



Ministère
de l'Équipement,
des Transports
et du Logement



FIABILITE DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES POUR LES CALCULS D'HYDRAULIQUE

NOTE TECHNIQUE
Pierre SALOMON
novembre 2000

Centre d'Études Techniques de l'Équipement Normandie Centre

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois

CETMEF COMPIEGNE (60) INFLUENCE DE LA PRECISION DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES SUR LES CALCULS D'HYDRAULIQUE

Destinataire :

- CETMEF - COMPIEGNE..... (3ex)

A l'attention de : *Monsieur GOUTX*

NOTE TECHNIQUE

Pierre SALOMON

novembre 2000

Département "Sciences de l'Environnement"..... (1ex)

Secrétariat

Centre de Gestion "CG4"

SOMMAIRE

CANEVAS DE BASE DE L'I.G.N.	pages 5-8
IMPLANTATION DES STATIONS DE MESURES	pages 9-13
LE LEVE DE DETAILS	pages 14-16
LE LEVE BATHYMETRIQUE	pages 17-23
VIEILLISSEMENT DES DONNEES	pages 24-28
EXPERIMENTATION	pages 29-71
PRECAUTIONS A PRENDRE ET ECUEILS A EVITER	page 72
CONCLUSION	page 73

Le Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (C.E.T.M.E.F.) a demandé au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de BLOIS la rédaction d'un document sur les levés topographiques et bathymétriques destinés aux calculs d'hydraulique.

Cette étude aborde à partir de l'expérience acquise les points suivants :

- ***le canevas de base de l'Institut Géographique National (I.G.N.)***
- ***l'implantation des stations de mesure***
- ***le levé de détails***
- ***le levé bathymétrique***
- ***le vieillissement des données (hors travaux).***

Une expérimentation en topographie sur un profil du lit majeur à occupation du sol diversifiée avec trois levés par trois personnes et à des saisons différentes a été menée.

Les précautions à prendre et les écueils à éviter dans ces travaux de levé sont mis en évidence.

808080

CANEVAS DE BASE DE L'I.G.N.

LA FORME DE LA TERRE

La géodésie est une science qui s'attache à décrire la forme de la terre. La surface mathématique la plus proche est celle d'un ellipsoïde de révolution: sphère aplatie aux pôles. Cette surface permet de traiter la représentation planimétrique de la surface de la terre en la transformant en surface plane.

La prise en compte du relief nécessite l'introduction d'une autre surface. Cette surface n'est pas d'une forme mathématique simple : c'est le géoïde qui permet de traduire l'altitude par une mesure de distance.

L'ellipsoïde retenu en France est l'ellipsoïde de Clark 1880 tangent à Paris au géoïde.

LES SYSTEMES DE REFERENCE PLANIMETRIQUE

↳ LE REFERENTIEL GEODESIQUE

C'est un repère comprenant trois axes orthogonaux. L'origine est proche du centre des masses de la terre, l'un des axes est proche de l'axe des pôles, un autre est proche du plan du méridien de Greenwich.

↳ LES COORDONNEES GEOGRAPHIQUES

L'association de l'ellipsoïde géodésique et du référentiel géodésique permet de définir la position d'un point dans l'espace. Cette position est déterminée par des coordonnées tridimensionnelles géographiques : longitude (λ), latitude (φ), distance (h). Cette distance n'est pas l'altitude puisque l'ellipsoïde ne coïncide pas avec le géoïde.

LES RESEAUX GEODESIQUES

Lors d'un levé de terrain les données descriptives d'un lieu sont rattachées par leurs coordonnées de localisation au référentiel géodésique.

Pour cela un canevas de points de référence sur l'ensemble du territoire est matérialisé. Leurs coordonnées sont calculées avec précision et cohérence.

La planimétrie est définie par le réseau géodésique.

LES SYSTEMES DE PROJECTION CARTOGRAPHIQUES

L'ellipsoïde n'est pas développable sur un plan. La projection cartographique est une transformation mathématique qui fait correspondre un point de l'ellipsoïde géodésique à un point d'un plan. Cette transformation introduit nécessairement des déformations.

Les points de l'ellipsoïde sont déterminés par les coordonnées géographiques λ et φ (longitude et latitude). Leurs valeurs transformées dans le plan sont des coordonnées rectangulaires x et y .

$$x = f(l, j) \text{ et } y = g(l, j)$$

LES TYPES DE PROJECTION

↳ LES PROJECTIONS EQUIVALENTES

Elles conservent les aires, altèrent les longueurs et les angles.

↳ LES PROJECTIONS CONFORMES

Elles conservent les angles et sont utilisées tant en géodésie qu'en topographie. Elles ne peuvent conserver les longueurs sur tout le domaine représenté.

Le système de projection utilisé en France est le système Lambert.

↳ LA PROJECTION LAMBERT

La représentation Lambert est une projection sur un cône tangent à l'ellipsoïde le long d'un parallèle de latitude φ_0 appelé parallèle d'origine. Le méridien d'origine est celui de Paris. Le cône est développé sur un plan sans déformation. Les méridiens de l'ellipsoïde sont représentés par des droites concourantes, génératrices du cône ; les parallèles sont des cercles concentriques.

Alors l'axe des X représente la droite tangente au parallèle d'origine et l'axe des Y est l'image du méridien origine.

Ce système de projection est défini pour minimiser l'altération de longueur. En métropole pour les cartes au 1: 25000 quatre cônes différents sont développés pour limiter ces altérations. Ils sont nommés Lambert I (Nord), II (Centre), III (Sud) et IV (Corse). Pour les échelles plus petites un seul système central est adopté, le système Lambert 2 étendu.

Pour éviter les coordonnées négatives, on translate le point origine en X et en Y.

Pour reconnaître la zone Lambert utilisée, le chiffre de la zone Lambert de la carte est ajouté devant les ordonnées. Ces systèmes de projections sont appelés Lambert carto.

Ainsi le système de projection Lambert 2 carto est identique au système Lambert 2 étendu.

LE SYSTEME DE PROJECTION ACTUEL

L'actuel arrêté en vigueur date de 1948. Il impose comme système la Nouvelle Triangulation de la France (N.T.F.). Elle a été élaborée de 1898 à 1991 par l'Institut Géographique National (I.G.N.) grâce à des méthodes classiques. Les coordonnées géographiques sont définies en grades et les projections sont la projection Lambert en 4 zones. La précision est estimée à 1cm/km.

EVOLUTION

La géodésie s'est ouverte aux techniques spatiales avec un rattachement des systèmes locaux de référence aux systèmes globaux. Le système World Geodetic System 1984 (W.G.S. 84) a été mis au point par le département de la défense des Etats Unis. Le nouveau système de référence géodésique français associé est le R.G.F. 93. La nouvelle projection est le Lambert 93.

LES SYSTEMES DE REFERENCE ALTIMETRIQUES

LE REFERENTIEL

Le géoïde est la surface de référence qui permet d'assimiler l'altitude à une distance. Cette surface est définie par la mesure de la pesanteur, résultante de l'attraction et de l'accélération centrifuge due à la rotation de la terre. C'est une surface équipotentielle. Elle a été choisie telle que la surface des mers, supposées prolongées sous les terres émergées en soit une approximation. L'influence du relief, des variations de densité, de phénomènes océaniques fait que la surface du géoïde est irrégulière et ne se confond pas avec un ellipsoïde de révolution. Alors la verticale, direction de la pesanteur ne correspond pas à la normale à l'ellipsoïde et plusieurs types d'altitude peuvent être définis (orthométrique, normale ou dynamique).

L'ellipsoïde de Clark 1880 et le géoïde sont tangents à Paris.

