000	-9.319	63.000	-9.319
65	64.000	-6.940	64.000	-6.940
66	65.000	4.251	65.000	4.251
67	66.000	15.292	66.000	15.292
68	67.000	17.224	67.000	17.224
69	68.000	8.477	68.000	8.477
70	69.000	-3.844	69.000	-3.844
71	70.000	-9.804	70.000	-9.804
72	71.000	-4.828	71.000	-4.828
73	72.000	6.542	72.000	6.542
74	73.000	14.409	73.000	14.409
75	74.000	11.695	74.000	11.695
76	75.000	0.000	75.000	0.000
77	76.000	-11.695	76.000	-11.695
78	77.000	-14.409	77.000	-14.409
79	78.000	-6.542	78.000	-6.542
80	79.000	4.828	79.000	4.828
81	80.000	9.804	80.000	9.804
82	81.000	3.844	81.000	3.844
83	82.000	-8.477	82.000	-8.477
84	83.000	-17.224	83.000	-17.224
85	84.000	-15.292	84.000	-15.292
86	85.000	-4.251	85.000	-4.251
87	86.000	6.940	86.000	6.940
88	87.000	9.319	87.000	9.319
89	88.000	1.298	88.000	1.298
90	89.000	-10.042	89.000	-10.042
91	90.000	-14.801	90.000	-14.801

TABLEAU 20 (SUITE)

IMAGE	FM T POINT (1)		FM T POINT (2)	
	X	Y	X	Y
92	91.000	-8.448	91.000	-8.448
93	92.000	4.428	92.000	4.428
94	93.000	13.875	93.000	13.875
95	94.000	12.760	94.000	12.760
96	95.000	2.627	95.000	2.627
97	96.000	-7.599	96.000	-7.599
98	97.000	-8.989	97.000	-8.989
99	98.000	0.009	98.000	0.009
100	99.000	12.279	99.000	12.279
MOY:	49.500	0.000	49.500	0.000
VAR:	841.667	101.050	841.667	101.050
E-T:	29.011	10.052	29.011	10.052

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA CHUTE LIBRE

IMAGE	CH B BALLON (1)		CH B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.251	240.121	0.251	240.121
02	0.063	239.870	0.063	239.744
03	0.000	236.915	0.377	237.670
04	0.503	233.458	1.006	233.710
05	0.503	227.172	0.440	226.795
06	0.817	218.875	0.440	218.812
07	1.006	207.309	0.251	207.875
08	0.251	195.994	1.446	195.994
09	1.131	181.285	1.257	181.662
10	1.383	165.131	1.194	165.885
11	1.571	146.336	0.251	146.399
12	1.194	126.032	1.760	125.718
13	1.383	105.289	1.571	104.409
14	2.514	80.019	2.892	79.705
15	2.829	54.184	2.137	55.064
16	2.137	27.784	2.326	27.407
17	1.949	0.000	1.949	0.063
MOY:	1.146	157.987	1.154	158.061
VAR:	0.729	6315.124	0.745	6328.902
E-T:	0.854	79.468	0.863	79.554

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DES REBONDS DU BALLON

IMAGE	RE B BALLON (1)		RE B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.251	246.847	0.251	246.847
02	0.063	246.596	0.063	246.470
03	0.000	243.641	0.377	244.396
04	0.503	240.184	1.006	240.436
05	0.503	233.898	0.440	233.521
06	0.817	225.601	0.440	225.538
07	1.006	214.035	0.251	214.601
08	0.251	202.720	1.446	202.720
09	1.131	188.011	1.257	188.388
10	1.383	171.856	1.194	172.611
11	1.571	153.062	0.251	153.124
12	1.194	132.758	1.760	132.444
13	1.383	112.015	1.571	111.135
14	2.514	86.745	2.892	86.431
15	2.829	60.910	2.137	61.790
16	2.137	34.510	2.326	34.132
17	1.949	6.726	1.949	6.789
18	2.200	16.909	2.389	16.846
19	2.326	39.601	2.326	40.104
20	2.263	60.030	1.571	60.910
21	1.571	79.831	2.137	79.014
22	1.949	95.734	1.571	96.174
23	2.074	110.380	1.571	111.009
24	1.949	121.632	1.320	121.444
25	1.760	132.192	1.571	132.381
26	1.194	138.730	0.691	138.793
27	1.383	145.016	1.194	145.393
28	1.383	147.467	0.691	147.844
29	0.817	149.164	1.320	149.164
30	1.571	148.599	0.817	148.724
31	1.571	145.581	1.571	145.204
32	1.571	140.113	1.383	140.490
33	1.760	133.135	2.326	133.512
34	2.137	126.158	2.137	125.404
35	2.514	114.718	1.949	115.032
36	2.892	102.774	2.514	102.774
37	3.646	88.443	4.589	87.123
38	4.400	71.785	3.457	72.602
39	5.343	53.116	4.463	53.367
40	5.154	32.058	4.966	32.435
41	5.720	10.183	5.909	10.686
42	5.532	5.594	5.217	5.469
43	4.966	24.264	5.720	23.572
44	6.223	42.430	5.532	41.990

TABLEAU 22 (SUITE)

IMAGE	RE B BALLON (1)		RE B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
45	5.154	58.710	6.097	56.384
46	6.097	69.585	5.154	69.019
47	6.412	79.579	4.903	78.825
48	4.777	86.934	6.034	86.934
49	4.903	92.780	4.589	93.534
50	5.217	96.866	4.463	97.306
51	5.594	99.191	5.532	99.380
52	4.652	99.569	5.343	99.443
53	4.526	95.986	5.154	96.740
54	5.532	92.026	5.343	90.705
55	5.532	85.111	5.280	85.802
56	5.972	76.185	5.029	77.065
57	5.720	64.682	5.343	65.059
58	6.663	51.859	4.777	51.922
59	5.154	36.458	4.966	35.390
60	5.720	19.046	5.532	19.801
61	6.349	0.000	7.229	-0.754
MDY:	3.104	106.235	2.972	106.252
VAR:	4.255	4372.989	4.115	4384.985
E-T:	2.063	66.129	2.029	66.219

TABLEAU 23

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DU SAUT VERTICAL

IMAGE	SV B HANCHE (1)		SV B2 HANCHE (2)	
	X	Y	X	Y
01	12.618	55.335	12.847	54.601
02	11.976	54.785	12.205	55.335
03	11.792	54.922	12.251	55.198
04	11.700	55.014	11.838	54.785
05	10.874	55.060	11.333	54.785
06	10.691	55.060	10.874	54.372
07	9.911	54.234	9.727	54.509
08	9.590	54.234	9.360	55.060
09	8.947	53.821	8.810	53.408
10	7.984	52.904	8.351	52.995
11	7.158	51.756	7.020	52.032
12	6.607	50.701	5.919	50.931
13	5.506	49.829	5.231	49.738
14	4.542	48.223	5.093	48.178
15	4.130	46.847	4.130	46.801
16	2.891	45.057	3.304	45.103
17	2.202	43.360	2.202	42.809
18	1.239	41.295	1.881	40.882
19	1.422	38.129	1.239	38.542
20	0.596	35.422	0.413	35.101
21	0.596	32.898	0.964	32.623
22	0.688	28.907	0.826	28.998
23	0.688	25.741	0.413	25.878
24	0.413	22.162	0.275	22.162
25	0.275	18.629	0.642	17.757
26	0.826	15.279	0.413	15.050
27	0.551	11.700	0.826	11.700
28	0.413	9.085	0.551	8.810
29	0.688	5.919	0.275	6.515
30	1.514	3.258	1.239	3.304
31	0.596	1.927	1.055	1.514
32	1.514	0.000	1.009	0.734
33	0.734	0.688	1.101	0.413
34	1.239	1.652	0.826	2.065
35	0.413	4.405	0.413	4.130
36	0.551	6.883	0.413	7.158
37	0.000	10.324	0.000	10.186
38	0.551	13.490	0.275	13.627
39	0.551	17.160	0.138	17.757
40	0.688	21.244	0.688	20.923
41	1.514	25.190	1.652	24.915
42	1.927	29.228	2.065	29.044
43	3.212	33.174	2.478	33.770
44	4.451	37.441	3.854	37.441

TABLEAU 23 (SUITE)

IMAGE	SV B HANCHE (1)		SV B2 HANCHE (2)	
	X	Y	X	Y
45	6.011	41.616	6.057	42.121
46	7.984	47.443	7.571	47.076
47	9.911	53.133	10.048	52.812
48	12.526	59.740	12.526	60.291
49	16.243	66.898	16.380	66.714
50	19.959	73.459	18.996	73.643
51	18.858	79.286	18.307	79.699
52	17.482	85.205	18.170	85.068
53	18.720	89.243	18.445	88.922
54	19.684	93.740	18.950	93.097
55	19.546	95.942	19.684	95.942
56	20.097	98.374	19.546	98.374
57	19.409	99.200	19.271	99.659
58	18.583	100.898	18.996	100.622
59	17.895	100.485	17.619	100.622
60	17.344	100.301	17.069	100.209
61	17.069	98.007	16.656	97.869
62	16.380	96.080	17.160	96.355
63	16.243	92.776	15.967	92.960
64	16.105	89.289	15.967	88.922
65	15.830	84.242	15.967	84.655
66	15.692	79.149	15.830	78.919
67	16.059	73.092	15.830	72.955
68	16.243	66.118	15.967	66.485
69	16.839	59.327	16.793	58.501
70	17.757	52.307	16.839	52.445
MOY:	8.449	49.253	8.386	49.237
VAR:	52.486	925.822	51.866	925.153
E-T:	7.245	30.427	7.202	30.416

TABLEAU 24

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX

DU SAUT EN LONGUEUR SANS ELAN

IMAGE	SL B		SL B2	
	HANCHE (1)		HANCHE (2)	
	X	Y	X	Y
01	3.997	14.789	4.175	14.656
02	4.441	14.878	3.997	15.189
03	4.041	15.544	4.130	14.966
04	4.263	15.055	4.041	15.011
05	4.352	15.721	3.819	14.833
06	3.908	15.055	3.997	15.189
07	3.775	15.322	3.731	15.055
08	3.953	14.922	3.731	14.878
09	3.908	15.055	3.731	15.322
10	3.198	14.833	3.109	15.055
11	2.265	15.455	2.576	15.322
12	2.176	15.322	2.309	14.922
13	1.332	14.656	1.510	14.966
14	0.977	14.123	0.933	14.256
15	0.444	13.723	0.311	13.723
16	0.044	12.568	-0.089	13.057
17	0.000	11.369	0.044	11.236
18	0.577	8.482	0.133	8.616
19	0.977	7.461	0.844	7.195
20	2.043	5.196	1.776	4.796
21	4.086	2.531	4.175	2.309
22	6.440	0.888	6.306	1.332
23	8.616	0.400	8.838	0.133
24	12.302	0.000	12.169	-0.089
25	16.166	0.666	16.032	0.799
26	21.228	2.487	21.806	2.176
27	28.023	5.463	27.490	5.063
28	35.484	8.394	35.618	8.438
29	44.811	12.035	44.811	11.991
30	53.604	16.921	53.870	17.320
31	60.399	21.406	60.710	21.450
32	64.218	25.181	64.929	25.181
33	69.725	27.846	69.059	28.112
34	72.789	30.111	73.456	30.555
35	76.786	32.020	77.008	32.242
36	80.384	32.020	80.339	32.109
37	83.626	32.731	83.848	32.420
38	87.711	32.908	87.401	33.042
39	91.176	31.532	91.042	31.576
40	95.572	29.755	95.439	29.489
41	100.768	26.647	100.235	27.091
42	107.030	22.650	106.853	22.250
43	113.159	18.564	112.715	18.830
44	119.288	13.101	118.932	12.968

TABLEAU 24 (SUITE)

IMAGE	SL B HANCHE (1)		SL B2 HANCHE (2)	
	X	Y	X	Y
45	122.618	8.394	123.151	8.083
46	127.770	6.395	127.681	6.395
MOY:	38.140	15.447	38.103	15.424
VAR:	1858.046	90.728	1858.561	91.984
E-T:	43.105	9.525	43.111	9.591

TABLEAU 25

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DU GLISSEMENT

IMAGE	GL B		GL B2	
	STYLET (1)		STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.532	0.687	0.665	0.620
02	0.731	0.266	0.798	0.421
03	1.064	0.199	1.241	0.643
04	2.260	0.687	2.393	0.665
05	3.080	0.975	3.501	0.886
06	4.564	0.753	4.719	0.931
07	5.451	0.798	5.716	0.997
08	7.312	0.798	7.378	0.665
09	9.372	0.532	8.907	0.665
10	10.502	0.598	10.635	0.598
11	12.098	0.731	11.810	0.975
12	13.095	0.864	13.538	1.196
13	14.779	1.130	14.690	1.130
14	15.754	0.953	15.598	1.064
15	17.194	1.329	17.482	1.108
16	18.146	1.728	17.881	1.263
17	19.875	1.839	19.033	1.196
18	19.542	1.485	19.764	1.196
19	20.229	0.931	20.074	0.931
20	20.207	1.440	20.141	1.462
21	20.761	1.462	20.273	1.329
22	19.520	1.263	19.144	1.329
23	20.318	0.753	20.163	1.196
24	19.587	1.529	20.539	0.997
25	20.074	1.462	20.340	1.396
26	20.074	0.886	20.141	1.662
27	19.476	1.728	20.141	1.795
28	19.742	0.731	19.764	1.130
29	18.944	1.595	19.409	1.219
30	18.368	1.950	18.545	0.665
31	17.947	1.019	17.725	1.839
32	16.773	0.997	16.418	0.997
33	15.355	1.662	15.355	1.374
34	13.626	1.396	13.759	1.064
35	12.829	0.931	13.073	0.731
36	11.234	0.399	11.034	1.130
37	9.505	0.864	9.505	0.798
38	7.578	0.332	8.109	0.133
39	7.423	0.798	7.245	0.798
40	5.118	1.396	5.716	0.931
41	5.074	0.864	4.254	0.620
42	3.789	1.064	3.523	1.130
43	2.792	1.064	2.459	0.532
44	1.396	0.665	1.529	0.753

IMAGE	GL B STYLET (1)		GL B2 STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
45	1.329	1.196	1.196	1.374
46	0.355	0.731	0.753	0.931
47	1.396	0.931	0.931	0.886
48	0.931	1.130	0.931	0.022
49	1.263	0.000	0.266	0.266
50	0.332	0.532	0.643	0.665
51	0.753	0.709	0.598	0.997
52	0.864	0.598	0.510	0.931
53	0.775	0.798	0.665	0.399
54	0.598	0.997	0.399	0.266
55	0.997	1.130	0.687	0.731
56	1.928	0.997	1.551	0.532
57	2.991	0.665	3.213	0.908
58	4.254	0.931	4.232	0.798
59	5.362	1.529	5.982	0.997
60	8.242	0.133	7.179	0.886
61	8.974	0.731	9.173	0.465
62	10.104	0.931	9.971	0.798
63	12.120	1.329	11.832	0.997
64	12.895	0.842	13.626	1.064
65	14.779	1.196	14.557	1.307
66	15.022	1.396	14.424	1.595
67	16.152	1.396	15.886	1.640
68	17.083	1.529	16.618	1.573
69	17.593	1.839	17.526	1.462
70	18.412	1.595	18.678	1.928
71	19.210	2.393	19.210	2.061
72	20.030	1.662	19.675	1.329
73	20.273	1.950	20.141	2.061
74	20.318	1.640	19.542	2.127
75	20.473	1.728	20.650	1.307
76	20.074	1.396	20.008	1.595
77	19.985	1.462	20.694	1.662
78	20.141	1.374	20.584	1.728
79	20.473	1.728	19.875	1.329
80	19.343	1.662	19.697	1.595
81	19.409	2.149	19.011	1.462
82	18.479	0.997	18.213	1.595
83	17.149	1.396	17.304	1.529
84	15.022	1.994	15.554	1.861
85	14.158	1.263	14.025	1.374
86	12.696	0.975	12.629	1.064
87	10.569	1.064	10.436	0.731
88	9.239	0.864	9.284	0.997
89	7.821	1.263	7.777	0.908
90	5.650	1.307	6.005	0.598
91	5.229	1.307	4.985	0.532

TABLEAU 25 (SUITE)

IMAGE	GL B STYLET (1)		GL B2 STYLET (2)	
	X	Y	X	Y
92	3.589	0.798	3.523	1.263
93	2.659	1.307	3.035	0.576
94	1.928	0.731	1.773	0.332
95	1.329	0.931	1.130	0.465
96	0.465	0.731	0.665	0.864
97	0.399	0.532	0.465	0.554
98	0.465	0.465	0.510	-0.177
99	0.000	0.465	0.066	0.199
MOY:	10.759	1.100	10.734	1.031
VAR:	56.859	0.220	57.003	0.223
E-T:	7.540	0.469	7.550	0.473