↳ LES GRANDEURS A PRENDRE EN COMPTE

- L'altitude est l'éloignement entre la surface terrestre et le géoïde.
- La hauteur ellipsoïdale est la distance entre le géoïde et l'ellipsoïde.

↳ LES SYSTEMES DE REFERENCE

- Le système de Bourdaloue.
- Le Nivellement Général de la France (N.G.F.).
- L'I.G.N. 1969.
- L'I.G.N. 1978 utilisé en Corse.

LE NIVELLEMENT GENERAL DE LA FRANCE

Le premier nivellement général de la France a été exécuté de 1855 à 1864 sous la direction de Monsieur Bourdaloue. Le « Zéro Bourdaloue » est matérialisé par le trait 0.40 m de l'échelle des marées du Fort Saint-Jean à Marseille. Les repères sont encore utilisés, mais leurs altitudes ont été actualisées.

Le second nivellement dit Lallemand ou orthométrique a été effectué de 1884 à 1927 Le zéro de ce réseau est à la cote 0.329 m de l'échelle de Marseille. Ce « Zéro Lallemand » est donc 71 mm sous le « Zéro Bourdaloue ».

Le troisième nivellement I.G.N. 69 ou Normal a été exécuté de 1962 à 1969. Il a la même origine que le nivellement orthométrique. Les altitudes « normales » sont basées sur la pesanteur réelle et non sur la pesanteur théorique comme les altitudes orthométriques . Il y a des différences importantes au plan national (environ 60 cm de basculement du Nord-Ouest au sud-est de la France) entre les altitudes orthométriques et normales.

$$Z_N = Z_0 + \Delta_z$$

LE SYSTEME DE NIVELLEMENT ACTUEL

Le système de référence de nivellement utilisé actuellement est l'I.G.N. 1969

§§§§§

IMPLANTATION DES STATIONS DE MESURES

SYSTEME TERRESTRE

↳ RATTACHEMENT AU RESEAU PLANIMETRIQUE N.T.F.

Il faut :

- définir la zone de travail
- rechercher les points du canevas de la N.T.F. concernés dans les répertoires de l'I.G.N. ;
- rechercher les points du canevas de la N.T.F. concernés sur le terrain ;
- implanter les repères de stations de mesures ;
- effectuer les observations de topographie classique : triangulation, trilatération, polygonaion, ...

↳ RATTACHEMENT AU RESEAU ALTIMETRIQUE I.G.N. 1969

Il faut :

- définir la zone de travail ;
- rechercher les points du réseau I.G.N. 1969 concernés dans les répertoires ;
- rechercher les points du réseau I.G.N. 1969 concernés sur le terrain ;
- Effectuer les observations de topographie classique : nivellement direct ou géométrique, nivellement indirect (mesure de pentes et de distances), nivellement géodésique (indirect à longues portées).

↳ PRECAUTIONS

Dans la mesure du possible il est recommandé dans ces opérations d'utiliser plusieurs repères. Ce procédé permet de contrôler et éventuellement de déceler une imprécision sur un repère.

↳ PRECISION ET TOLERANCES

Les travaux doivent satisfaire aux tolérances fixées par l'arrêté du 21 janvier 1980

CALCULS

Les calculs sont ceux de la topographie classique. Les écarts de fermeture des observations constatés et inférieurs aux tolérances conduisent à des compensations dont le résultat est appliqué à la détermination de chaque point implanté.

STATIONS DE MESURES

Un tableau récapitulatif des stations de mesures et des croquis de repérage permet de déterminer leur implantation exacte.

GLOBAL POSITIONING SYSTEM (UTILISATION DU D.G.P.S)

RATTACHEMENT AU RESEAU PLANIMETRIQUE N.T.F. ET ALTIMETRIQUE I.G.N. 1969

Il faut :

- définir la zone de travail ;
- rechercher les points du canevas de la N.T.F. et les points du réseau I.G.N. 1969 concernés dans les répertoires de l'I.G.N. ;
- rechercher les points du canevas de la N.T.F. et les points du réseau I.G.N. 1969 concernés sur le terrain ;
- mettre la station fixe du G.P.S. sur le point connu retenu ;
- implanter les repères de stations de mesures ;
- effectuer les mesures de coordonnées de position des stations par D.G.P.S. avec la station mobile.

PRECAUTIONS

Dans la mesure du possible il est recommandé dans ces opérations de se recalcr sur plusieurs repères. Ce procédé permet de contrôler et éventuellement de déceler une imprécision sur un repère.

PRECISION ET TOLERANCES

La précision est fonction du système G.P.S. utilisé, du temps de mise en station, de la constellation des satellites, ...

CALCULS

Les observations G.P.S. sont faites en coordonnées géographiques du système W.G.S.84 et transformées dans le système de coordonnées rectangulaires de la N.T.F. - I.G.N. 69.

STATIONS DE MESURES

Un tableau récapitulatif des stations de mesures et des croquis de repérage permet de déterminer leur implantation exacte.

IMPLANTATION DES STATIONS DE MESURES

LEVE EN LIT MINEUR

L'implantation est faite sur la berge d'une manière fiable et pérenne. Elle permet l'utilisation d'un appareil de topographie pour le levé de points de détail masqués dans une campagne d'observation par G.P.S.

LEVE EN LIT MAJEUR

Pour le levé de profils en travers de vallées, l'implantation des têtes de profils est faite sur des points caractéristiques d'une manière fiable et pérenne. Ces points s'ils sont déterminés par G.P.S., ne permettent pas forcément le levé des points de détail du profil situés généralement en zone boisée. L'utilisation d'un appareil de topographie peut s'avérer nécessaire pour compléter les mesures.

PRECISIONS

Les précisions et tolérances sont celles fixées par l'arrêté du 21 janvier 1980 en ce qui concerne le système terrestre.

Avec l'utilisation du G.P.S différentiel, le vecteur joignant les deux antennes peut être calculé avec une précision de l'ordre du centimètre.

Plan d'eau de Moisson

Tableau récapitulatif des coordonnées des stations topographiques

COMPARAISON ENTRE LES MESURES TERRESTRES ET G.P.S.

STATIONS	X	Y	Z	d X	dY	dZ
1	552351.22	151440.62	15.50			
	552351.25	151440.67	15.49	0.03	0.05	-0.01
2	552723.40	151020.80	14.49			
	552723.41	151020.83	14.58	0.01	0.03	0.09
3	552113.16	151224.06	14.61			
	552113.18	151224.03	14.68	0.02	-0.03	0.07
4	552311.92	150506.59	17.27			
	552311.95	150506.64	17.34	0.03	0.05	0.07
5	551785.85	150980.30	21.50			
	551785.84	150980.32	21.58	-0.01	0.02	0.08
6	551698.29	150221.08	13.68			
	551698.40	150221.19	13.74	0.11	0.11	0.06
8	551686.83	150840.10	13.59			
	551686.76	150840.24	13.69	-0.07	0.14	0.10
9	552203.37	150410.09	14.33			
	552203.24	150410.23	14.41	-0.13	0.14	0.08
10	551283.46	150126.06	13.87			
	551283.44	150126.27	13.95	-0.02	0.21	0.08
11	551354.00	150585.31	13.97			
	551353.91	150585.44	14.01	-0.09	0.13	0.04

Plan d'eau de Moisson

Plan de situation des stations topographiques

(Planche non insérée pour cause de droits IGN)

LE LEVE DE DETAILS

Le levé de détails a pour but de mettre en évidence :

- la situation de détails naturels et artificiels ;
- la forme de détails naturels et artificiels ;
- les variations altimétriques.

Pour cela il faut effectuer un choix judicieux des points de terrain pour une représentation fidèle de la topographie.

Le levé de détails peut s'effectuer tant en méthode terrestre qu'en méthode G.P.S, en suivant un opérateur portant un prisme ou une antenne sur une canne, par :

- semis de points ;
- profil en travers ;
- profil en long.

Si le lit mineur présente une forte hauteur d'eau, un procédé d'investigation avec un sondeur est utilisé :

- écho-sondeur ;
- sondeur multifaisceaux ou surfacique.

Le levé du lit majeur est effectué à la suite.

Les profils en travers de la vallée servent à effectuer une modélisation en vue de réaliser une simulation d'écoulement. Des stations de mesures, définies précédemment par l'acquisition des distances entre les points du terrain affectés de leurs altitudes, on obtient une coupe verticale du terrain. Dans la majorité des cas, la végétation crée des masques. Il faut mesurer des points intermédiaires calculés de la même manière. Ce sont des points pour lesquels il peut subsister des erreurs éventuelles incontrôlables.

REALISATION

↳ OPERATION EN LIT MINEUR

- les points sont espacés lorsque le fond est peu accidenté ;
- si l'écart d'altitude entre deux points consécutifs est important, les points sont rapprochés ;
- le niveau d'eau sera levé ainsi que le jour et l'heure ;
- les caractéristiques des ouvrages sont levées.

↳ OPERATION EN LIT MAJEUR

- les points sont espacés lorsque le relief est peu accidenté ;
- si l'écart d'altitude entre deux points consécutifs est important, les points sont rapprochés ;
- Les points singuliers sont levés ;
- l'occupation du sol et la toponymie sont notées.

↳ PRECISION

Les travaux en levé terrestre doivent satisfaire aux tolérances fixées par l'arrêté du 21 janvier 1980. La précision est de l'ordre de :

en lit mineur :

- + ou – 10 cm en altitude et + ou – 50 cm en planimétrie en section courante
- + ou – 1 cm pour les ouvrages

en lit majeur :

- + ou – 10 cm en altitude et + ou – 50 cm en planimétrie en terrain naturel
- + ou – 1 cm pour les ouvrages

↳ OBSERVATIONS

La pérennité des repères matérialisant les stations de mesures n'est pas toujours vérifiée. Le contrôle des coordonnées de ces points est à assurer lors de chaque campagne de levé.

Les systèmes de coordonnées changent suite à l'évolution des matériels d'observation des systèmes terrestres aux systèmes globaux. Les paramètres utilisés dans les calculs de transformation de coordonnées d'un système à l'autre peuvent créer des écarts de détermination des stations de mesures.

Lors du levé de détail la forme du terrain naturel et la densité des points d'acquisition est livrée à l'interprétation de l'opérateur.

Dans le lit mineur en eau, les mesures de bathymétrie peuvent être influencées par :

- la fréquence du sondeur utilisé ;
- la nature du fond ;
- la période du levé (à l'étiage, en crue, ...).

Les mesures de bathymétrie peuvent avoir un effet aveugle. Par exemple le déplacement de quelques mètres d'un profil peut créer des différences importantes de par la mise en évidence d'un haut fond par rapport à la présence d'un affouillement situé directement à l'aval.

END

LE LEVE BATHYMETRIQUE

LA FREQUENCE DES SONDEURS

Pour mesurer les hauteurs d'eau le transducteur du sondeur émet des ultrasons que le fond réfléchit.

Une émission de fréquence de 33 kHz permet une pénétration des vases en suspension et crèmes de vase. Elle permet d'atteindre le fond « solide ». Une émission à 200 kHz a un faisceau plus étroit ; elle ne peut traverser un bouchon vaseux, des vases en suspension, un fond vaseux.

LA NATURE DU FOND

Le fond peut être vaseux ou couvert de végétation donc absorbant pour les ultrasons. Il peut être à l'inverse fortement réfléchissant et donner des doubles échos. Les hauteurs d'eau mesurées sont donc fausses.

LA PERIODE DU LEVE

Des conditions hydrauliques particulières font varier les cotes de fond, notamment l'évolution des débits (étiage, crue, pointe de crue, décrue, ...).

Pour exemple, quatre levés ont été effectués sur la même zone, le premier en 1994, puis en février 2000 pendant une crue, ensuite en mars 2000 à la décrue. Ils ont mis en évidence un phénomène d'érosion, et un phénomène de sédimentation. La différence atteint 3 m (voir profil en annexe : zone « Le Saut »).

L'EFFET « AVEUGLE »

Cet effet « aveugle » des mesures de bathymétrie peut faire passer à côté des anomalies du fond. Un profil déplacé de quelques mètres peut être totalement différent. Des anomalies restent parfois inaperçues (haut fond, fosse, affouillement, radier, vestiges de démolition de pont, ...).

Pour exemples :

- un levé par semis de point à mis en évidence une «marche » de près de 1.50 m de hauteur perpendiculaire au lit de la Loire. Des profils isolés ne montrent pas ce phénomène (voir profils et plan de situation en annexe) ;
- un levé par semis de point à mis en évidence une fosse à l'aval du vieux pont de Chinon sur le bras rive droite. Des profils isolés ne donnent pas les caractéristiques de ses dimensions (voir profils et plan de situation en annexe).