TABLEAU 26

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA TRAJECTOIRE PARABOLIQUE

IMAGE	FA B BALLON (1)		FA B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	63.401	0.000	63.401
02	3.718	68.293	3.914	67.706
03	7.240	71.032	7.436	72.011
04	10.762	75.924	10.762	75.924
05	14.676	79.642	14.872	80.033
06	19.177	82.969	18.981	82.186
07	23.090	86.687	23.090	85.513
08	27.200	90.144	27.069	89.035
09	30.526	92.948	30.918	92.557
10	35.027	97.384	36.005	96.666
11	39.528	99.015	39.528	98.819
12	43.637	102.145	43.833	101.558
13	46.963	105.472	47.550	104.689
14	51.660	107.625	51.660	108.472
15	55.182	110.755	56.160	111.342
16	59.552	113.886	60.270	113.104
17	62.618	117.343	63.401	115.647
18	67.901	118.387	68.293	119.039
19	72.206	120.931	72.402	121.322
20	76.120	124.062	75.729	124.257
21	79.838	124.844	79.838	124.844
22	84.534	127.584	84.338	127.584
23	88.056	129.736	87.861	129.345
24	92.557	132.280	92.753	132.476
25	96.275	132.867	95.884	133.454
26	99.602	135.020	99.602	135.411
27	103.711	136.390	104.494	136.194
28	108.016	137.759	107.951	137.759
29	111.864	138.477	112.125	136.781
30	116.430	139.912	116.039	139.325
31	119.952	141.086	119.757	139.912
32	123.866	141.869	123.866	140.890
33	127.780	144.021	126.997	142.260
34	131.889	143.434	131.693	143.434
35	135.607	144.413	136.585	144.217
36	139.716	144.608	139.520	145.195
37	144.608	145.000	143.434	145.782
38	147.739	146.369	147.739	145.456
39	151.653	146.174	151.848	145.782
40	155.762	145.587	156.153	145.000
41	159.676	145.391	159.480	145.195
42	163.589	146.174	162.807	145.913
43	166.329	146.174	166.916	145.000
44	171.416	144.608	171.416	145.782

TABLEAU 26 (SUITE)

IMAGE	PA B BALLON (1)		PA B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
45	176.309	147.152	177.483	148.261
46	180.222	145.782	181.005	146.369
47	184.918	146.369	184.723	146.174
48	187.854	144.608	187.854	144.608
49	193.137	143.434	193.137	143.695
50	196.855	142.456	197.246	142.456
51	199.790	141.477	199.790	141.673
52	203.704	140.890	203.508	140.825
53	207.617	140.695	207.030	140.303
54	211.009	138.346	211.335	137.368
55	214.271	135.607	214.858	136.585
56	218.510	135.803	218.380	135.411
57	221.902	134.628	221.119	134.041
58	226.011	132.280	225.816	132.019
59	229.925	130.650	229.338	129.736
60	233.643	128.758	233.839	129.149
61	238.339	127.975	238.144	127.780
62	241.666	126.214	241.470	125.888
63	245.580	124.257	245.384	124.257
64	249.102	122.692	248.123	122.105
65	253.407	120.539	253.472	119.757
66	255.820	117.409	256.733	118.974
67	261.038	115.452	260.256	114.734
68	265.148	112.125	264.756	110.951
69	269.257	108.603	269.453	108.994
70	274.019	108.212	273.758	106.907
71	277.867	103.907	276.693	104.102
72	280.998	101.167	281.781	100.580
73	284.911	98.623	284.911	99.015
74	288.629	96.275	289.021	95.297
75	292.739	93.340	293.521	94.057
76	296.196	89.622	296.457	88.056
77	300.762	86.295	299.196	85.513
78	303.305	82.577	303.305	81.599
79	308.589	79.446	307.806	79.251
80	312.307	76.511	312.894	75.533
81	316.807	72.011	315.829	71.619
82	319.156	67.314	321.047	68.032
83	322.678	63.792	322.678	62.814
84	327.766	59.748	326.200	58.770
85	330.114	56.747	329.918	58.443
86	332.853	53.225	333.636	51.660
87	337.158	47.550	336.767	47.550
88	340.289	42.267	340.680	42.267
89	344.594	37.766	343.811	38.941
90	346.747	34.636	347.334	35.223
91	351.443	29.156	350.008	27.982

TABLEAU 26 (SUITE)

D-29

IMAGE	PA B BALLON (1)		PA B2 BALLON (2)	
	X	Y	X	Y
92	356.139	25.439	354.770	25.047
93	357.900	20.155	358.683	20.155
94	362.205	15.263	361.423	16.437
95	364.749	9.588	364.945	9.980
96	369.250	5.610	369.250	4.109
97	372.381	0.000	372.185	0.587
MOY:	189.741	105.652	189.729	105.442
VAR:	12151.361	1542.799	12122.341	1540.934
E-T:	110.233	39.278	110.102	39.255

TABLEAU 27

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA FONCTION CONTAMINEE 1%

IMAGE	F1 B POINT (1)		F1 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	17.297	0.000	15.846
02	1.000	13.138	1.000	11.922
03	2.000	0.824	2.000	-0.217
04	3.000	-8.671	3.000	-8.725
05	4.000	-6.141	4.000	-7.078
06	5.000	1.641	5.000	4.024
07	6.000	11.407	6.000	13.853
08	7.000	13.778	7.000	13.035
09	8.000	5.368	8.000	3.476
10	9.000	-7.961	9.000	-8.171
11	10.000	-15.129	10.000	-15.130
12	11.000	-7.691	11.000	-10.156
13	12.000	1.734	12.000	1.588
14	13.000	9.861	13.000	8.813
15	14.000	6.590	14.000	7.245
16	15.000	-2.535	15.000	-4.649
17	16.000	-16.276	16.000	-14.147
18	17.000	-18.375	17.000	-15.710
19	18.000	-6.910	18.000	-7.620
20	19.000	4.394	19.000	3.914
21	20.000	8.884	20.000	10.008
22	21.000	6.006	21.000	4.220
23	22.000	-6.271	22.000	-6.903
24	23.000	-15.535	23.000	-13.968
25	24.000	-10.607	24.000	-11.577
26	25.000	-1.494	25.000	0.568
27	26.000	9.915	26.000	13.303
28	27.000	12.863	27.000	14.898
29	28.000	9.034	28.000	7.823
30	29.000	-3.077	29.000	-5.006
31	30.000	-10.993	30.000	-9.704
32	31.000	-4.223	31.000	-3.774
33	32.000	9.482	32.000	8.289
34	33.000	18.731	33.000	18.000
35	34.000	15.607	34.000	14.852
36	35.000	6.015	35.000	5.099
37	36.000	-8.357	36.000	-6.322
38	37.000	-8.891	37.000	-8.582
39	38.000	-0.330	38.000	-1.796
40	39.000	10.293	39.000	11.217
41	40.000	14.480	40.000	16.100
42	41.000	8.856	41.000	7.622
43	42.000	-4.441	42.000	-2.808
44	43.000	-14.517	43.000	-14.803

TABLEAU 27 (SUITE)

IMAGE	F1 B POINT (1)		F1 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
45	44.000	-13.325	44.000	-13.333
46	45.000	-4.521	45.000	-3.427
47	46.000	8.149	46.000	7.347
48	47.000	9.278	47.000	6.879
49	48.000	1.713	48.000	-0.536
50	49.000	-13.496	49.000	-14.052
51	50.000	-17.578	50.000	-17.957
52	51.000	-12.192	51.000	-13.320
53	52.000	0.027	52.000	0.917
54	53.000	9.949	53.000	9.701
55	54.000	8.118	54.000	7.327
56	55.000	-3.947	55.000	-3.553
57	56.000	-11.171	56.000	-14.440
58	57.000	-14.972	57.000	-14.383
59	58.000	-5.479	58.000	-4.342
60	59.000	6.912	59.000	7.857
61	60.000	13.778	60.000	13.023
62	61.000	9.814	61.000	9.141
63	62.000	-1.473	62.000	-1.992
64	63.000	-9.098	63.000	-8.612
65	64.000	-4.757	64.000	-6.868
66	65.000	4.546	65.000	1.747
67	66.000	15.223	66.000	15.531
68	67.000	16.971	67.000	15.765
69	68.000	8.933	68.000	7.859
70	69.000	-2.400	69.000	-3.296
71	70.000	-9.440	70.000	-9.027
72	71.000	-5.064	71.000	-5.341
73	72.000	5.895	72.000	5.942
74	73.000	14.733	73.000	14.617
75	74.000	11.563	74.000	10.788
76	75.000	1.209	75.000	-0.456
77	76.000	-11.903	76.000	-13.330
78	77.000	-13.263	77.000	-15.314
79	78.000	-5.536	78.000	-5.941
80	79.000	4.792	79.000	4.139
81	80.000	11.786	80.000	11.503
82	81.000	4.420	81.000	2.759
83	82.000	-8.555	82.000	-8.554
84	83.000	-17.646	83.000	-17.108
85	84.000	-15.030	84.000	-14.701
86	85.000	-3.078	85.000	-3.503
87	86.000	7.068	86.000	6.249
88	87.000	8.749	87.000	10.156
89	88.000	0.962	88.000	2.503
90	89.000	-9.081	89.000	-9.425
91	90.000	-14.510	90.000	-16.914

TABLEAU 27 (SUITE)

IMAGE	F1 B POINT (1)		F1 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
92	91.000	-7.093	91.000	-10.176
93	92.000	5.541	92.000	6.320
94	93.000	15.004	93.000	15.038
95	94.000	15.306	94.000	12.853
96	95.000	1.639	95.000	2.759
97	96.000	-8.699	96.000	-6.336
98	97.000	-9.877	97.000	-8.541
99	98.000	0.911	98.000	-0.047
100	99.000	12.483	99.000	13.537
MOY:	49.500	0.201	49.500	-0.037
VAR:	841.667	102.694	841.667	102.262
E-T:	29.011	10.134	29.011	10.112

TABLEAU 28

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA FONCTION CONTAMINEE 5%

IMAGE	F5 B POINT (1)		F5 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	17.762	0.000	20.885
02	1.000	15.923	1.000	12.761
03	2.000	1.724	2.000	0.801
04	3.000	-10.685	3.000	-5.124
05	4.000	-2.775	4.000	-7.429
06	5.000	4.810	5.000	4.977
07	6.000	10.304	6.000	11.913
08	7.000	14.991	7.000	12.331
09	8.000	4.583	8.000	2.579
10	9.000	-5.432	9.000	-11.907
11	10.000	-13.811	10.000	-15.273
12	11.000	-8.681	11.000	-9.736
13	12.000	0.726	12.000	-0.711
14	13.000	9.110	13.000	9.615
15	14.000	9.197	14.000	7.191
16	15.000	-5.684	15.000	-1.306
17	16.000	-16.174	16.000	-15.818
18	17.000	-14.925	17.000	-19.001
19	18.000	-9.624	18.000	-8.346
20	19.000	3.448	19.000	2.753
21	20.000	11.024	20.000	8.469
22	21.000	8.530	21.000	6.608
23	22.000	-6.766	22.000	-6.596
24	23.000	-15.138	23.000	-18.837
25	24.000	-12.625	24.000	-10.133
26	25.000	-4.121	25.000	0.101
27	26.000	9.763	26.000	12.146
28	27.000	17.517	27.000	15.286
29	28.000	4.834	28.000	5.671
30	29.000	-7.140	29.000	-6.838
31	30.000	-9.097	30.000	-10.113
32	31.000	-1.643	31.000	-4.320
33	32.000	11.596	32.000	13.327
34	33.000	20.230	33.000	21.072
35	34.000	14.979	34.000	13.950
36	35.000	2.083	35.000	5.934
37	36.000	-9.094	36.000	-7.493
38	37.000	-10.234	37.000	-10.977
39	38.000	-2.897	38.000	-1.276
40	39.000	7.604	39.000	7.557
41	40.000	12.465	40.000	14.771
42	41.000	8.065	41.000	11.537
43	42.000	-8.718	42.000	-4.671
44	43.000	-14.224	43.000	-15.687

TABLEAU 28 (SUITE)

IMAGE	F5 B POINT (1)		F5 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
45	44.000	-9.651	44.000	-11.951
46	45.000	-5.148	45.000	-5.138
47	46.000	8.507	46.000	12.054
48	47.000	5.911	47.000	5.515
49	48.000	-0.732	48.000	3.981
50	49.000	-12.678	49.000	-12.589
51	50.000	-20.726	50.000	-16.399
52	51.000	-12.740	51.000	-15.456
53	52.000	-1.221	52.000	-2.927
54	53.000	7.630	53.000	9.746
55	54.000	9.254	54.000	6.864
56	55.000	-1.600	55.000	-3.089
57	56.000	-14.728	56.000	-13.528
58	57.000	-13.745	57.000	-12.845
59	58.000	-3.060	58.000	-2.111
60	59.000	6.760	59.000	7.369
61	60.000	12.331	60.000	13.404
62	61.000	6.944	61.000	11.455
63	62.000	-4.260	62.000	-1.518
64	63.000	-13.162	63.000	-7.642
65	64.000	-9.379	64.000	-7.603
66	65.000	0.516	65.000	8.721
67	66.000	15.359	66.000	12.250
68	67.000	17.326	67.000	17.012
69	68.000	9.347	68.000	6.338
70	69.000	-3.019	69.000	-0.567
71	70.000	-9.459	70.000	-9.553
72	71.000	-4.387	71.000	-5.384
73	72.000	3.352	72.000	2.099
74	73.000	19.328	73.000	14.120
75	74.000	12.265	74.000	16.850
76	75.000	2.472	75.000	-6.142
77	76.000	-11.490	76.000	-7.992
78	77.000	-16.257	77.000	-10.917
79	78.000	-1.867	78.000	-6.552
80	79.000	6.595	79.000	5.625
81	80.000	12.250	80.000	12.322
82	81.000	-0.260	81.000	3.648
83	82.000	-4.756	82.000	-11.192
84	83.000	-16.312	83.000	-17.136
85	84.000	-14.471	84.000	-13.136
86	85.000	-5.568	85.000	-2.052
87	86.000	10.840	86.000	7.956
88	87.000	12.280	87.000	7.117
89	88.000	2.798	88.000	2.721
90	89.000	-7.348	89.000	-9.144
91	90.000	-13.389	90.000	-11.971

TABLEAU 28 (SUITE)

IMAGE	F5 B POINT (1)		F5 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
92	91.000	-4.159	91.000	-7.374
93	92.000	5.499	92.000	4.365
94	93.000	11.409	93.000	13.603
95	94.000	12.078	94.000	11.102
96	95.000	4.701	95.000	3.344
97	96.000	-7.846	96.000	-8.351
98	97.000	-8.565	97.000	-12.529
99	98.000	-1.538	98.000	-1.053
100	99.000	11.939	99.000	9.024
MOY:	49.500	0.060	49.500	0.054
VAR:	841.667	106.007	841.667	106.145
E-T:	29.011	10.296	29.011	10.303

TABLEAU 29

DONNEES TEMPORELLES BRUTES DES FICHIERS JUMEAUX
DE LA FONCTION CONTAMINEE 10%

IMAGE	F10 B POINT (1)		F10 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
01	0.000	17.861	0.000	19.587
02	1.000	12.749	1.000	7.935
03	2.000	-0.901	2.000	3.335
04	3.000	-10.228	3.000	-9.183
05	4.000	-7.131	4.000	-3.514
06	5.000	0.609	5.000	0.261
07	6.000	15.311	6.000	6.619
08	7.000	13.782	7.000	9.932
09	8.000	1.521	8.000	6.906
10	9.000	-8.812	9.000	-7.191
11	10.000	-17.171	10.000	-20.076
12	11.000	-9.167	11.000	-10.744
13	12.000	-1.185	12.000	5.097
14	13.000	9.011	13.000	6.925
15	14.000	6.310	14.000	6.192
16	15.000	-1.656	15.000	-6.538
17	16.000	-13.703	16.000	-13.499
18	17.000	-16.842	17.000	-19.413
19	18.000	-11.986	18.000	-5.728
20	19.000	8.672	19.000	4.823
21	20.000	4.672	20.000	11.761
22	21.000	1.266	21.000	3.605
23	22.000	-0.561	22.000	-6.728
24	23.000	-11.911	23.000	-13.851
25	24.000	-15.591	24.000	-11.570
26	25.000	-3.794	25.000	-0.460
27	26.000	9.991	26.000	12.526
28	27.000	17.093	27.000	15.270
29	28.000	10.759	28.000	-2.160
30	29.000	1.454	29.000	-0.308
31	30.000	-7.514	30.000	-10.243
32	31.000	-3.161	31.000	-4.624
33	32.000	7.600	32.000	7.965
34	33.000	18.428	33.000	14.236
35	34.000	12.109	34.000	19.621
36	35.000	1.927	35.000	1.264
37	36.000	-0.467	36.000	-8.168
38	37.000	-9.441	37.000	-8.395
39	38.000	-2.726	38.000	-7.125
40	39.000	10.878	39.000	11.598
41	40.000	14.574	40.000	13.531
42	41.000	5.361	41.000	10.066
43	42.000	-6.766	42.000	-0.617
44	43.000	-15.421	43.000	-17.088

TABLEAU 29 (SUITE)