808080

DIGUES DE LA LOIRE

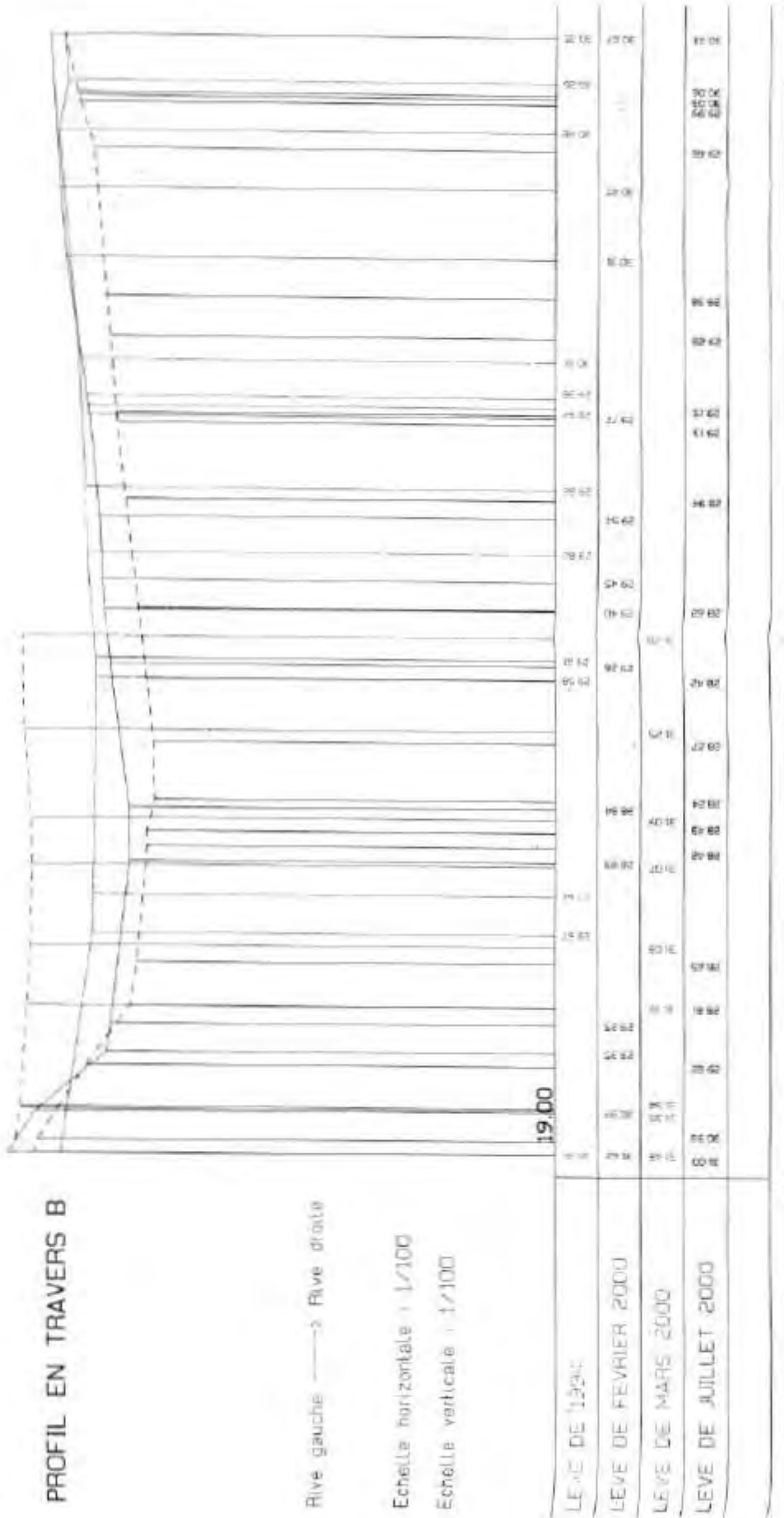
ZONE LE SAUT

PROFIL EN TRAVERS B

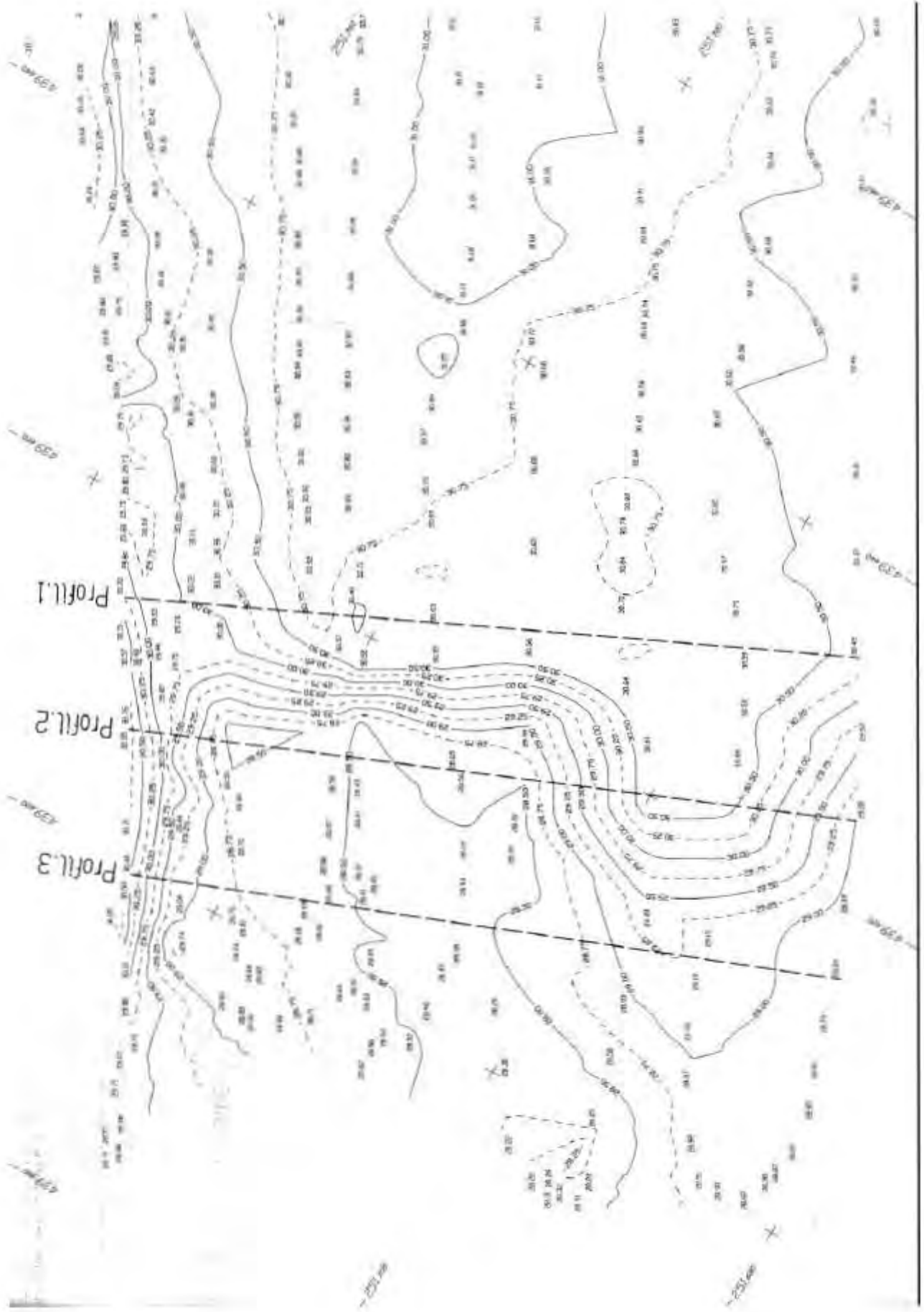
Rive gauche → Rive droite

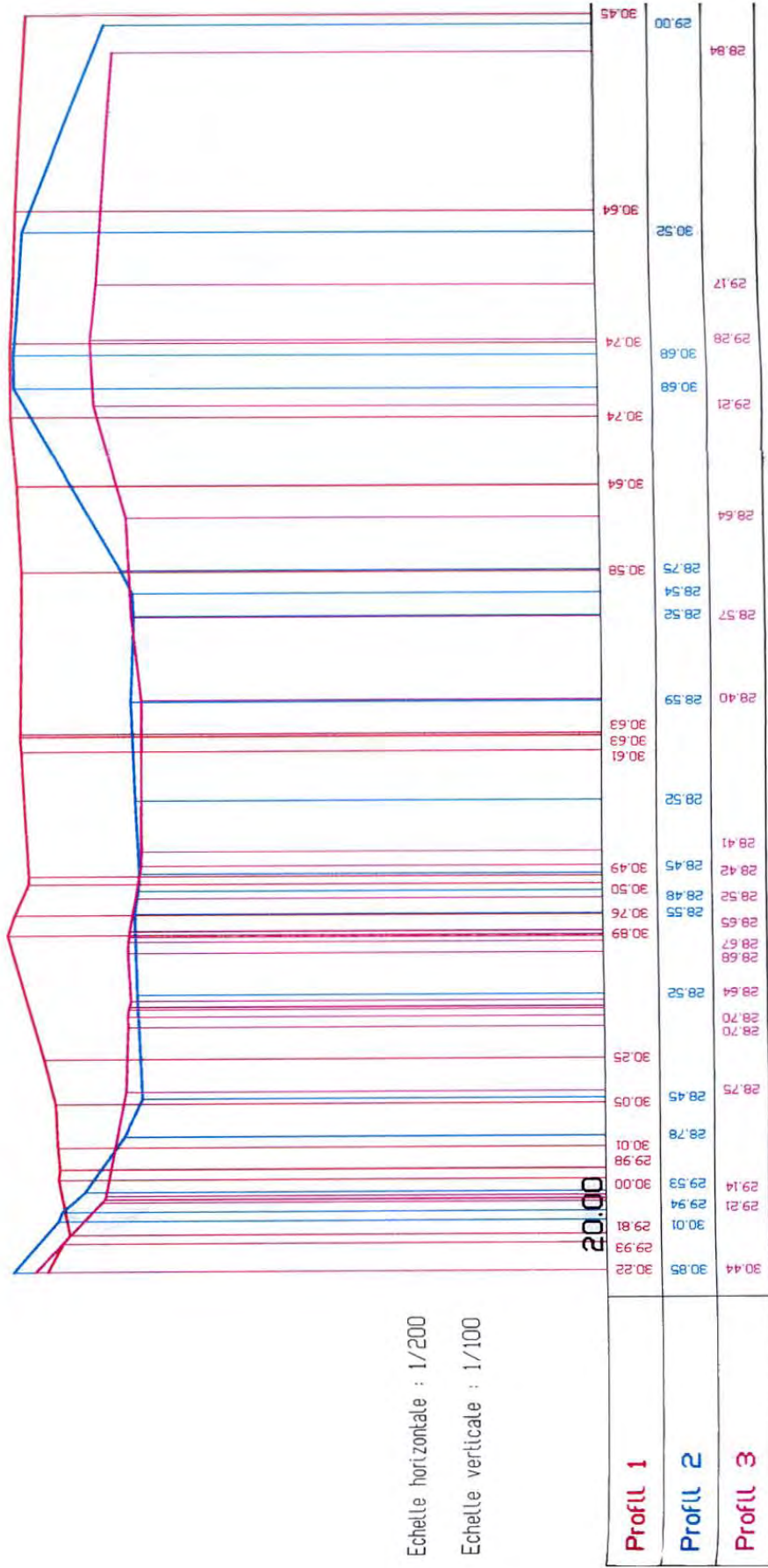
Echelle horizontale : 1/100

Echelle verticale : 1/100

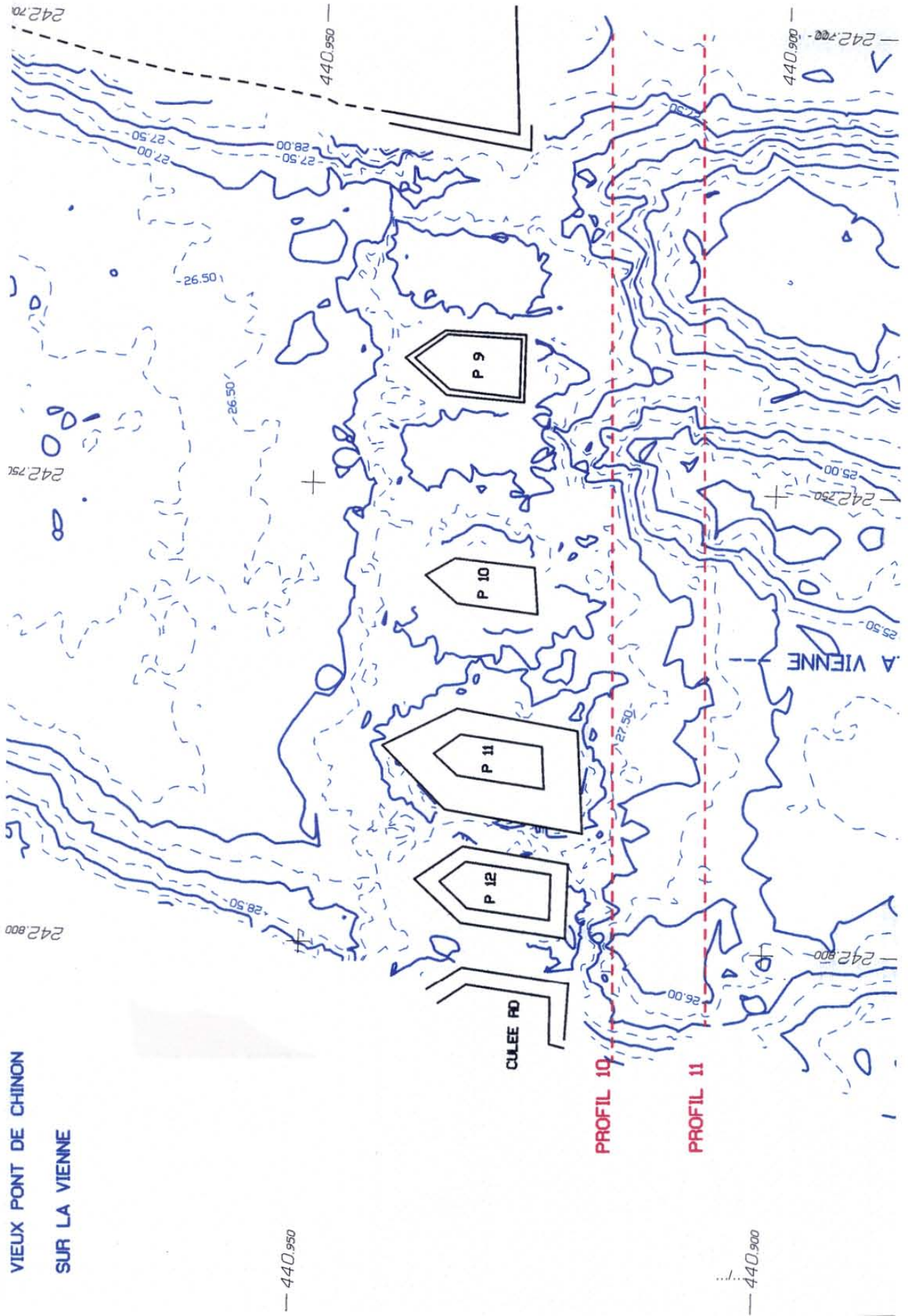


.../...