IMAGE	F10 B POINT (1)		F10 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
45	44.000	-7.751	44.000	-14.320
46	45.000	-4.496	45.000	0.133
47	46.000	1.400	46.000	3.363
48	47.000	10.090	47.000	12.955
49	48.000	-2.610	48.000	0.372
50	49.000	-10.119	49.000	-12.331
51	50.000	-15.799	50.000	-21.058
52	51.000	-13.396	51.000	-10.838
53	52.000	-0.144	52.000	1.645
54	53.000	9.578	53.000	4.876
55	54.000	8.602	54.000	7.862
56	55.000	-4.353	55.000	-3.688
57	56.000	-14.858	56.000	-10.938
58	57.000	-9.791	57.000	-17.310
59	58.000	-7.306	58.000	-1.391
60	59.000	5.255	59.000	1.991
61	60.000	20.320	60.000	8.304
62	61.000	10.598	61.000	6.412
63	62.000	-0.477	62.000	-0.535
64	63.000	-10.866	63.000	-14.225
65	64.000	-3.424	64.000	-9.943
66	65.000	2.923	65.000	10.821
67	66.000	10.649	66.000	12.879
68	67.000	13.225	67.000	21.701
69	68.000	4.339	68.000	8.136
70	69.000	-2.418	69.000	1.108
71	70.000	-11.496	70.000	-9.001
72	71.000	-4.046	71.000	-2.619
73	72.000	5.453	72.000	4.705
74	73.000	11.607	73.000	13.517
75	74.000	9.581	74.000	9.679
76	75.000	3.283	75.000	2.898
77	76.000	-8.674	76.000	-10.485
78	77.000	-13.139	77.000	-14.032
79	78.000	-9.072	78.000	-11.892
80	79.000	8.061	79.000	9.399
81	80.000	12.370	80.000	6.781
82	81.000	5.555	81.000	6.483
83	82.000	-8.237	82.000	-4.975
84	83.000	-12.710	83.000	-14.145
85	84.000	-14.202	84.000	-18.601
86	85.000	-5.609	85.000	-6.540
87	86.000	9.864	86.000	9.024
88	87.000	13.545	87.000	8.049
89	88.000	-3.020	88.000	2.864
90	89.000	-12.803	89.000	-6.353
91	90.000	-17.231	90.000	-15.966

TABLEAU 29 (SUITE)

IMAGE	F10 B POINT (1)		F10 B2 POINT (2)	
	X	Y	X	Y
92	91.000	-9.944	91.000	-5.973
93	92.000	8.062	92.000	5.626
94	93.000	14.220	93.000	14.078
95	94.000	10.799	94.000	17.573
96	95.000	8.271	95.000	2.776
97	96.000	-3.708	96.000	-12.936
98	97.000	-8.540	97.000	-14.525
99	98.000	3.174	98.000	-2.922
100	99.000	11.811	99.000	17.061
MOY:	49.500	0.082	49.500	-0.226
VAR:	841.667	99.997	841.667	109.853
E-T:	29.011	10.000	29.011	10.481

TABLEAU 30⁺

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES

CHUTE LIBRE

POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.6811	1.6828	0.8540	0.6548	1.7956	1.2713	CH B
0.6638	1.3468	0.7799	0.7385	2.1496	1.1093	CH L
0.6438	1.2168	0.7679	0.6494	1.6066	1.2072	CH S
0.6186	1.4198	0.7563	0.6552	1.7956	1.2712	CH F
0.6611	1.0367	0.7565	0.6552	1.7956	1.2712	CH F*
0.7231	1.7376	0.8629	0.7701	1.6742	1.3821	CH B2
0.6149	1.2939	0.7433	0.9347	2.1989	1.2382	CH L2
0.6189	1.0954	0.7309	0.7805	1.4604	1.3362	CH S2
0.6431	1.3536	0.7665	0.7705	1.6742	1.3820	CH F2
0.6687	1.0486	0.7665	0.7705	1.6742	1.3820	CH F*2

VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.2829	1.0249	0.5007	0.7684	1.8210	0.9233	CH B
0.0967	0.4389	0.2339	0.4868	1.7540	0.6346	CH L
0.0000	0.0009	0.0003	0.4816	1.6679	0.6430	CH S
0.2025	0.7396	0.3451	0.7684	1.8206	0.9238	CH F
0.2105	0.3563	0.2688	0.7684	1.8206	0.9238	CH F*
0.4324	1.4029	0.7243	0.7027	1.7260	0.8709	CH B2
0.1467	0.7739	0.3098	0.4639	1.6220	0.6349	CH L2
0.0096	0.2161	0.1073	0.4405	1.6444	0.6402	CH S2
0.4116	1.1112	0.5939	0.7027	1.7296	0.8716	CH F2
0.2145	0.3624	0.2731	0.7027	1.7296	0.8716	CH F*2

ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.6203	1.6350	0.7619	1.0993	2.6106	1.3608	CH B
0.1984	0.4250	0.2555	0.2847	1.0948	0.5667	CH L
0.0001	0.0010	0.0004	0.3101	1.1209	0.5331	CH S
0.2324	0.5936	0.3228	1.0997	2.6105	1.3610	CH F
0.0955	0.1378	0.1086	1.0997	2.6105	1.3610	CH F*
1.0399	2.4394	1.2942	0.9652	2.1113	1.2493	CH B2
0.3297	0.7429	0.4506	0.2972	0.8865	0.5060	CH L2
0.0536	0.1515	0.0818	0.2176	1.1848	0.4690	CH S2
0.8169	1.7205	0.9737	0.9652	2.1153	1.2498	CH F2
0.0945	0.1371	0.1096	0.9652	2.1153	1.2498	CH F*2

TABLEAU 30 (SUITE)⁺

COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES

CHUTE LIBRE

POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.4069	1.3200	0.3965	0.3624	0.8800	0.3309	BRUTE
0.1935	0.4610	0.1744	0.2082	0.5030	0.1786	LISSEE
0.1478	0.2440	0.1151	0.2239	0.6080	0.1891	SPLINEE
0.2591	0.8400	0.2464	0.3624	0.8800	0.3309	FILTREE
0.0624	0.1050	0.0495	0.3624	0.8800	0.3309	FILTREE *
0.0080	0.0080	0.0080	0.0216	0.0630	0.0295	THEORIQUE

VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.6763	1.9500	0.6309	0.5933	1.2570	0.4677	BRUTE
0.2594	0.8380	0.2373	0.1767	0.5450	0.1550	LISSEE
0.0860	0.2250	0.0759	0.1838	0.4590	0.1652	SPLINEE
0.3917	1.0560	0.3729	0.5933	1.2570	0.4677	FILTREE
0.0244	0.0360	0.0186	0.5933	1.2570	0.4677	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0080	0.0046	THEORIQUE

ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
1.2455	3.0190	1.1197	0.8928	2.4510	0.7765	BRUTE
0.4025	1.0260	0.3808	0.2040	0.5240	0.1791	LISSEE
0.0661	0.1630	0.0565	0.2216	0.6610	0.1975	SPLINEE
0.7581	1.7560	0.6527	0.8928	2.4510	0.7765	FILTREE
0.0077	0.0140	0.0063	0.8928	2.4510	0.7765	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0020	0.0010	THEORIQUE

⁺ Lexique des symboles de la dernière colonne (tableaux 30 à 38) à la page D-54

LEGENDE

 EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM: RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 31

COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES

REBONDS DU BALLON

POSITION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.5133	1.8860	0.4607	0.4812	2.3260	0.4448	BRUTE
0.2780	1.0680	0.2539	0.2750	1.2150	0.2666	LISSEE
0.1752	0.4260	0.1568	0.3900	1.9020	0.3573	SPLINEE
0.4830	1.9290	0.4219	0.4813	2.3270	0.4449	FILTREE
0.1614	0.4520	0.1470	0.4813	2.3270	0.4449	FILTREE *
VELOCITE						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.7587	2.7660	0.6855	0.6999	2.1370	0.6346	BRUTE
0.2696	0.9220	0.2360	0.2233	0.7750	0.2029	LISSEE
0.0399	0.1500	0.0340	0.4721	1.3650	0.4120	SPLINEE
0.7152	2.2130	0.6077	0.7001	2.1370	0.6347	FILTREE
0.0476	0.0990	0.0385	0.7001	2.1370	0.6347	FILTREE *
ACCELERATION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
1.3588	4.3370	1.2015	1.1871	4.0870	1.1045	BRUTE
0.3956	1.0260	0.3405	0.2936	0.8800	0.2637	LISSEE
0.0117	0.0450	0.0105	0.6927	2.4190	0.6527	SPLINEE
1.2420	3.4460	1.0633	1.1873	4.0870	1.1047	FILTREE
0.0197	0.0380	0.0155	1.1873	4.0870	1.1047	FILTREE *

LEGENDE

EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM : RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 32
 COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES
 SAUT VERTICAL

POSITION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.3107	0.9630	0.2710	0.3087	0.8720	0.2671	BRUTE
0.1685	0.9180	0.1600	0.1408	0.7340	0.1331	LISSEE
0.1639	0.8040	0.1605	0.1196	0.3510	0.1021	SPLINEE
0.2897	1.0300	0.2535	0.3113	0.7980	0.2596	FILTREE
0.2311	0.9310	0.2041	0.2563	0.7320	0.2215	FILTREE *

VELOCITE						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.4503	1.2390	0.3903	0.4835	1.2840	0.4167	BRUTE
0.1456	0.5050	0.1229	0.1510	0.7650	0.1376	LISSEE
0.1136	0.5490	0.1147	0.0744	0.2420	0.0661	SPLINEE
0.4104	1.0930	0.3542	0.4851	1.2230	0.4048	FILTREE
0.2694	0.6550	0.2299	0.2620	0.7260	0.2251	FILTREE *

ACCELERATION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.7875	2.2490	0.6698	0.8455	2.1570	0.7160	BRUTE
0.2024	0.6270	0.1748	0.2098	0.6120	0.1837	LISSEE
0.1232	0.8120	0.1280	0.0601	0.1870	0.0568	SPLINEE
0.7081	1.8590	0.6046	0.8276	1.9140	0.7058	FILTREE
0.3879	1.1520	0.3309	0.2922	0.8030	0.2482	FILTREE *

LEGENDE

EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM : RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES
SAUT EN LONGUEUR SANS ELAN

POSITION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.2540	0.7110	0.2239	0.2394	0.8880	0.2103	BRUTE
0.1445	0.4290	0.1237	0.1303	0.5030	0.1161	LISSEE
0.1482	0.4440	0.1255	0.1475	0.4810	0.1309	SPLINEE
0.2540	0.7110	0.2239	0.2358	0.8810	0.2068	FILTREE
0.2540	0.7110	0.2239	0.3227	0.8840	0.2791	FILTREE *
VELOCITE						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.3674	1.3770	0.3445	0.3840	1.0220	0.3221	BRUTE
0.1132	0.3110	0.0958	0.1076	0.3990	0.0996	LISSEE
0.0982	0.4520	0.0901	0.1404	0.3340	0.1139	SPLINEE
0.3674	1.3770	0.3445	0.3747	0.9980	0.3137	FILTREE
0.3674	1.3770	0.3445	0.5421	1.4090	0.4730	FILTREE *
ACCELERATION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.6726	2.7100	0.6240	0.6773	1.8660	0.5861	BRUTE
0.1683	0.5480	0.1472	0.1757	0.6360	0.1540	LISSEE
0.1271	0.4580	0.1172	0.1751	0.5000	0.1515	SPLINEE
0.6726	2.7100	0.6240	0.6618	1.8290	0.5686	FILTREE
0.6726	2.7100	0.6240	0.9922	2.7110	0.8669	FILTREE *

LEGENDE

 EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM : RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 34

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES

GLISSEMENT

POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
1.0285	3.0347	1.2919	0.3867	1.2926	0.4692	GL B
0.9786	2.6531	1.2364	0.3155	0.9010	0.3829	GL L
0.9892	2.6047	1.2513	0.3030	0.7376	0.3555	GL S
1.0041	2.8369	1.2696	0.3006	0.9715	0.3682	GL F
0.9710	2.8567	1.2449	0.3371	0.5296	0.3767	GL F*
1.0116	2.9775	1.2889	0.3765	1.2077	0.4725	GL B2
0.9758	2.6506	1.2462	0.3410	0.8367	0.4087	GL L2
0.9748	2.7045	1.2322	0.2741	0.8247	0.3301	GL S2
1.0009	2.8908	1.2678	0.2978	0.7389	0.3668	GL F2
0.9847	2.8365	1.2562	0.3409	0.5357	0.3809	GL F*2

VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.4476	1.6971	0.5899	0.3595	1.3937	0.4589	GL B
0.2430	0.8421	0.3140	0.1277	0.4187	0.1564	GL L
0.2256	0.6621	0.2880	0.0522	0.1326	0.0645	GL S
0.3618	1.5587	0.4647	0.2028	0.7248	0.2584	GL F
0.2157	0.6599	0.2686	0.0432	0.0680	0.0480	GL F*
0.3724	1.5903	0.4793	0.2966	1.1697	0.3840	GL B2
0.2210	0.9223	0.2867	0.1150	0.4467	0.1480	GL L2
0.1966	0.5612	0.2417	0.0332	0.0772	0.0432	GL S2
0.2608	0.9316	0.3284	0.1141	0.3263	0.1376	GL F2
0.2058	0.6234	0.2578	0.0436	0.0679	0.0486	GL F*2

ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.7533	2.1925	0.9507	0.5939	1.9897	0.7828	GL B
0.2217	0.8189	0.2879	0.1584	0.5961	0.2025	GL L
0.1061	0.3106	0.1367	0.0179	0.0526	0.0235	GL S
0.5319	1.9545	0.7060	0.3358	1.1145	0.4383	GL F
0.0739	0.2024	0.0932	0.0052	0.0088	0.0060	GL F*
0.5483	2.3014	0.7030	0.4838	2.0101	0.6342	GL B2
0.1645	0.6120	0.2124	0.1408	0.6113	0.1839	GL L2
0.0600	0.1849	0.0800	0.0021	0.0077	0.0039	GL S2
0.2928	0.9769	0.3610	0.1598	0.4443	0.1915	GL F2
0.0698	0.1953	0.0883	0.0052	0.0088	0.0061	GL F*2

TABLEAU 34 (SUITE)

COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES

GLISSEMENT

POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.2889	1.0630	0.2627	0.3078	1.2850	0.2797	BRUTE
0.1661	0.4880	0.1443	0.1718	0.6130	0.1539	LISSEE
0.1668	0.4310	0.1434	0.1257	0.3180	0.1068	SPLINEE
0.2126	0.7390	0.1930	0.1835	0.6140	0.1618	FILTREE
0.1122	0.3000	0.0970	0.0683	0.1280	0.0568	FILTREE *
0.0388	0.0800	0.0463	0.0690	0.0690	0.0690	THEORIQUE

VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.4433	1.6830	0.3954	0.4289	2.1050	0.4014	BRUTE
0.1380	0.4950	0.1281	0.1407	0.4650	0.1301	LISSEE
0.0908	0.3090	0.0819	0.0386	0.0990	0.0324	SPLINEE
0.2951	0.9640	0.2661	0.2244	0.9090	0.2043	FILTREE
0.0336	0.1070	0.0286	0.0048	0.0080	0.0038	FILTREE *
0.0044	0.0080	0.0049	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.7976	2.9450	0.7106	0.7380	3.0140	0.6918	BRUTE
0.2129	0.7620	0.1920	0.2029	0.7160	0.1831	LISSEE
0.0784	0.2360	0.0689	0.0191	0.0510	0.0161	SPLINEE
0.5196	1.6640	0.4756	0.3675	1.3180	0.3432	FILTREE
0.0161	0.0400	0.0134	0.0010	0.0030	0.0009	FILTREE *
0.0009	0.0030	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

LEGENDE

EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM : RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 35

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES

TRAJECTOIRE PARABOLIQUE

						POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0681	3.3960	2.1267	0.2838	2.9632	1.2674	PA B
0.0617	2.9769	2.0847	0.2121	2.1731	1.1586	PA L
0.0651	2.9780	2.0882	0.2443	2.2491	1.1814	PA S
0.0686	3.3960	2.1267	0.2887	2.9682	1.2678	PA F
0.0686	3.3960	2.1267	0.2887	2.9682	1.2678	PA F*
0.0529	3.6404	2.1122	0.0903	3.1388	1.6095	PA B2
0.0506	3.1217	2.0669	0.0439	2.5469	1.4857	PA L2
0.0491	2.9713	2.0508	0.0440	2.4899	1.4652	PA S2
0.0534	3.6404	2.1122	0.0966	3.1418	1.6106	PA F2
0.0534	3.6404	2.1122	0.0966	3.1418	1.6106	PA F*2

						VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.5642	2.1180	0.7344	0.6728	2.7610	0.8589	PA B
0.2420	1.0090	0.3126	0.2502	0.9020	0.3153	PA L
0.2251	0.7424	0.2876	0.2963	0.9306	0.3710	PA S
0.5642	2.1175	0.7347	0.6668	2.7450	0.8594	PA F
0.5642	2.1175	0.7347	0.6668	2.7450	0.8594	PA F*
0.5926	2.2460	0.7427	0.7670	3.8540	1.0766	PA B2
0.2706	1.0150	0.3470	0.3401	1.1260	0.4329	PA L2
0.1894	0.5612	0.2310	0.2246	0.7069	0.2888	PA S2
0.5921	2.2455	0.7430	0.7694	3.8539	1.0847	PA F2
0.5921	2.2455	0.7430	0.7694	3.8539	1.0847	PA F*2

						ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.9654	2.9288	1.2306	1.1147	4.1971	1.4514	PA B
0.2692	0.9783	0.3405	0.3200	1.3347	0.4004	PA L
0.1604	0.6418	0.2176	0.3457	1.2079	0.4350	PA S
0.9654	2.9288	1.2309	1.1116	4.1946	1.4484	PA F
0.9654	2.9288	1.2309	1.1116	4.1946	1.4484	PA F*
0.9215	3.5767	1.1755	1.3348	6.3400	1.8077	PA B2
0.2710	1.1489	0.3564	0.4159	1.5433	0.5503	PA L2
0.0633	0.2486	0.0870	0.1771	0.5853	0.2174	PA S2
0.9215	3.5767	1.1757	1.3459	6.3469	1.8170	PA F2
0.9215	3.5767	1.1757	1.3459	6.3469	1.8170	PA F*2

TABLEAU 35 (SUITE)
 COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES
 TRAJECTOIRE PARABOLIQUE

POSITION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.4499	1.8910	0.4347	0.6401	1.7610	0.5609	BRUTE
0.2594	0.8270	0.2308	0.3728	1.3040	0.3336	LISSEE
0.2207	0.8420	0.1996	0.3667	1.2010	0.3281	SPLINEE
0.4499	1.8910	0.4347	0.6425	1.7540	0.5620	FILTREE
0.4499	1.8910	0.4347	0.6425	1.7540	0.5620	FILTREE *
0.0980	0.1960	0.1134	0.8515	1.1650	0.9059	THEORIQUE

VELOCITE						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.7127	2.8690	0.6417	0.8581	3.2610	0.7901	BRUTE
0.2191	0.8920	0.2007	0.3019	0.9130	0.2597	LISSEE
0.1384	0.4190	0.1240	0.2603	0.8160	0.2274	SPLINEE
0.7127	2.8690	0.6417	0.8611	3.2680	0.7923	FILTREE
0.7127	2.8690	0.6417	0.8611	3.2680	0.7923	FILTREE *
0.0020	0.0030	0.0021	0.0182	0.0410	0.0213	THEORIQUE

ACCELERATION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
1.1973	4.7600	1.1173	1.5345	5.9350	1.3700	BRUTE
0.3144	1.2190	0.2933	0.4254	1.4790	0.3753	LISSEE
0.1504	0.6060	0.1389	0.3025	1.0870	0.2790	SPLINEE
1.1973	4.7600	1.1173	1.5411	5.9580	1.3741	FILTREE
1.1973	4.7600	1.1173	1.5411	5.9580	1.3741	FILTREE *
0.0002	0.0010	0.0004	0.0010	0.0030	0.0013	THEORIQUE

LEGENDE

EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM: RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 36

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES

FONCTION CONTAMINEE 1%

POSITION						DONNEES
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	
0.0000	0.0000	0.0000	0.6548	2.3454	1.0338	F1 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.0361	4.3799	2.6314	F1 L
0.0000	0.0000	0.0000	0.6796	2.5164	1.0596	F1 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.1525	1.0954	0.3995	F1 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.0031	0.2444	0.1239	F1 F*
0.0000	0.0000	0.0000	0.7325	2.4670	0.9547	F1 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.3424	4.7726	2.6576	F1 L2
0.0000	0.0000	0.0000	0.8787	2.5830	1.1113	F1 S2
0.0000	0.0000	0.0000	0.1554	0.4320	0.2280	F1 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0864	0.2530	0.1419	F1 F*2
VELOCITE						DONNEES
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	
0.0000	0.0000	0.0000	1.1230	4.0299	1.4485	F1 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.1349	3.8629	2.3999	F1 L
0.0000	0.0000	0.0000	0.7950	3.0217	0.9920	F1 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.4539	1.4644	0.5704	F1 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.0736	0.1376	0.0846	F1 F*
0.0000	0.0000	0.0000	0.9405	3.5866	1.2236	F1 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.0709	4.0946	2.3924	F1 L2
0.0000	0.0000	0.0000	0.8081	2.1365	0.9791	F1 S2
0.0000	0.0000	0.0000	0.1014	0.1865	0.1154	F1 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.1010	0.1724	0.1148	F1 F*2
ACCELERATION						DONNEES
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	
0.0000	0.0000	0.0000	1.9358	5.5731	2.4495	F1 B
0.0000	0.0000	0.0000	1.9490	4.8769	2.2880	F1 L
0.0000	0.0000	0.0000	0.8854	2.9079	1.1160	F1 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.7037	2.5150	0.8936	F1 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.0681	0.1107	0.0767	F1 F*
0.0000	0.0000	0.0000	1.6849	5.3152	2.0780	F1 B2
0.0000	0.0000	0.0000	1.9928	5.1232	2.2801	F1 L2
0.0000	0.0000	0.0000	0.8414	3.1319	1.0599	F1 S2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0922	0.1488	0.1045	F1 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0921	0.1498	0.1045	F1 F*2

TABLEAU 36 (SUITE)
 COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES
 FONCTION CONTAMINEE 1%

POSITION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	1.1480	3.3880	0.9916	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	0.7039	2.4950	0.6167	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.8182	2.8870	0.7200	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.4358	1.2630	0.3842	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.2865	0.7240	0.2454	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

VELOCITE						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	1.4374	4.2430	1.2798	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	0.5117	1.7720	0.4451	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.6885	2.3840	0.6283	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.4792	1.5970	0.4214	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.1757	0.3110	0.1385	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

ACCELERATION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	2.4166	7.5210	2.0770	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	0.6211	2.0920	0.5597	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.9384	2.5250	0.8151	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.7178	2.6030	0.6392	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.1615	0.2550	0.1261	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

LEGENDE

 EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM: RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

TABLEAU 37

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES

FONCTION CONTAMINEE 5%

POSITION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	1.7671	4.8595	2.2316	F5 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.3381	6.3914	2.9274	F5 L
0.0000	0.0000	0.0000	1.7616	4.7865	2.1905	F5 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.7442	1.9855	0.9543	F5 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.2068	0.5315	0.2940	F5 F*
0.0000	0.0000	0.0000	1.6288	6.0879	2.2063	F5 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.3625	5.8073	2.8505	F5 L2
0.0000	0.0000	0.0000	1.6387	4.3829	2.0083	F5 S2
0.0000	0.0000	0.0000	0.6181	2.4379	0.8606	F5 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0809	0.0412	F5 F*2
VELOCITE						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	2.2968	8.1069	2.9179	F5 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.2010	5.0369	2.5012	F5 L
0.0000	0.0000	0.0000	1.4448	3.8074	1.7419	F5 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.5379	1.9653	0.6995	F5 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.0880	0.2008	0.1059	F5 F*
0.0000	0.0000	0.0000	2.5242	11.2339	3.3286	F5 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.2405	4.9149	2.6328	F5 L2
0.0000	0.0000	0.0000	1.4548	4.2250	1.8016	F5 S2
0.0000	0.0000	0.0000	1.0559	3.5045	1.3393	F5 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0205	0.0398	0.0235	F5 F*2
ACCELERATION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	3.9101	14.3488	5.0256	F5 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.0652	6.6099	2.5178	F5 L
0.0000	0.0000	0.0000	1.4696	4.0830	1.7640	F5 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.8667	2.9745	1.1056	F5 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.0742	0.1316	0.0847	F5 F*
0.0000	0.0000	0.0000	4.5469	21.1387	5.9228	F5 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.2604	7.3719	2.7897	F5 L2
0.0000	0.0000	0.0000	1.5277	6.6062	1.8943	F5 S2
0.0000	0.0000	0.0000	2.0043	6.1187	2.4369	F5 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.0181	0.0316	0.0207	F5 F*2

TABLEAU 37 (SUITE)

COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES

FONCTION CONTAMINEE 5%

POSITION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	2.3643	8.6140	2.1089	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	1.2943	5.1670	1.1809	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.3653	4.2660	1.1992	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.0218	3.2590	0.9062	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.2869	0.5430	0.2215	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE
VELOCITE						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	3.5061	13.1990	3.1375	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	1.0887	3.7380	0.9614	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.9881	3.4650	0.8804	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.1796	4.4010	1.0712	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.0737	0.1800	0.0637	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE
ACCELERATION						

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	6.1518	25.3110	5.5430	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	1.5726	5.5910	1.4640	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.2376	3.9580	1.1035	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	2.1322	6.9540	1.9005	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.0576	0.1050	0.0456	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

LEGENDE

EAM : ECART ABSOLU MOYEN
EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
REQM: RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
X : PLAN HORIZONTAL
Y : PLAN VERTICAL

COMPARAISONS AVEC LES DONNEES THEORIQUES
 FONCTION CONTAMINEE 10%

POSITION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	2.2514	6.3910	2.8435	F10 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.6615	7.6922	3.3176	F10 L
0.0000	0.0000	0.0000	2.7672	7.4140	3.3397	F10 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.5240	1.3690	0.7183	F10 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.5240	1.3690	0.7183	F10 F*
0.0000	0.0000	0.0000	2.3517	8.4756	3.1597	F10 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.3831	9.1111	3.1014	F10 L2
0.0000	0.0000	0.0000	2.0702	8.1276	2.7778	F10 S2
0.0000	0.0000	0.0000	0.5957	2.1056	0.9424	F10 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.1283	0.7206	0.3661	F10 F*2

VELOCITE

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	3.0859	9.9556	3.9359	F10 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.5680	5.8386	2.9654	F10 L
0.0000	0.0000	0.0000	2.5300	5.6777	2.9527	F10 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.5083	0.8798	0.5673	F10 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.5083	0.8798	0.5673	F10 F*
0.0000	0.0000	0.0000	3.9346	13.1908	4.8477	F10 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.4852	5.6198	2.8912	F10 L2
0.0000	0.0000	0.0000	2.0436	5.5834	2.4713	F10 S2
0.0000	0.0000	0.0000	1.1970	3.6295	1.5708	F10 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.2160	0.4016	0.2478	F10 F*2

ACCELERATION

EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	5.1734	18.2548	6.5379	F10 B
0.0000	0.0000	0.0000	2.4708	6.0373	2.9922	F10 L
0.0000	0.0000	0.0000	2.3749	6.2257	2.7940	F10 S
0.0000	0.0000	0.0000	0.4393	0.7168	0.5054	F10 F
0.0000	0.0000	0.0000	0.4393	0.7168	0.5054	F10 F*
0.0000	0.0000	0.0000	6.9298	22.6447	8.5658	F10 B2
0.0000	0.0000	0.0000	2.3820	7.5811	3.2667	F10 L2
0.0000	0.0000	0.0000	1.9676	8.1953	2.4771	F10 S2
0.0000	0.0000	0.0000	2.1983	6.6623	2.8563	F10 F2
0.0000	0.0000	0.0000	0.1967	0.3223	0.2228	F10 F*2

TABLEAU 38 (SUITE)
 COMPARAISONS ENTRE LES DONNEES JUMELLES
 FONCTION CONTAMINEE 10%

POSITION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	3.5975	12.9190	3.1514	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	2.0670	7.1030	1.8604	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	2.1251	7.7020	1.9067	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	0.9066	3.0140	0.7900	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.6070	1.6160	0.5231	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

VELOCITE						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	5.0596	14.4170	4.3538	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	1.7454	7.5270	1.5637	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.5851	7.5150	1.4158	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.2781	3.8740	1.1401	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.4396	0.7870	0.3470	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

ACCELERATION						
EAM X	EM X	REQM X	EAM Y	EM Y	REQM Y	DONNEES
0.0000	0.0000	0.0000	8.3718	24.8730	7.3007	BRUTE
0.0000	0.0000	0.0000	2.3757	6.3660	1.9606	LISSEE
0.0000	0.0000	0.0000	1.5573	4.8060	1.3887	SPLINEE
0.0000	0.0000	0.0000	2.2204	7.1280	2.0255	FILTREE
0.0000	0.0000	0.0000	0.3938	0.6390	0.3093	FILTREE *
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	THEORIQUE

LEGENDE

 EAM : ECART ABSOLU MOYEN
 EM : ECART ABSOLU MAXIMAL
 REQM: RACINE DE L'ECART QUADRATIQUE MOYEN
 X : PLAN HORIZONTAL
 Y : PLAN VERTICAL

Lexique (tableaux 30 à 38)

CH: chute libre
RE: rebonds du ballon
SV: saut vertical
SL: saut en longueur sans élan
GL: glissement
PA: trajectoire parabolique
F1: fonction mathématique contaminée 1%
F5: fonction mathématique contaminée 5%
F10: fonction mathématique contaminée 10%

B: fichier de données brutes
B2: fichier de données brutes no 2 (données jumelles)
L: fichier de données lissées
S: fichier de données splinées
F: fichier de données filtrées
F*: fichier de données surfiltrées

Exemple:

CH S: fichier des données (no 1) de la chute libre splinée.

FILTREE *: données surfiltrées

Note: toutes les valeurs composant ces tableaux sont exprimées en cm.

Annexe E

Figures complémentaires

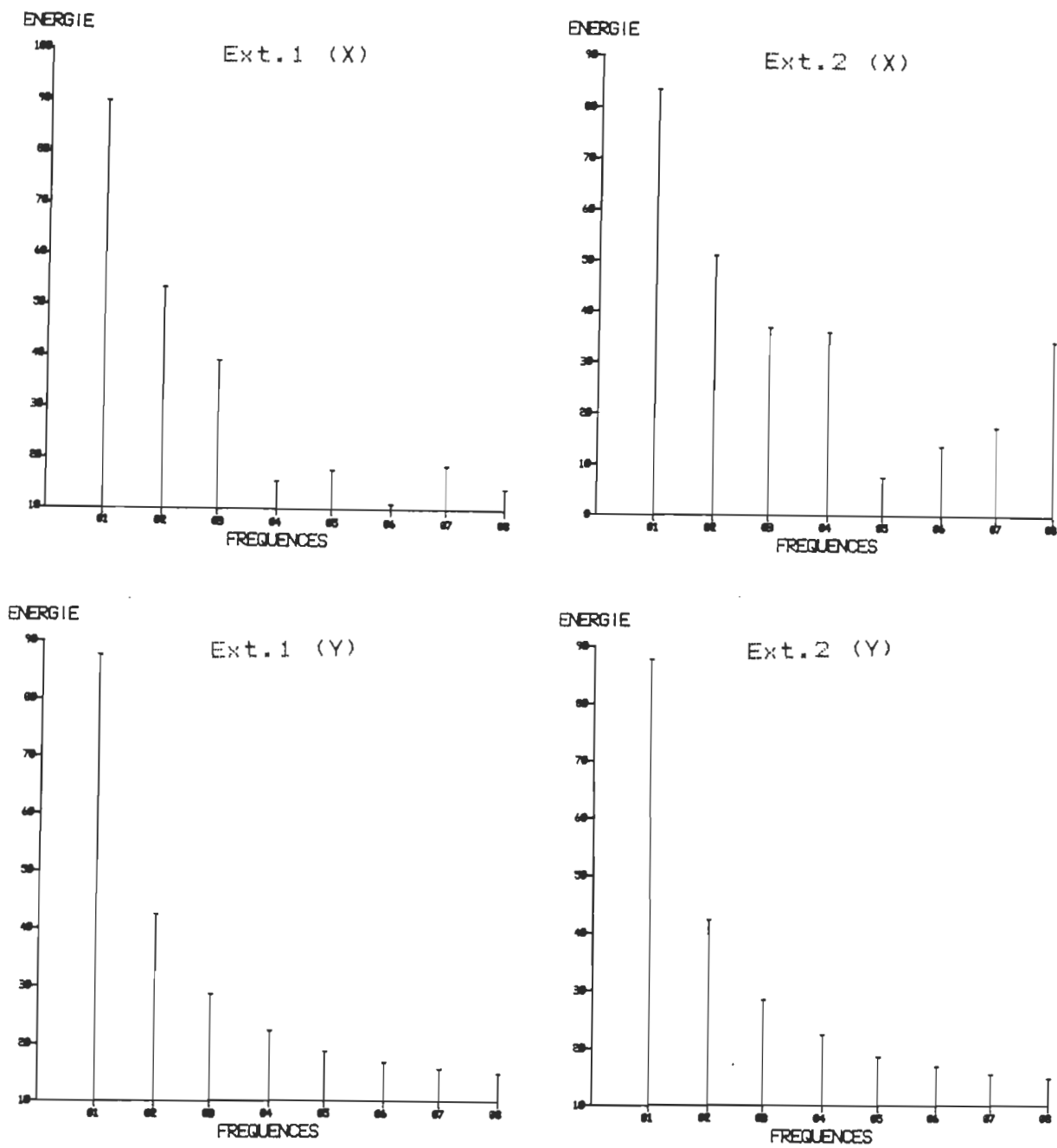


Figure 14. Spectres des données brutes de la chute libre en X et en Y pour les deux extractions.