VIEUX PONT DE CHINON
SUR LA VIENNE

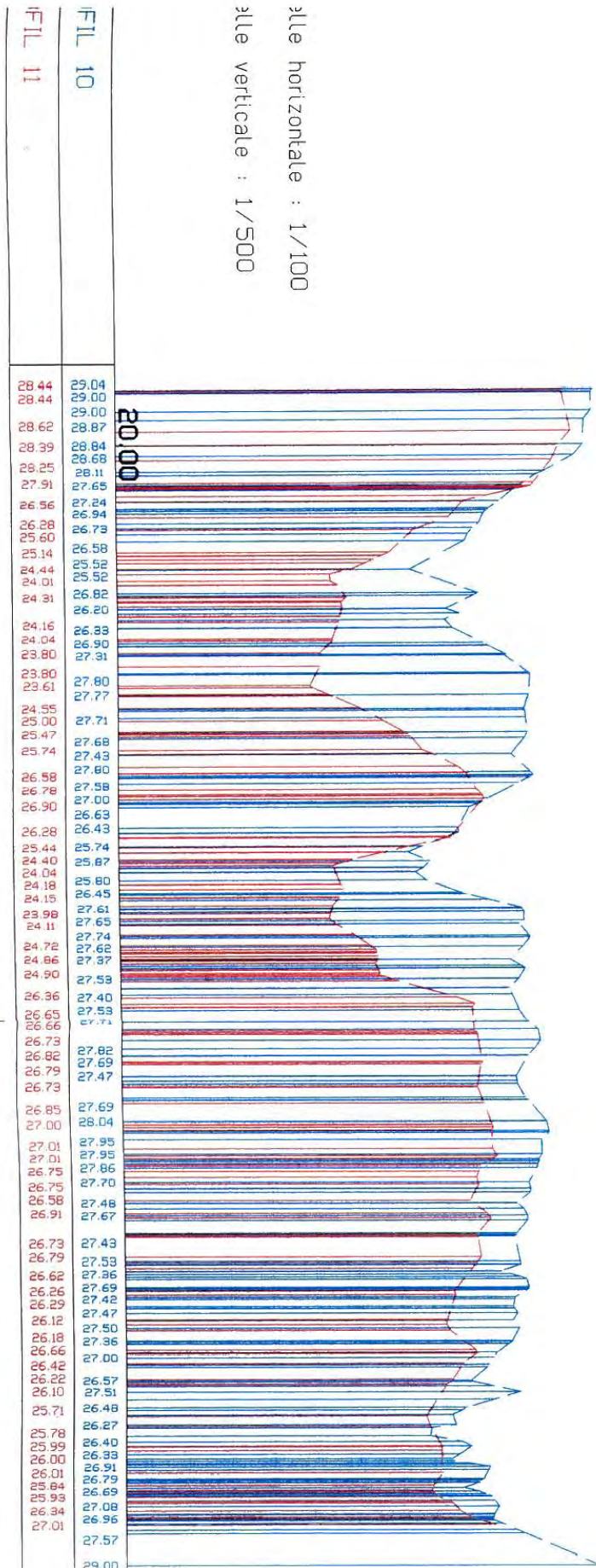


— 440.950

— 440.900

.../...

alle horizontale : 1/100
 alle verticale : 1/500



VIEILLISSEMENT DES DONNEES

Systèmes de référence

Il faut vérifier dans quel système sont les données.

PLANIMETRIE

Les systèmes de projection en vigueur sont les projections Lambert zone, carto et étendu.

Les réseaux ne sont pas immuables et pérennes. Ils sont basés sur des techniques d'observation terrestres ou spatiales. Ces techniques évoluent ; ces systèmes disparaissent ou sont remplacés par d'autres.

Les techniques d'observation s'orientent vers des techniques spatiales (généralisation des récepteurs G.P.S.). Il devient nécessaire que les systèmes planimétriques locaux soient directement rattachés aux systèmes globaux.

Le World Geodetic System 1984 (W.G.S. 84) a été mis au point par le Département de la Défense des Etats Unis d'Amérique.

Un nouveau système de référence, le Réseau Géodésique Français 93 (R.G.F. 93) est mis en place. Il est cohérent avec le W.G.S. 84. Les coordonnées sont exprimées sous forme tridimensionnelle géographique (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale). La projection associée est le Lambert 93, unique pour l'ensemble du territoire national.

Du R.G.F. 93 découlera le Réseau Géodésique Français (R.G.F.). Il est subdivisé en Réseau de Référence Français (R.R.F.), Réseau de Base Français (R.B.F.) et Réseau de Détail Français (R.D.F.). Ce dernier est constitué par l'ensemble des points de la N.T.F. dont les coordonnées en R.G.F. 93 sont déterminées à partir de méthodes de transformation.

La technique d'observation retenue est évidemment l'observation G.P.S.

$$(X,Y,Z)_{R.G.F. 93} \xrightarrow{IX, IV, IV} (X,Y,Z)_{N.T.F.} \rightarrow (l, j)_{N.T.F., Clarke 80 I.G.N.} \xrightarrow{n^{\circ} zone} (E,N)_{Lambert}$$

ALTIMETRIE

Historiquement trois systèmes de référence altimétrique ont été utilisés. Le système Bourdaloue, le Nivellement Général de la France (altitude orthométrique) et l'I.G.N. 69 (altitude normale).

Plusieurs modèles de géoïde existent. Le modèle Quasi-Géoïde Français 98 (Q.G.F. 98) est privilégié. Pour la France continentale, il est au-dessus de l'ellipsoïde associé au W.G.S. 84. Une grille de conversion altimétrique du Réseau d'Altitude Français 98 (R.A.F. 98) lui correspond et permet d'obtenir les altitudes en I.G.N. 69, système conservé.

Cette grille accompagne plusieurs logiciels G.P.S.

STATIONS DE MESURES

D'une campagne de mesure à l'autre des variations dans les stations de mesures peuvent survenir (voir tableau récapitulatif de coordonnées en annexe) du fait :

- de la matérialisation et du repérage
- du rattachement à un réseau de référence mal défini
- de la méthode d'observation du canevas de stations de mesure
- du matériel employé
- de la manière dont le calcul a été réalisé
- du contrôle effectué lors de campagnes d'investigations successives

CONDITIONS HYDRAULIQUES

Sur une zone d'investigation les conditions d'écoulement peuvent avoir subi des modifications dans le temps :

- du fait de phénomènes naturels (variation de débits)
- du fait de phénomènes anthropiques (constructions, démolitions, remblaiements, aménagements d'ouvrages hydrauliques, ...)

LEVE DE DETAILS

(voir profils en annexe)

Pour un profil bien défini observé plusieurs fois des modifications peuvent alors être mises en évidence :

- changement dans le temps de la situation et de la forme des détails naturels et artificiels sur le lit majeur
- évolution du fond du lit mineur (érosion, sédimentation,...)
- interprétation du terrain par l'opérateur chargé des mesures.

END

Digues de Loire

Zone de Limeray

Implantation des stations
topographiques

(Planche non insérée pour cause de droits IGN)

TABLEAU RECAPITULATIF DES COORDONNEES Zone de Limeray									
Stations	Années								
	1984			1994			1999		
	X	Y	Observations	X	Y	Observations	X	Y	Observations
1				499717.95	271107.25	implantation 2			
2				500594.48	271435.90	"	500594.48	271435.90	contrôlée
3	503115.85	272719.50	implantation 1	501212.70	271445.82	"	501212.70	271445.82	"
4	502565.75	272482.78	"	502294.90	272377.12	"	502294.91	272376.93	"
4a	502279.31	272372.86	"			disparue			disparue
5	501895.20	272216.65	"	501281.58	271873.63	implantation 2	501281.60	271873.59	contrôlée
5a	501527.51	272029.27	"			disparue			disparue
5b	501187.24	271836.40	"			"			"
6	500752.84	271554.47	"			"			"
6a	500453.29	271356.29	"			"			"
st. 84	501202.84	271440.20	"	501203.09	271440.73	Recalculée	501203.09	271440.73	contrôlée
7							501221.10	271495.78	implantation 3

EXPERIMENTATION

Cette expérimentation s'est effectuée sur des profils en travers du lit majeur avec des occupations du sol diversifiées (forêt, prairie, culture, labour). Les profils ont été levés plusieurs fois par des personnes distinctes et à deux saisons différentes (humide et sèche). Ces essais sont illustrés par :

- un plan de situation des profils
- des tableaux de coordonnées et de distances par zone d'étude
- des graphiques pour les séries de trajectoires suivies par profil et par zone d'étude
- des tableaux de distances et d'altitudes par zone d'étude
- des graphiques pour les séries de profils par zone d'étude.

↳ PERIODE HUMIDE , PERIODE SECHE

Sur chaque zone trois séries de profils ont été parcourues par trois personnes différentes :

- les trajectoires suivies sont en général proches du profil choisi
- le nombre de points mesuré par série sur chaque profil est variable
- le terrain a été interprété de manière totalement variée
- pour le levé en zone de culture, un obstacle à contourner a conduit à trois positionnements distincts d'un fossé
- les distances « brutes », point de départ du profil-points du profil et « cumulées », point de départ du profil-points rabattu sur le profil ne présentent pas d'écarts notables
- les altitudes moyenne pondérées par série et pour chaque profil ne divergent pas de façon significative. L'écart est de + ou - 0.10 m
- le niveau d'eau n'a pas été systématiquement relevé.