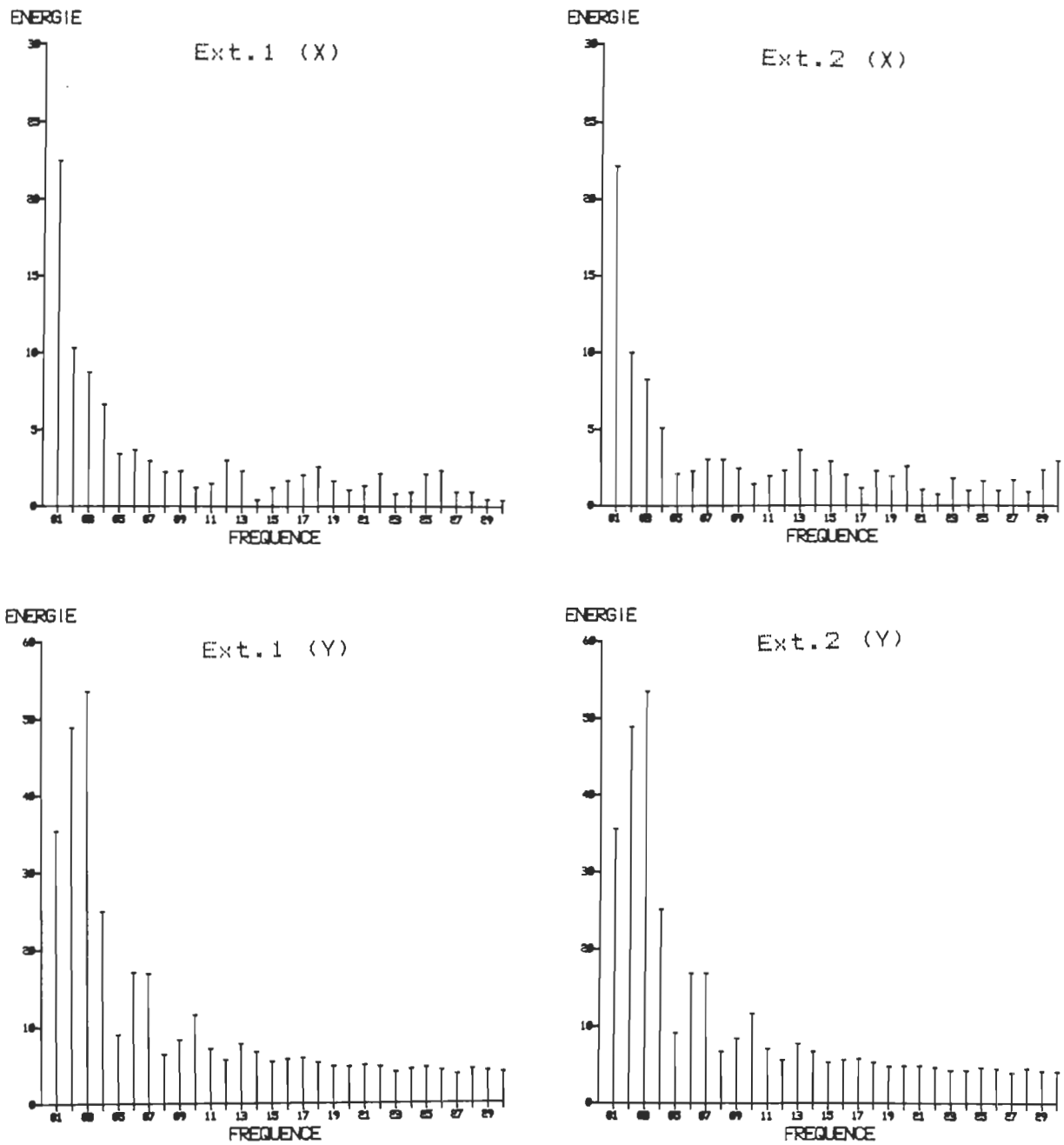


Figure 15. Spectres des données brutes des rebonds du ballon en X et en Y pour les deux extractions.

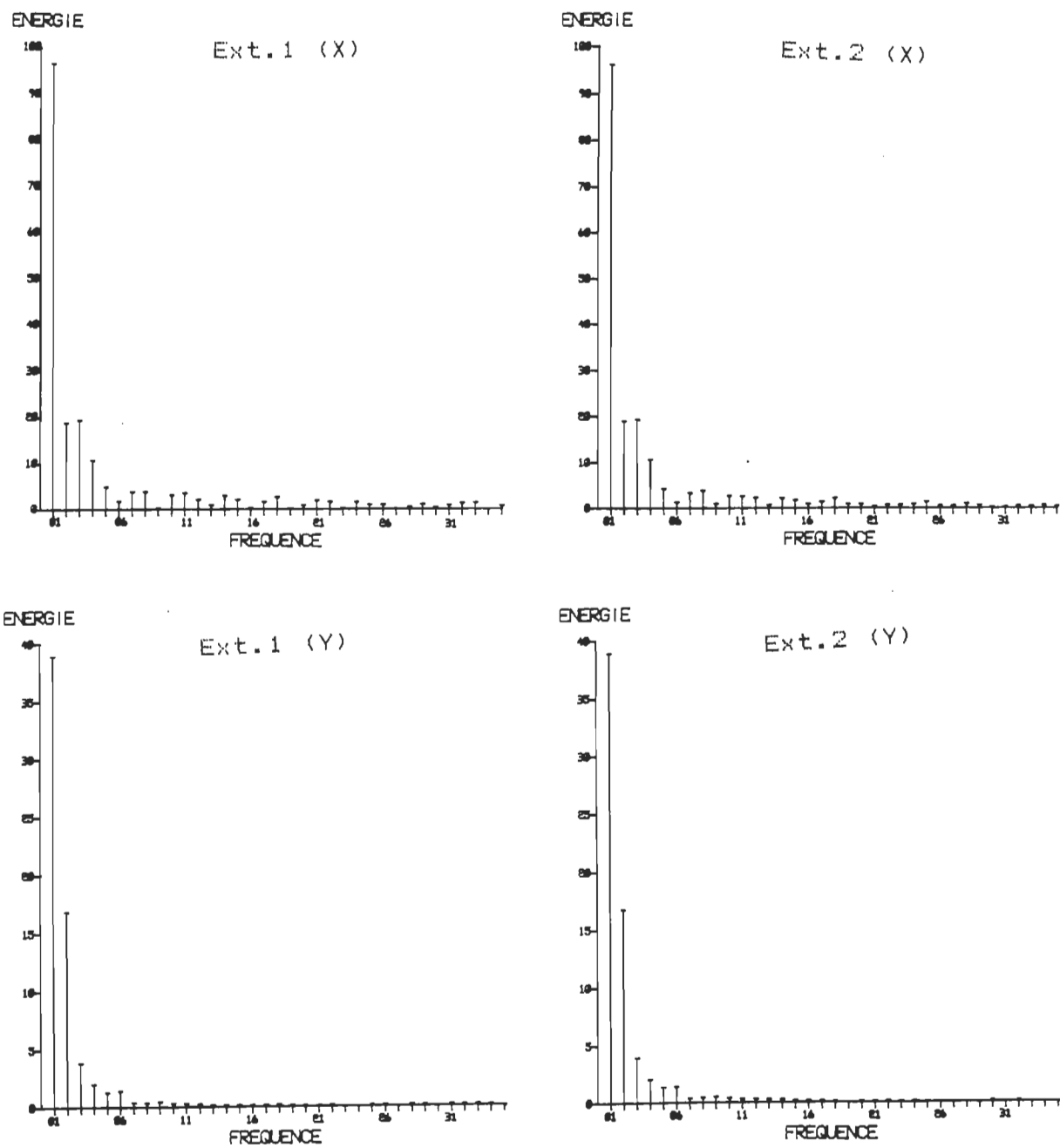


Figure 16. Spectres des données brutes du saut vertical en X et en Y pour les deux extractions.

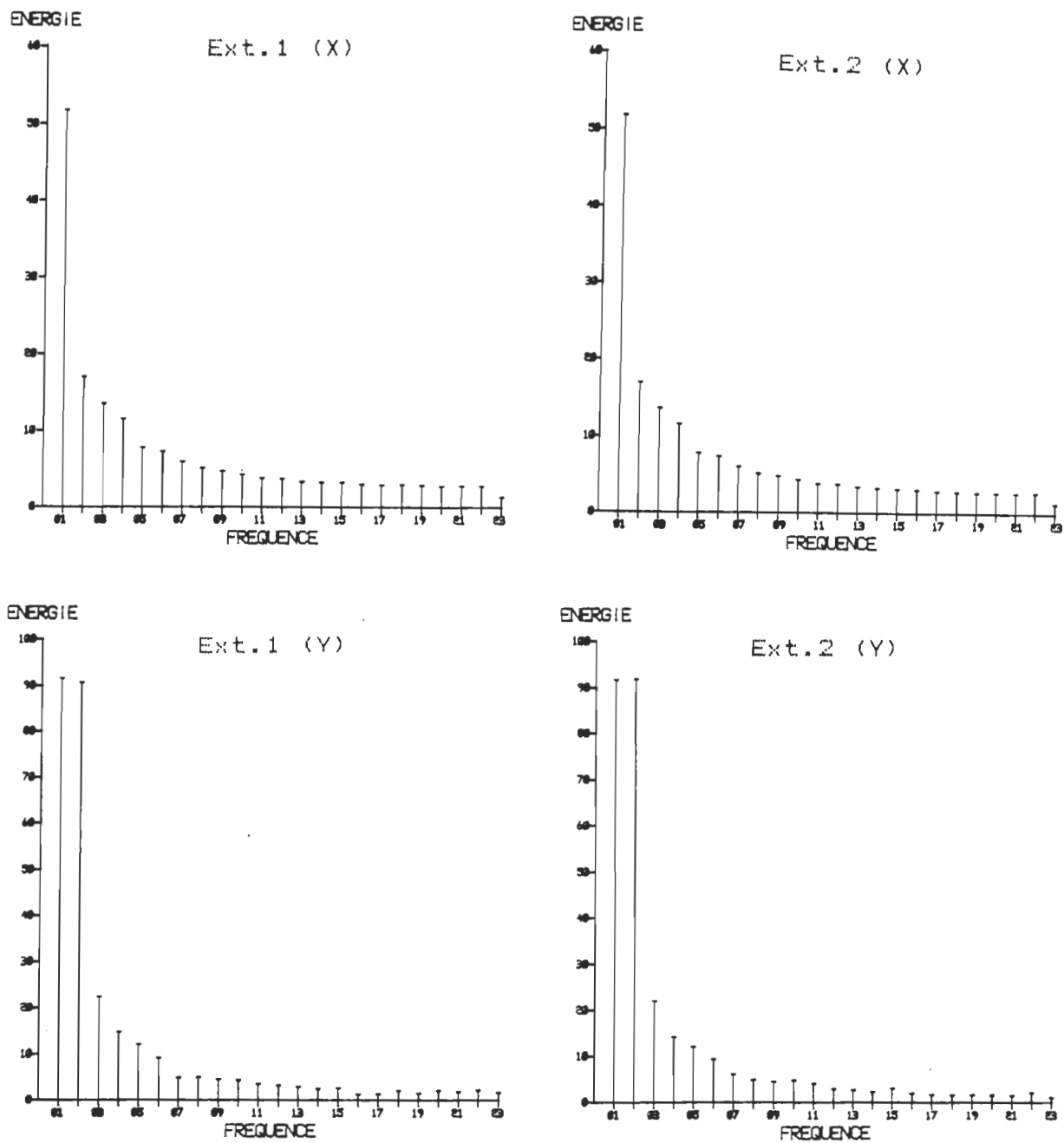


Figure 17. Spectres des données brutes du saut en longueur sans élan en X et en Y pour les deux extractions.

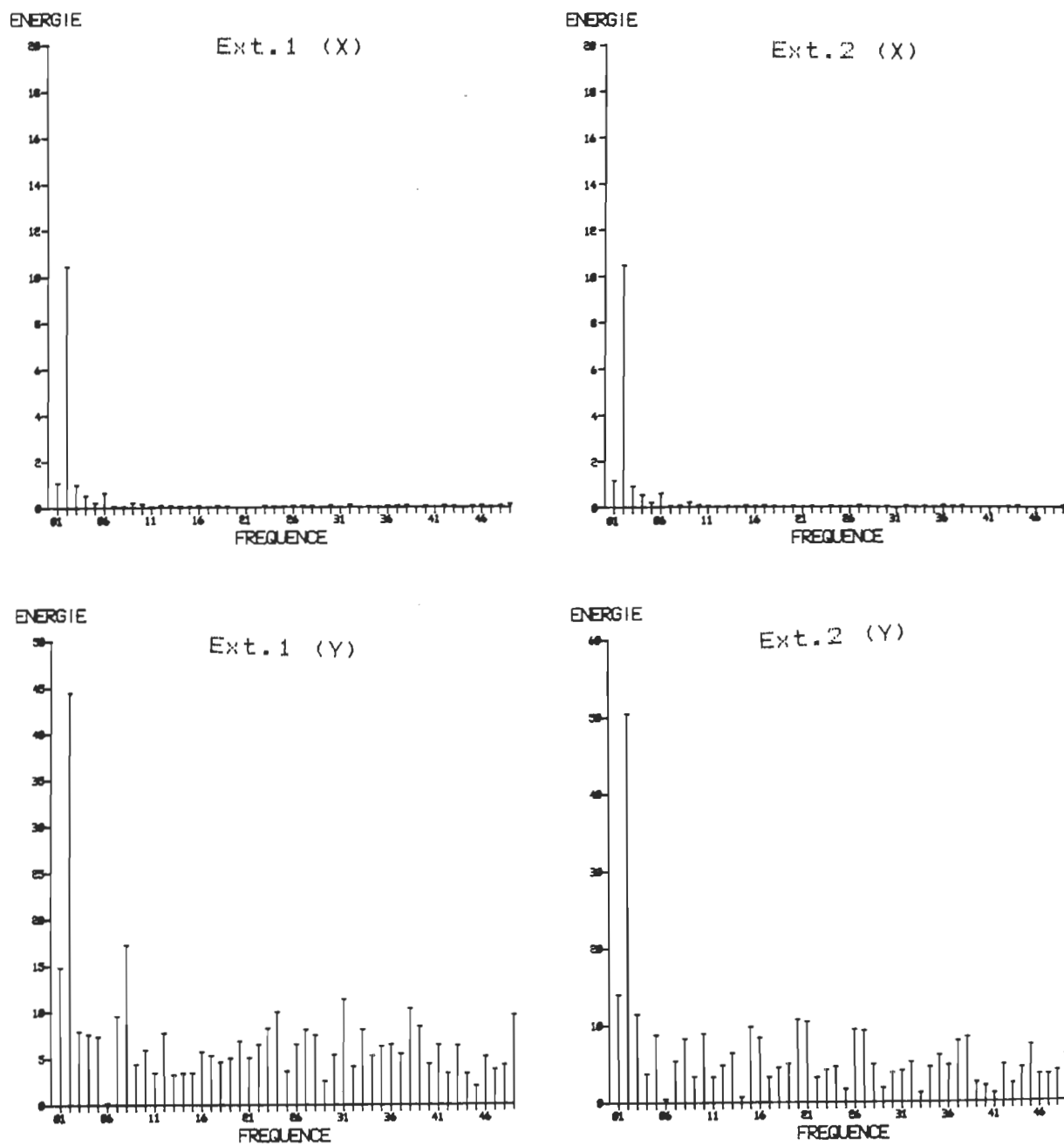


Figure 18. Spectres des données brutes du glissement en X et en Y pour les deux extractions.

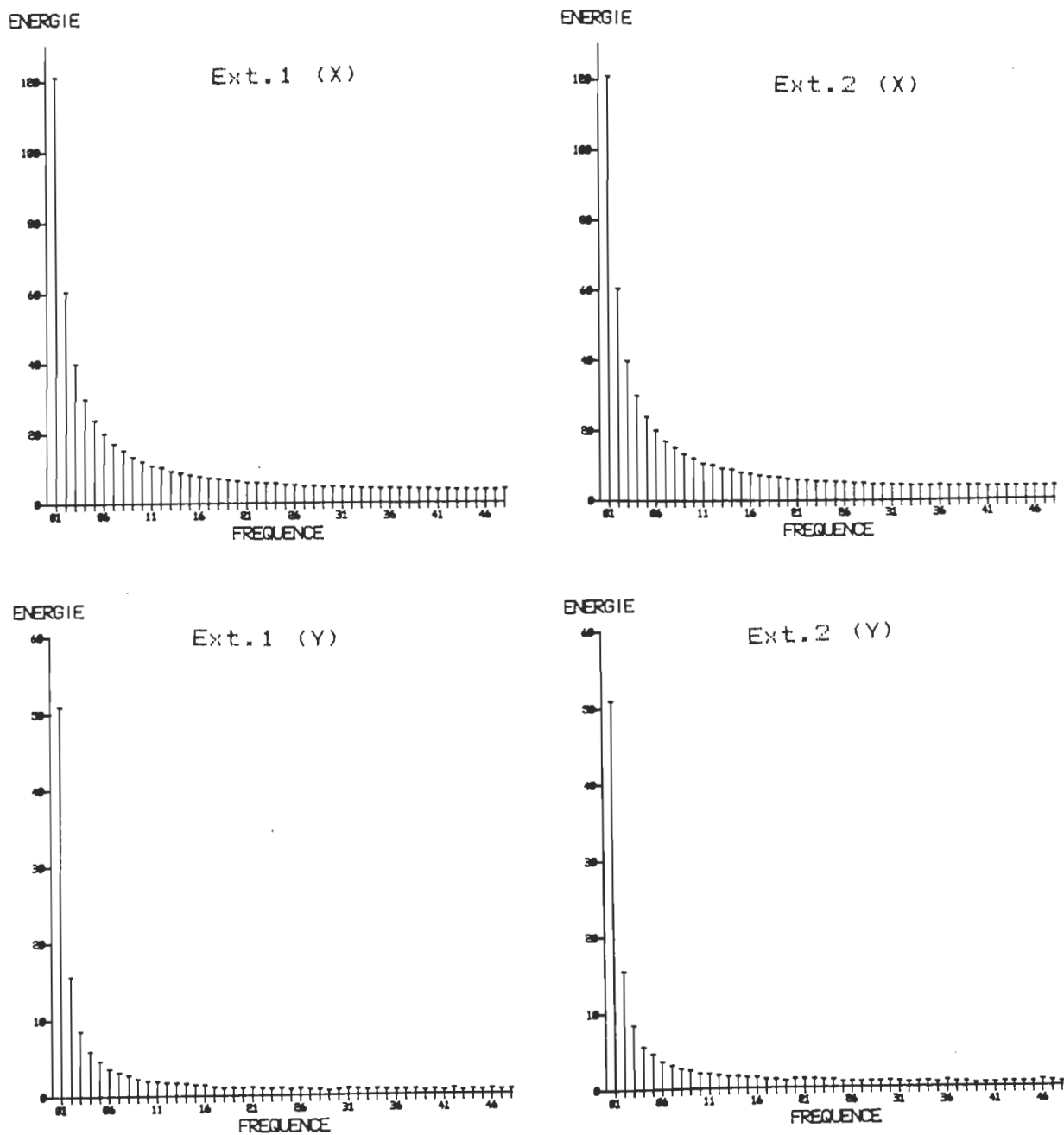


Figure 19. Spectres des données brutes de la trajectoire parabolique en X et en Y pour les deux extractions.

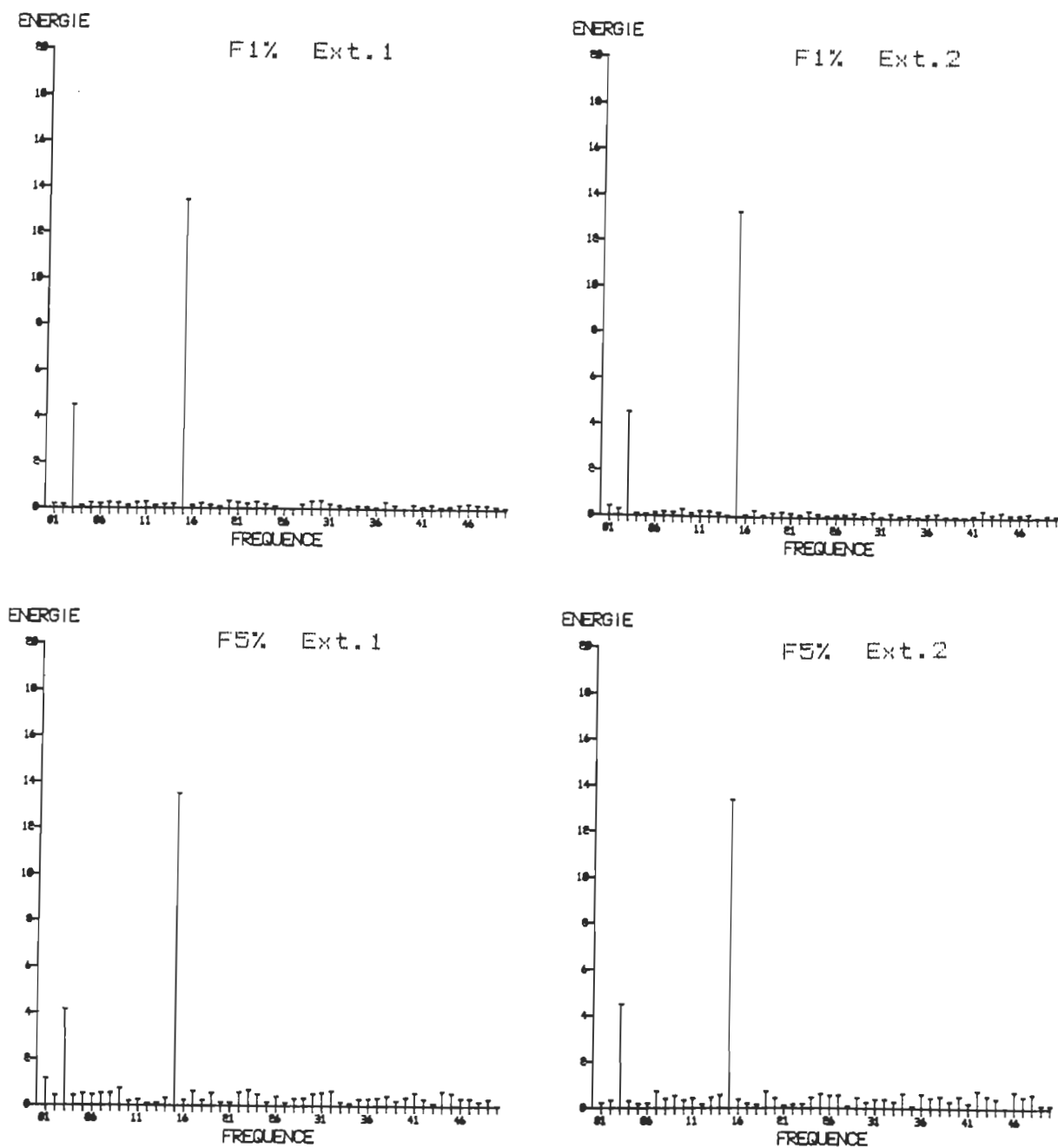


Figure 20. Spectres des données brutes des fonctions mathématiques contaminées, 1% et 5% pour les deux extractions.

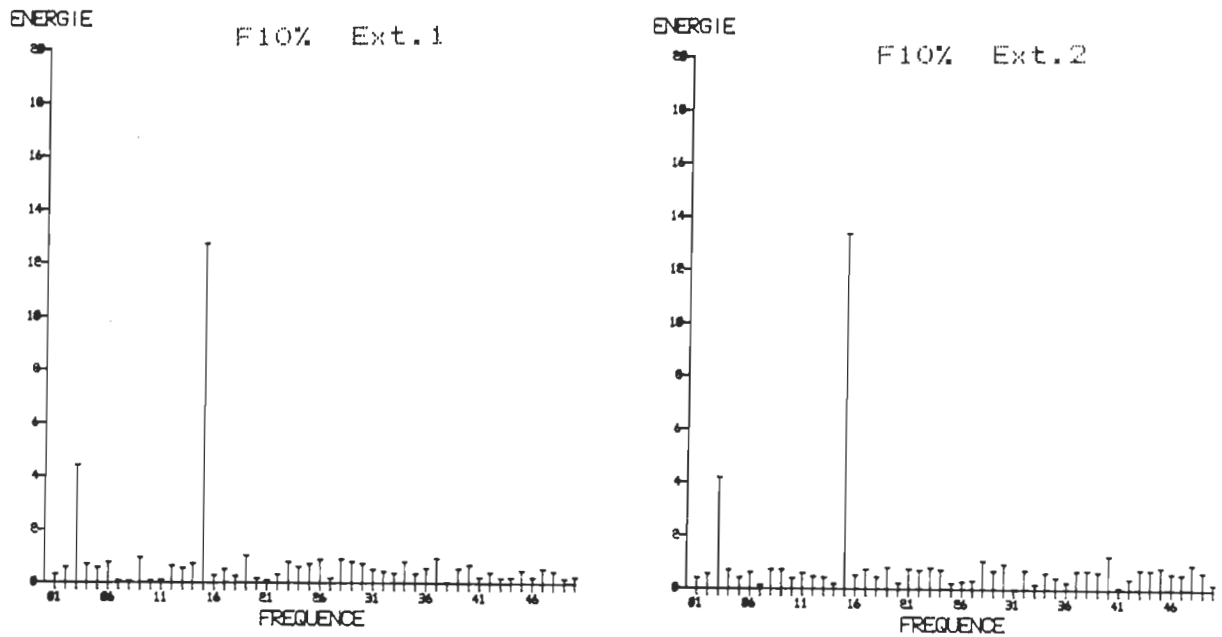


Figure 21. Spectres des données brutes de la fonction mathématique contaminée 10% pour les deux extractions.

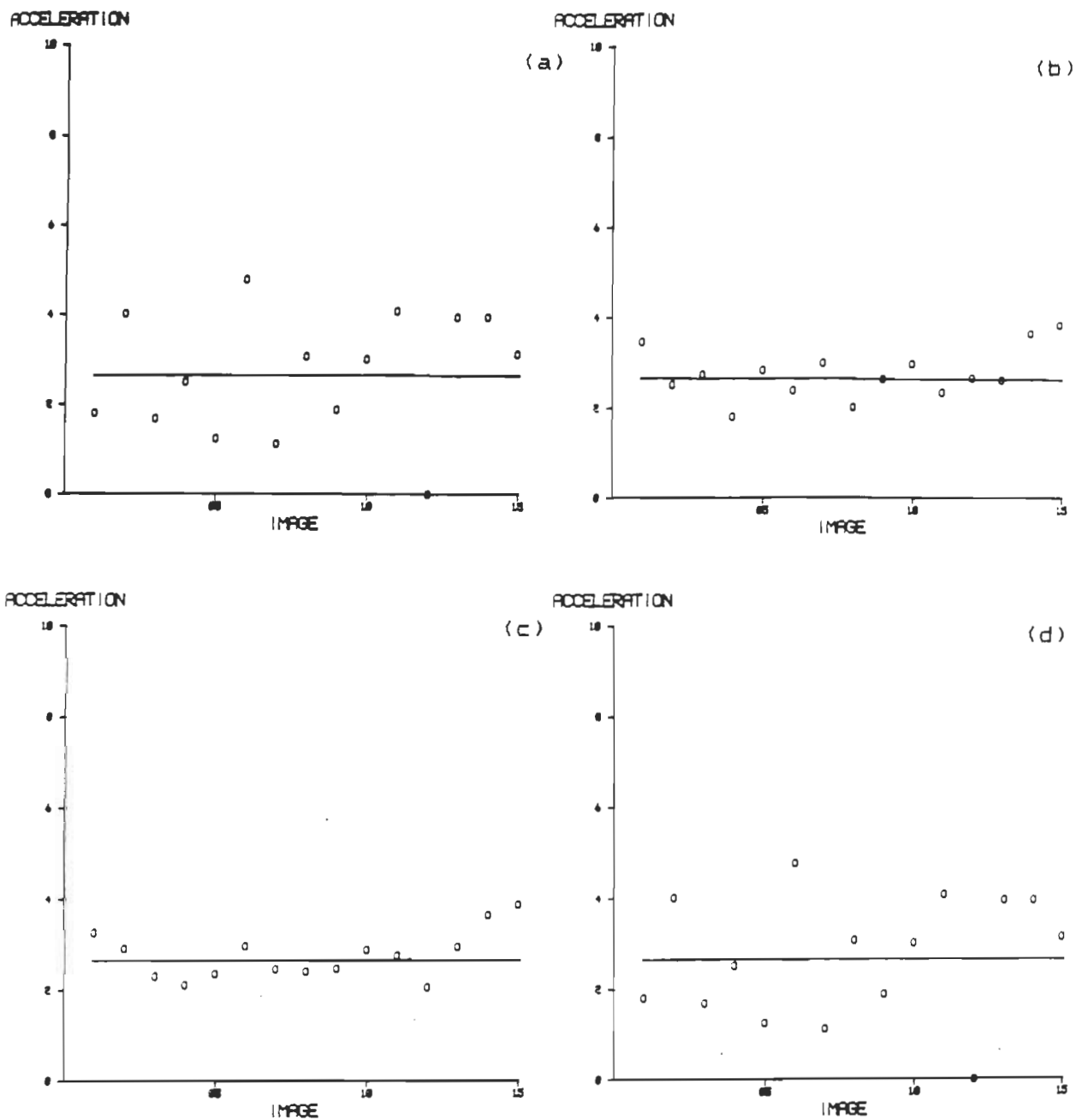


Figure 22. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la chute libre en Y versus l'accélération théorique (ligne continue). (Les valeurs en ordonnée des figures 22 à 31 sont exprimées en unités arbitraires standardisées pour permettre une comparaison graphique, de même échelle, entre les techniques illustrées.)

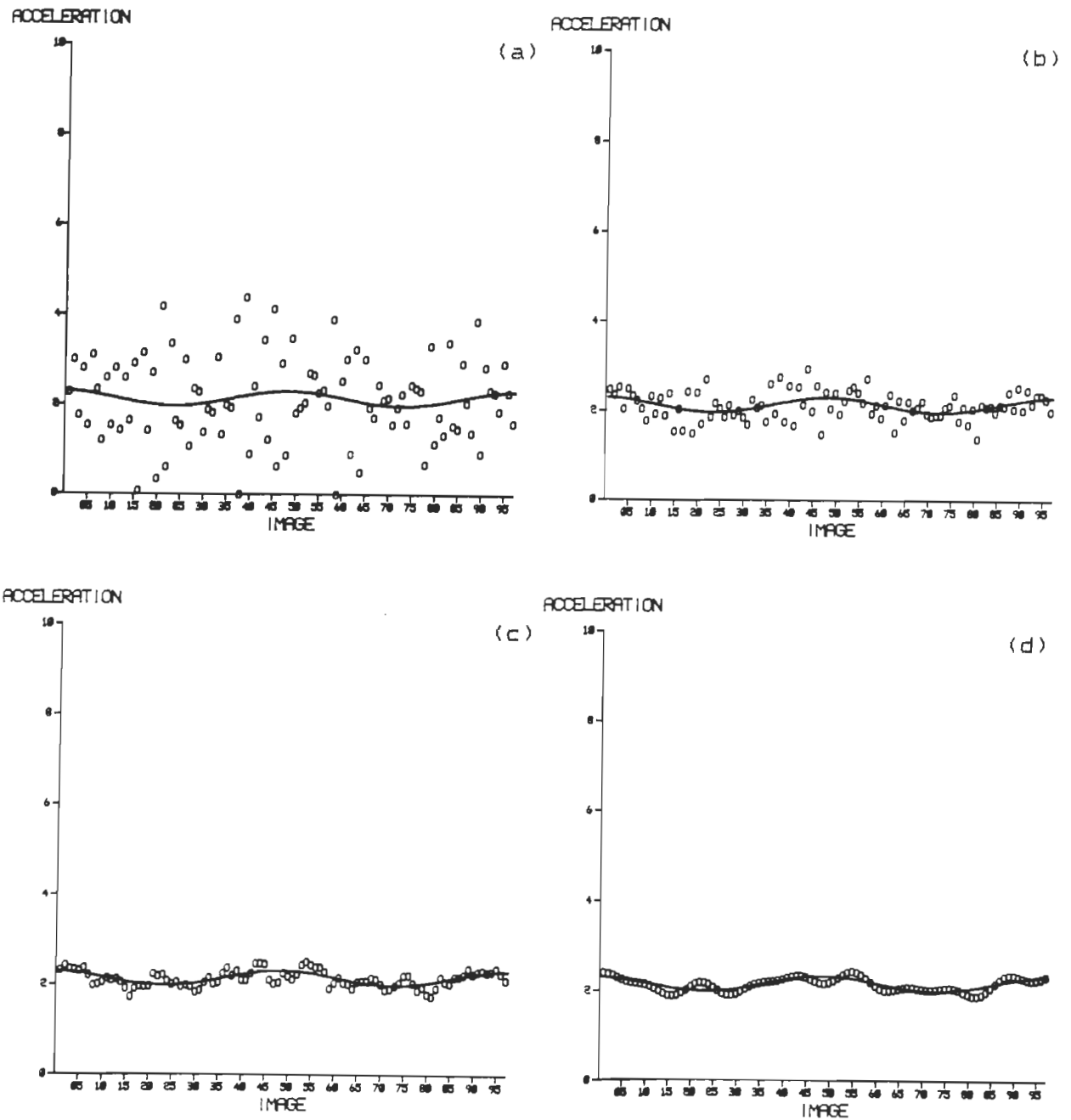


Figure 23. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée du glissement en X versus l'accélération théorique (ligne continue).