Alors une méthode de levé peut être la suivante :

- espacement des points lorsque le relief est peu accidenté
- densification des points lorsque le relief est accidenté
- décalage possible du profil théorique et reconstitution pour le traitement des données
- repérage des points singuliers.

Expérimentation

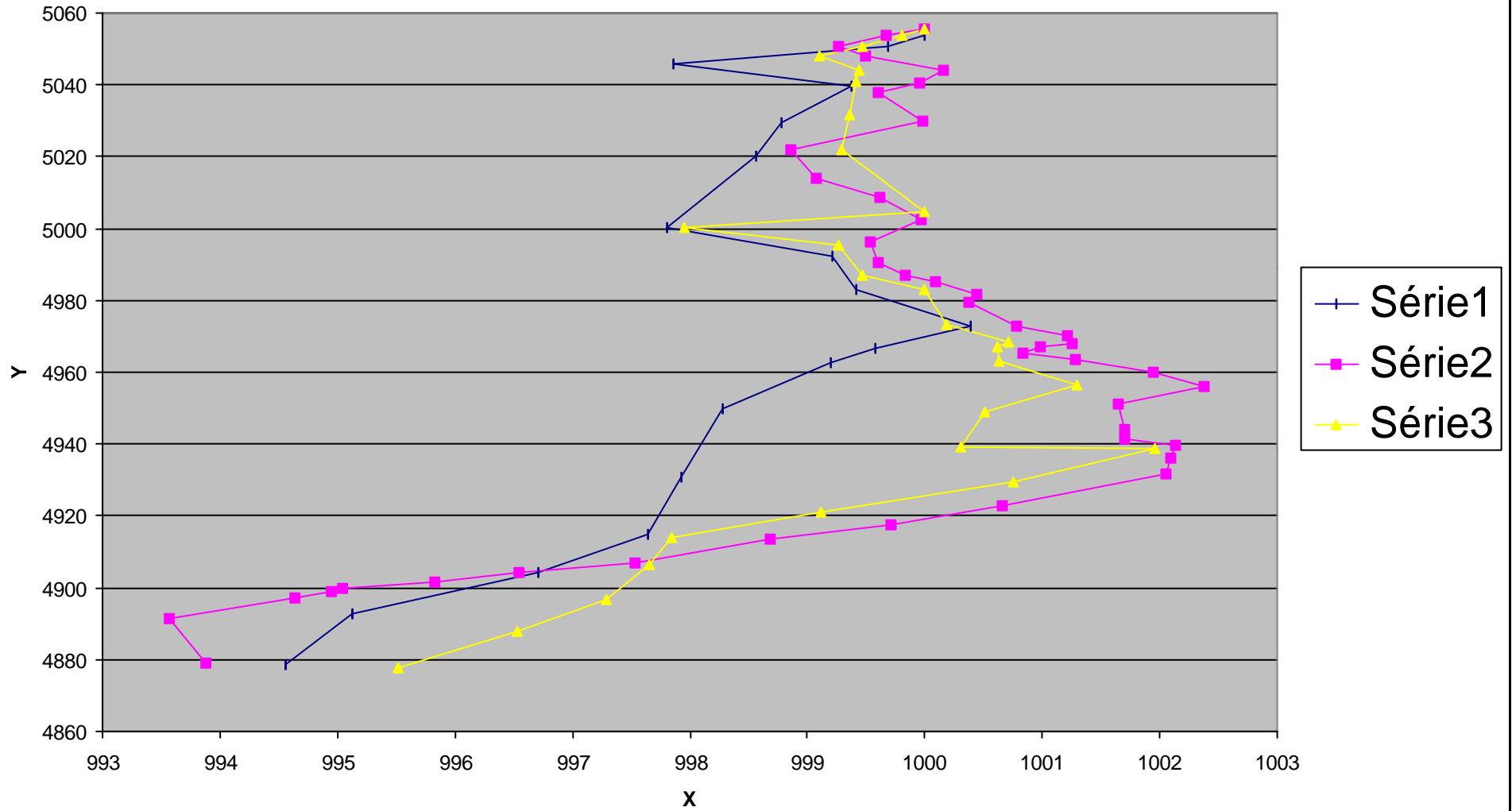
Plan de situation des profils

(Planche non insérée pour cause de droits IGN)

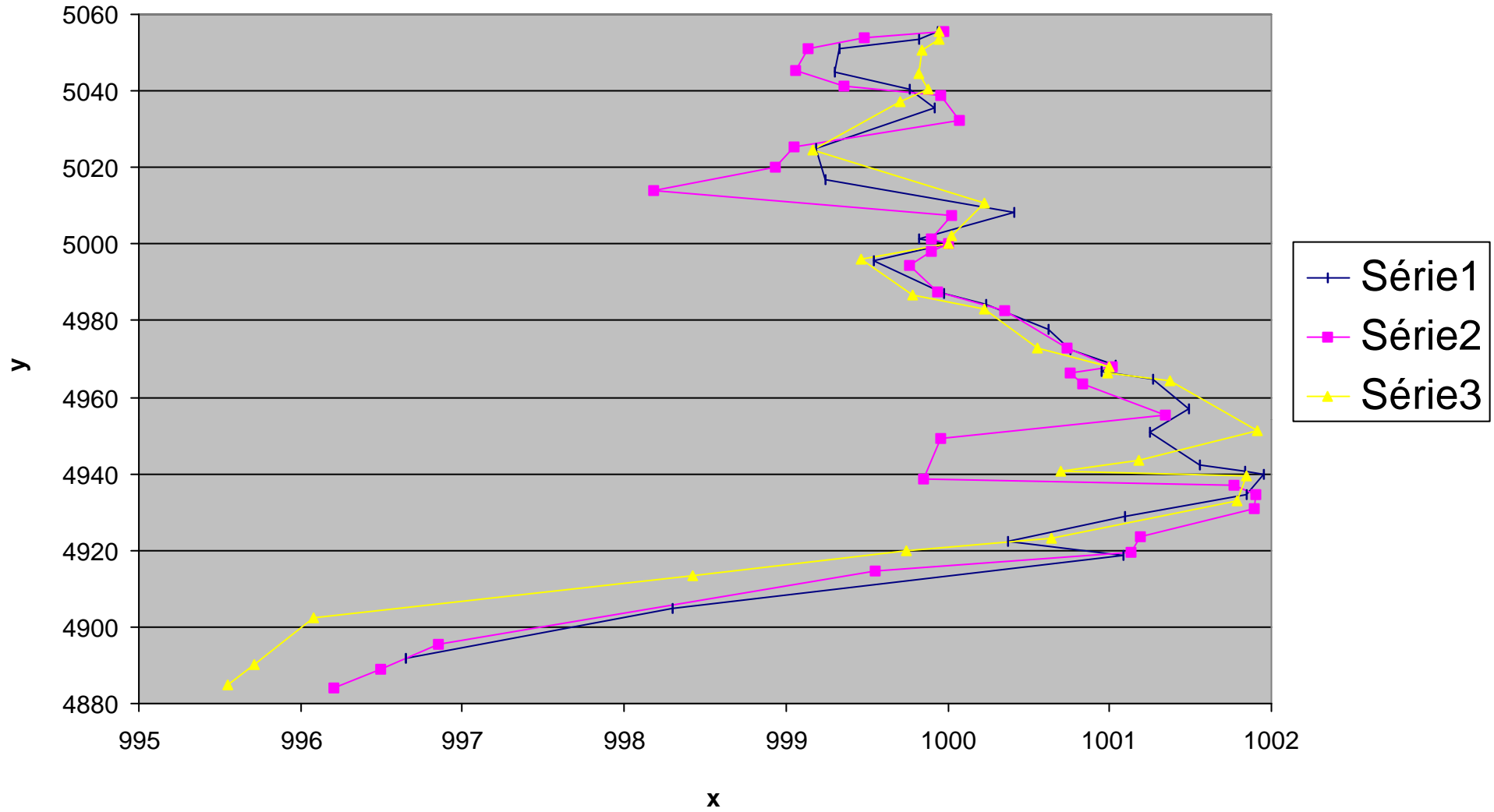
Profil en forêt n°1 (2ème série)