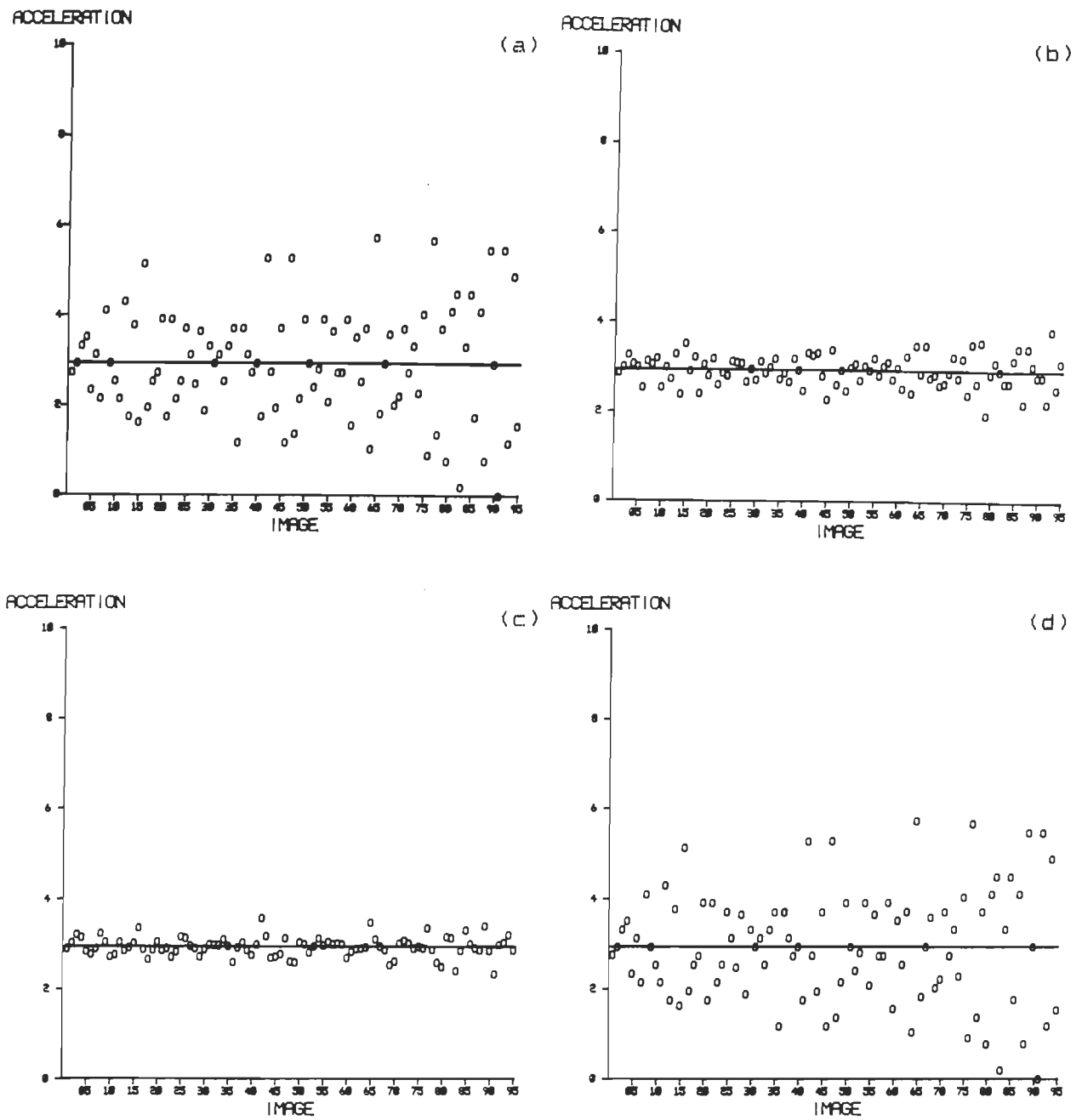


Figure 24. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la trajectoire parabolique en X versus l'accélération théorique (ligne continue).

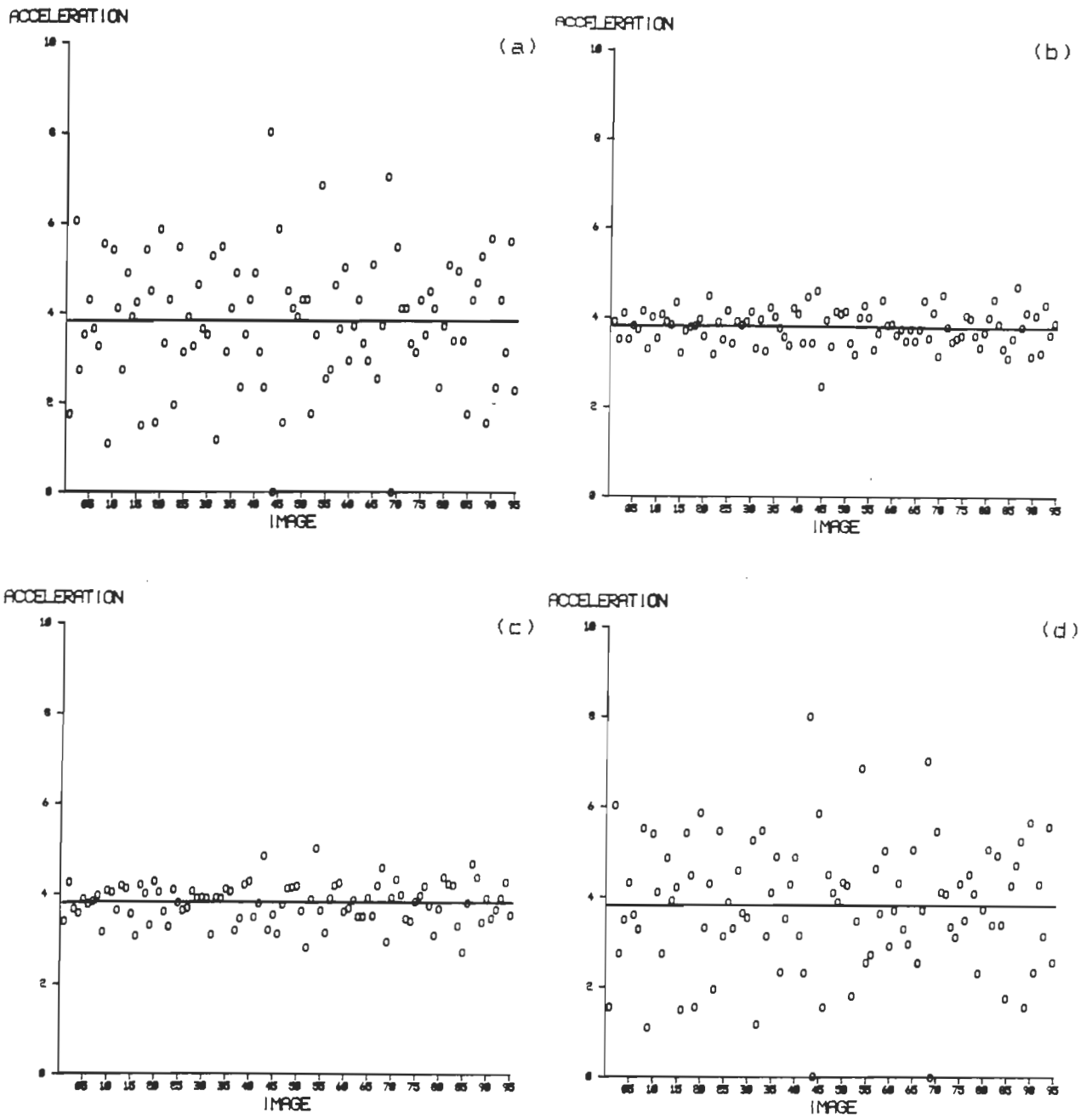


Figure 25. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la trajectoire parabolique en Y versus l'accélération théorique (ligne continue).

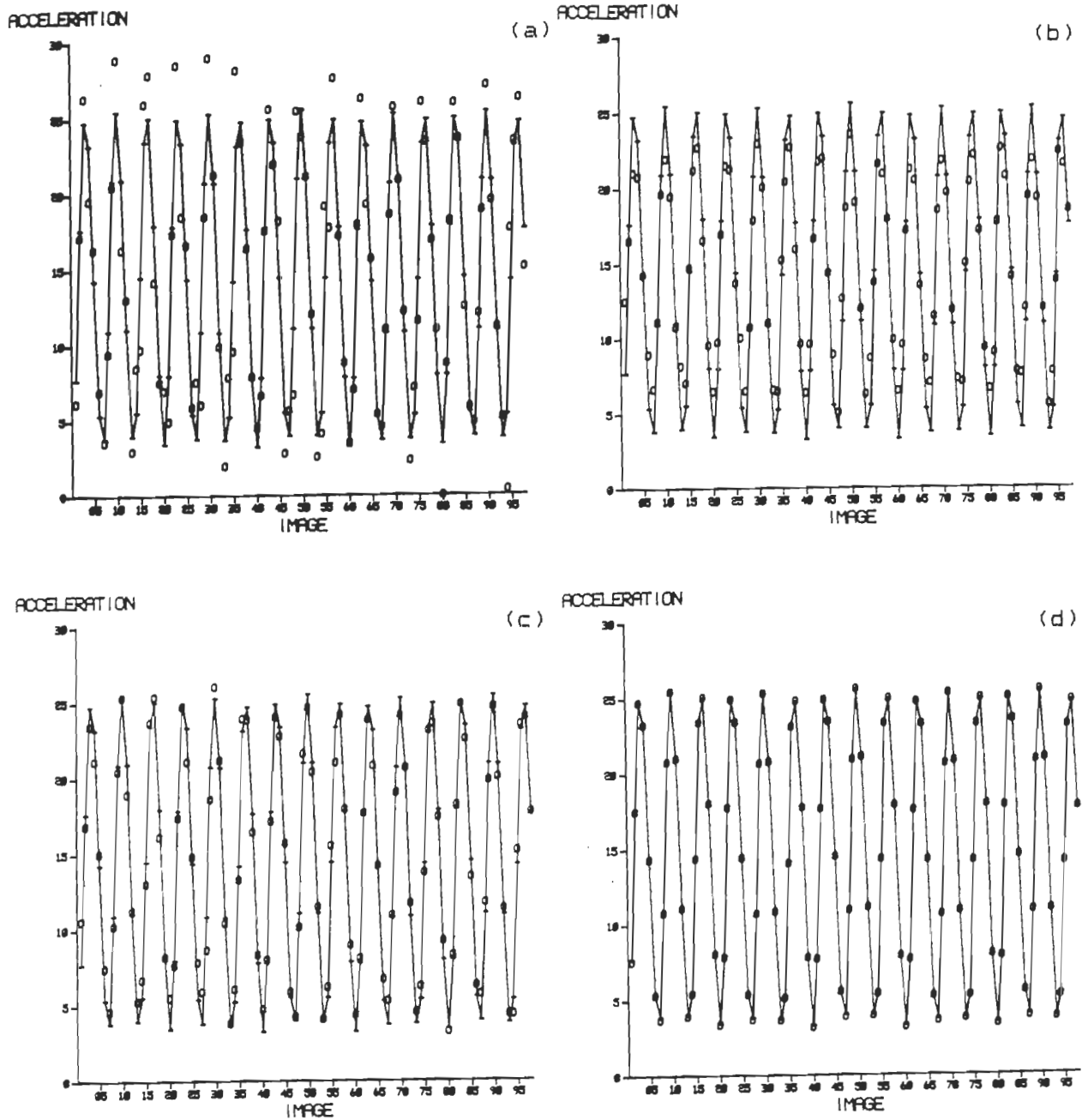


Figure 26. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 1% versus l'accélération théorique (ligne continue).

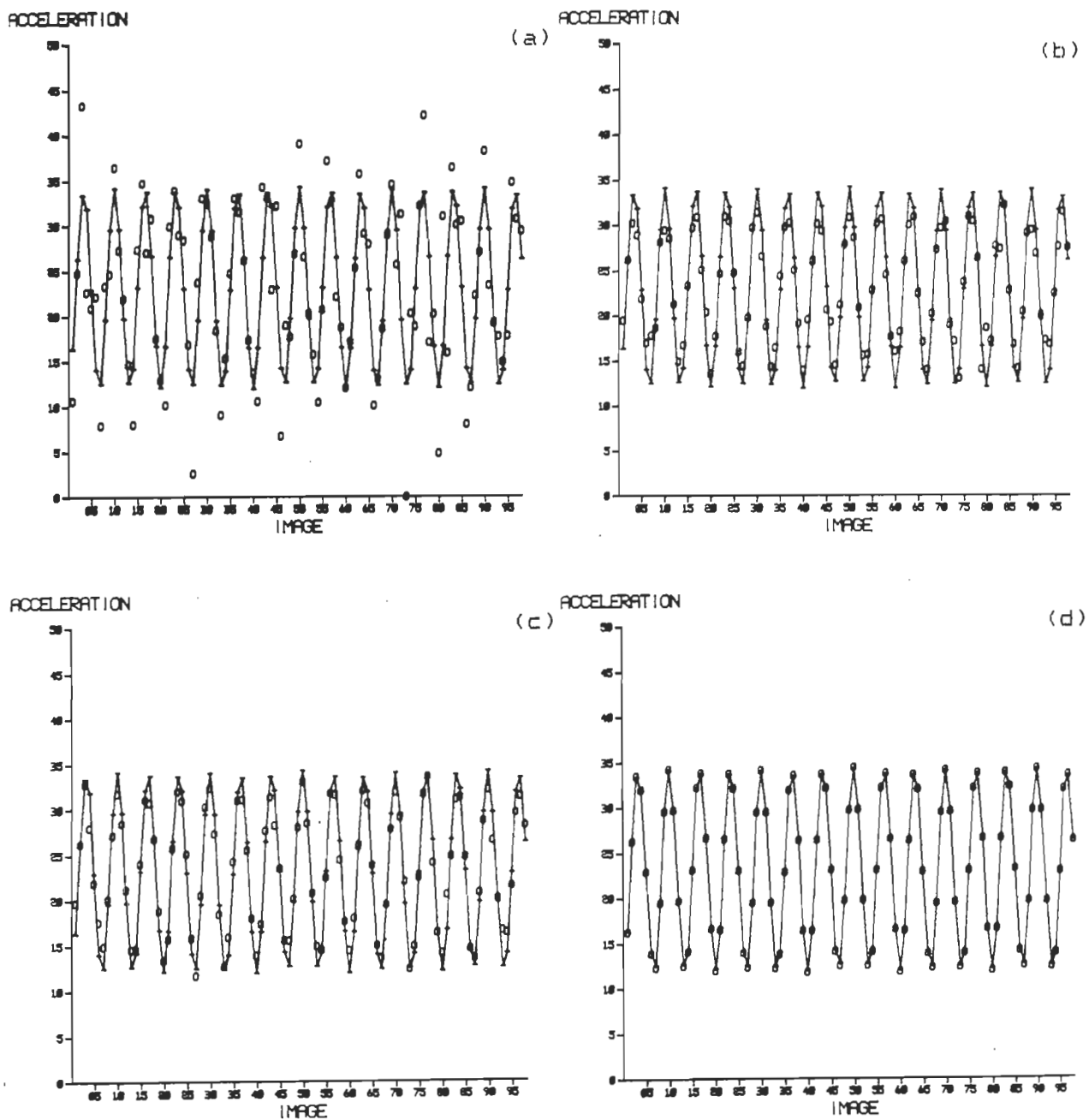


Figure 27. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 5% versus l'accélération théorique (ligne continue).

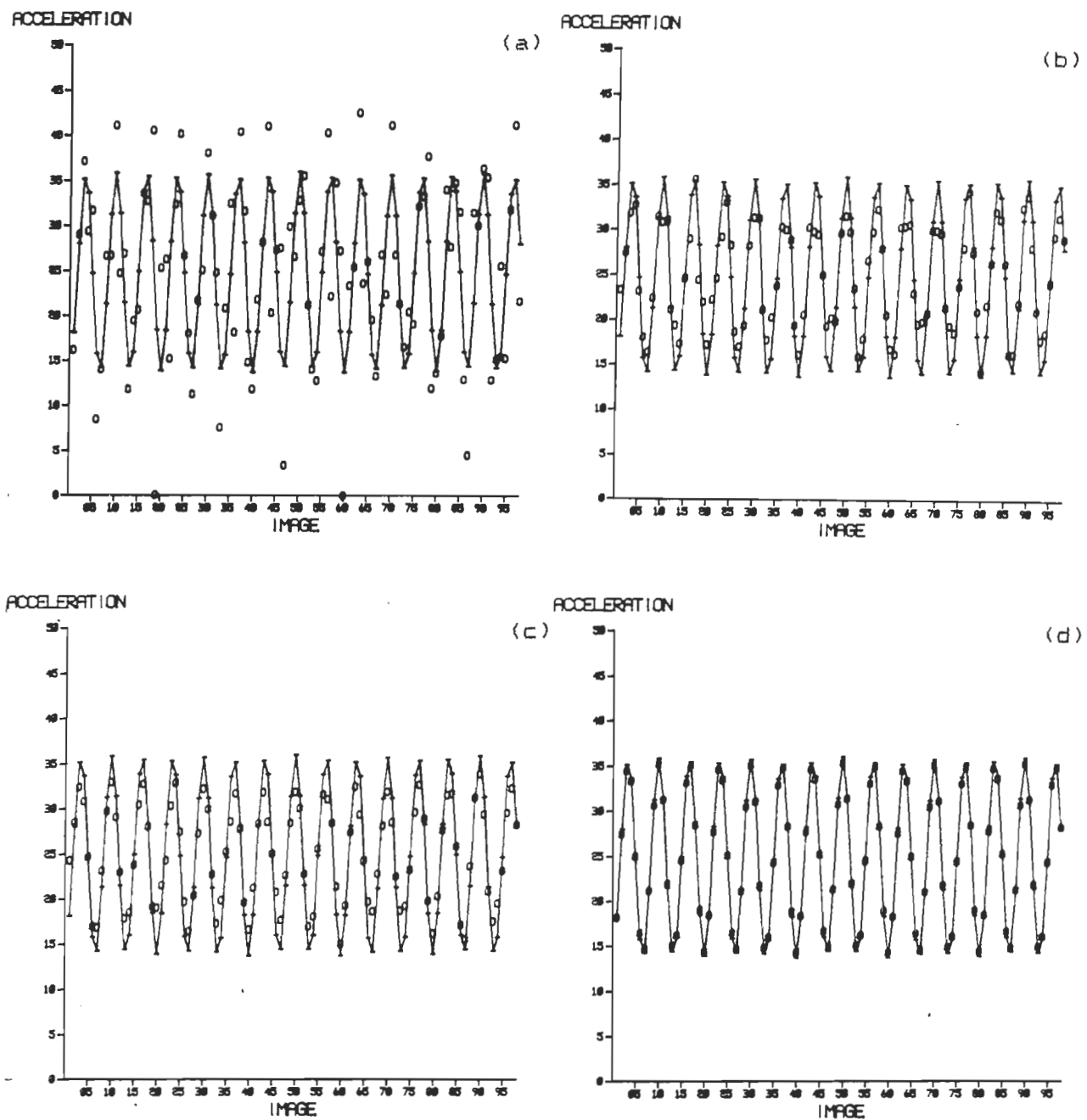


Figure 28. Accélérations (a) brute, (b) lissée, (c) splinée, (d) surfiltrée de la fonction mathématique contaminée 10% versus l'accélération théorique (ligne continue).

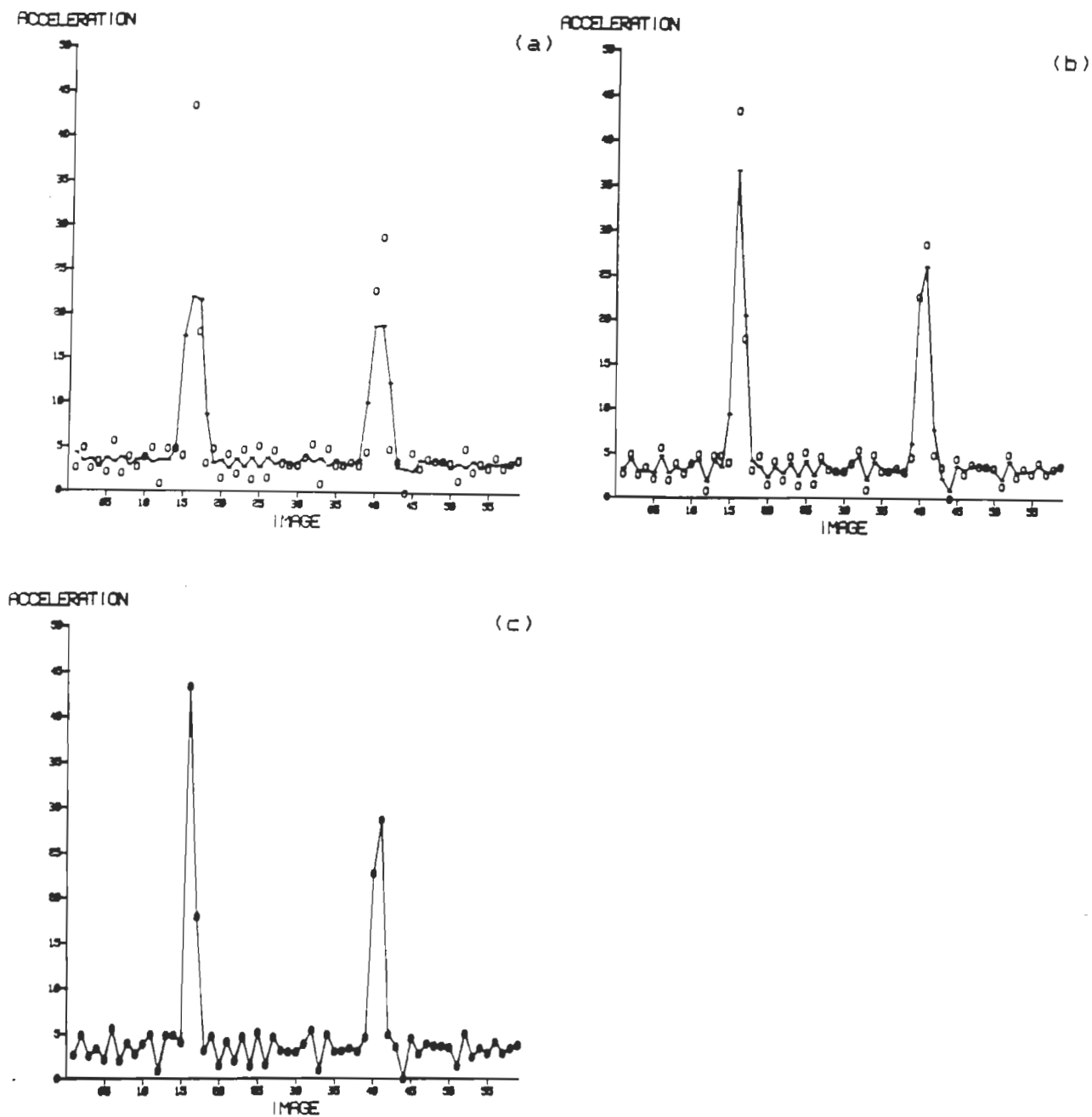


Figure 29. Accélérations (a) lissée, (b) splinée, (c) surfiltrée des rebonds du ballon en Y versus l'accélération brute (en petits cercles).

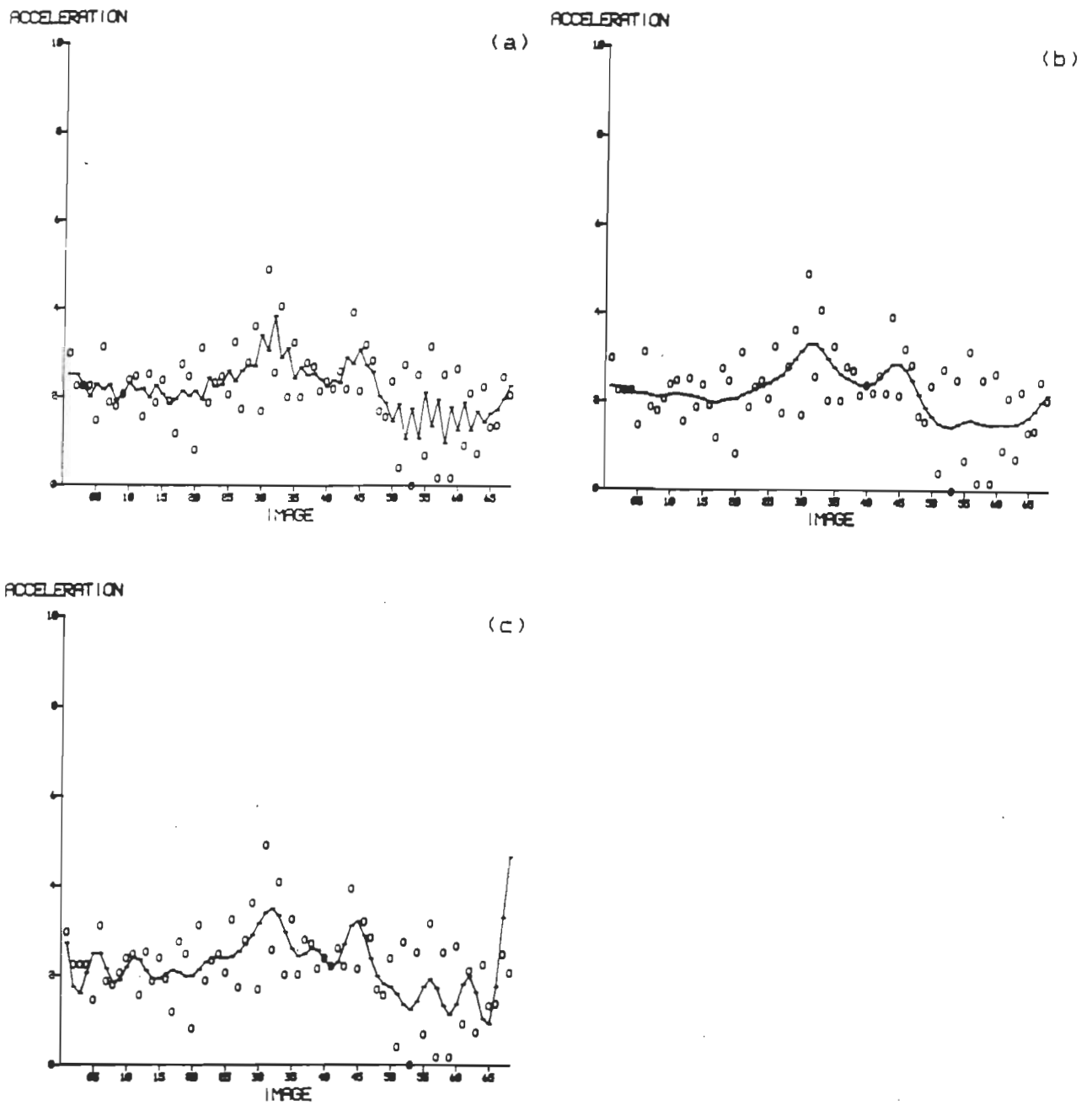


Figure 30. Accélérations (a) lissée, (b) splinée, (c) surfiltrée du saut vertical en Y versus l'accélération brute (en petits cercles).

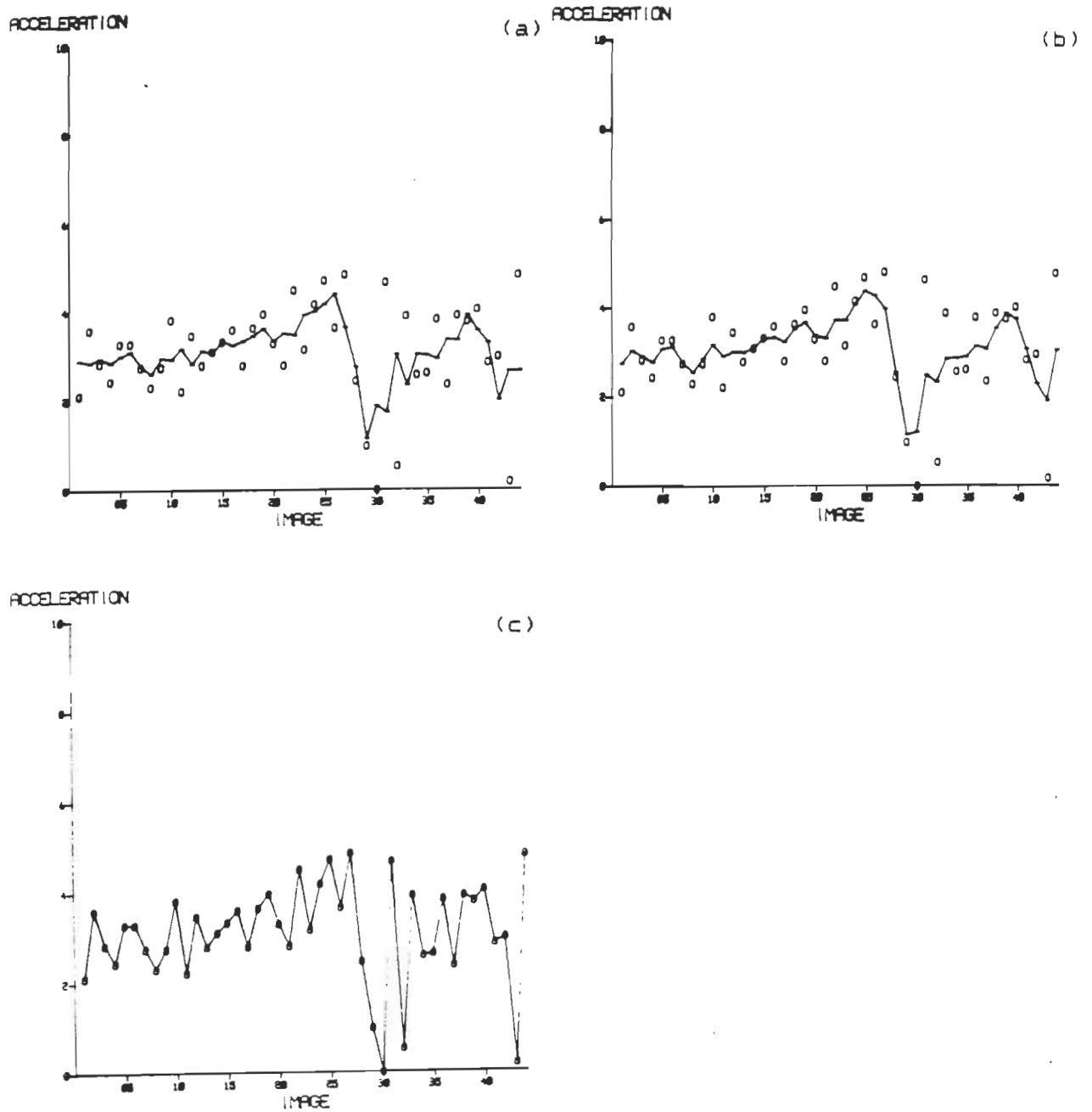


Figure 31. Accélérations (a) lissée, (b) splinée, (c) surfiltrée du saut en longueur sans élan en X versus l'accélération brute (en petits cercles).

REFERENCES

- Alexander, R. M. & Jayes, A. S. Fourier analysis of forces exerted in walking and running. Journal of Biomechanics, 1980, 13, 383-390.
- Ahlberg, J. H., Nilson, E. N. & Walsh, J. L. The theory of splines and their applications. Academic Press, New-York, 1967, 284p.
- Box, G. E. P. & Muller, M. E. A note on the generation of random normal deviates. Annals of mathematical statistics, 1958, 29, 610-611.
- Cappozzo, A. Analysis of the linear displacement of the head and trunk during walking at different speeds. Journal of Biomechanics, 1981, 14, 411-425.
- Dionne, L. Analyse du déplacement d'un corps dans un plan à partir d'images vidéo digitalisées. Mémoire de maîtrise inédit, U.Q.T.R., Trois-Rivières, 1984, 75p.
- Gagnon, M. & Rodrigue, D. Assesment of smoothing and differentiation methods for the determination of acceleration from film data. Canadian Journal of Applied Sports Sciences, 1978, 3, 223-228.
- Greville, T. N. E. Theory and applications of spline functions. Academic Press, New-York, 1969, 212p.
- Hatze, H. The use of optimally regularized Fourier series for estimating higher-order derivatives of noisy biomechanical data. Journal of Biomechanics, 1981, 14, 13-18.

- Hershey, H. C., Zakin, J. L. & Simha, R. Numerical differentiation of equally spaced and unequally spaced experimental data. Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals, 1967, 6(3), 413-421.
- Hu, A. S. Head impact rotational measurements and frequency response. Journal of Biomechanics, 1980, 13, 615-622.
- Jackson, K. M. Fitting of mathematical functions to biomechanical data. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1979, BME-26, No 2, 122-124.
- James, M. L., Smith, G. M. & Wolford, J. C. Analog and digital computer methods in engineering analysis. Scranton, Pa. : International Textbook, 1964, 457p.
- Lehmann, E. L. Non-parametrics: statistical methods based on ranks. Holden-day, San-Francisco, 1975, 457p.
- Lesh, M. D., Mansour, J. M. & Simon, S. R. A gait analysis subsystem for smoothing and differentiation of human motion data. Journal of Biomechanical Engineering, 1979, 101, 205-212.
- Lynn, P. A. Recursive digital filters for biological signals. Medecine and Biology Engineering, 1971, 9, 37-43.
- McLaughlin, T. M., Dillman, C. J. & Lardner, T. J. Biomechanical analysis with cubic spline functions. The Research Quaterly, 1977, 48(3), 569-582.
- Pezzack, J. C., Norman, R. W. & Winter, D. A. An assesment of derivative determining techniques used for motion analysis. Journal of Biomechanics, 1977, 10, 377-382.

- Prietsley, M. B. Spectral analysis and time series. London: Academic Press, 2 tomes, 1981.
- Proulx, Y., Dionne, L. & Laurencelle, L. COORDIPRO: un système d'analyse cinématographique sur Apple II Plus. Communication présentée au congrès de l'ACFAS, Trois-Rivières, Mai 1983.
- Willey, T. J., Ross, F. & Hunt, G. M. Computer signal processing of long duration biotelemetric brain data. Biotelemetry, 1975, 2, 329-340.
- Winter, D. A., Sidwall, H. G. & Douglas, A. H. Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion. Journal of Biomechanics, 1974, 7, 157-159.
- Wold, S. Spline functions in data analysis. Technometrics, 1974, 16(1), 1-11.
- Wood, G. A. & Jennings, L. S. On the use of spline functions for data smoothing. Journal of Biomechanics, 1979, 12, 477-479.
- Wood, G. A. Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics. Exercise and Sport Sciences Reviews. Edited by Ronald L. Terjung, State Univ. of N-Y, Syracuse, N-Y. 1982, 10, 308-362.
- Zernicke, R. F., Caldwell, G. & Roberts, E. M. Fitting biomechanical data with cubic spline functions. The Research Quarterly, 1976, 47(1), 9-19.