Période humide				Période sèche			
Point	X	Y	distance brute	Point	X	Y	distance brute
1	1000.00	5055.65	0.00	1	999.98	5055.65	0.00
2	999.67	5053.69	2.01	2	999.48	5053.80	1.92
3	999.26	5050.88	4.85	3	999.14	5050.87	4.85
4	999.49	5047.91	7.78	4	999.06	5045.17	10.52
5	1000.16	5043.90	11.77	5	999.36	5041.13	14.53
6	999.96	5040.59	15.08	6	999.96	5038.80	16.85
7	999.60	5037.87	17.80	7	1000.07	5032.39	23.26
8	999.98	5030.00	25.67	8	999.05	5025.34	30.32
9	998.86	5021.91	33.78	9	998.93	5020.08	35.59
10	999.07	5014.02	41.66	10	998.18	5014.02	41.67
11	999.62	5008.51	47.16	11	1000.02	5007.36	48.29
12	999.97	5002.57	53.10	12	999.90	5001.51	54.14
13	999.53	4996.23	59.44	13	1000.00	5000.00	55.65
14	999.61	4990.48	65.19	14	999.90	4998.20	57.45
15	999.83	4986.94	68.73	15	999.76	4994.62	61.03
16	1000.09	4985.28	70.39	16	999.94	4987.34	68.31
17	1000.44	4981.75	73.92	17	1000.35	4982.76	72.89
18	1000.37	4979.29	76.38	18	1000.74	4972.80	82.85
19	1000.78	4972.96	82.71	19	1001.02	4967.97	87.69
20	1001.22	4969.96	85.72	20	1000.76	4966.48	89.17
21	1001.26	4967.83	87.85	21	1000.83	4963.68	91.97
22	1000.98	4967.07	88.61	22	1001.34	4955.54	100.12
23	1000.84	4965.39	90.28	23	999.96	4949.13	106.52
24	1001.28	4963.32	92.36	24	999.85	4938.64	117.01
25	1001.95	4960.13	95.56	25	1001.77	4936.88	118.78
26	1002.38	4956.12	99.58	26	1001.90	4934.76	120.91
27	1001.65	4951.28	104.40	27	1001.89	4931.05	124.61
28	1001.70	4944.03	111.65	28	1001.19	4923.72	131.94
29	1001.70	4941.57	114.11	29	1001.13	4919.42	136.23
30	1002.14	4939.68	116.01	30	999.55	4914.45	141.20
31	1002.09	4935.96	119.73	31	996.85	4895.64	160.04
32	1002.05	4931.59	124.10	32	996.49	4889.03	166.66
33	1000.66	4922.83	132.84	33	996.21	4884.08	171.61
34	999.71	4917.43	138.24				
35	998.68	4913.35	142.33				
36	997.53	4907.06	148.63				
37	996.55	4904.12	151.59				
38	995.83	4901.44	154.29				
39	995.04	4899.79	155.96				
40	994.95	4898.88	156.87				
41	994.64	4896.96	158.80				
42	993.57	4891.44	164.36				
43	993.88	4879.10	176.68				

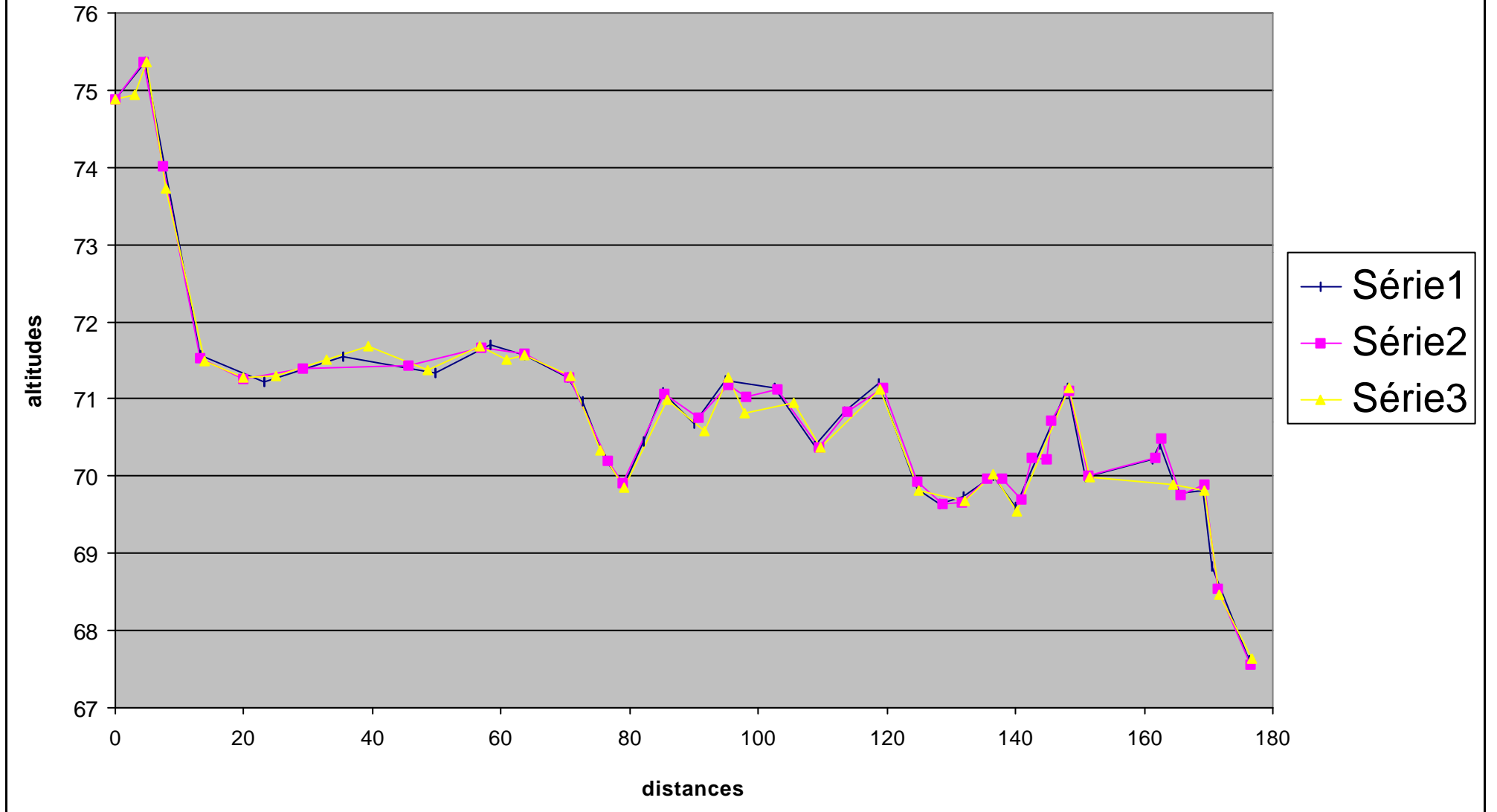
Trajectoires (profil en forêt n°1 - période humide)



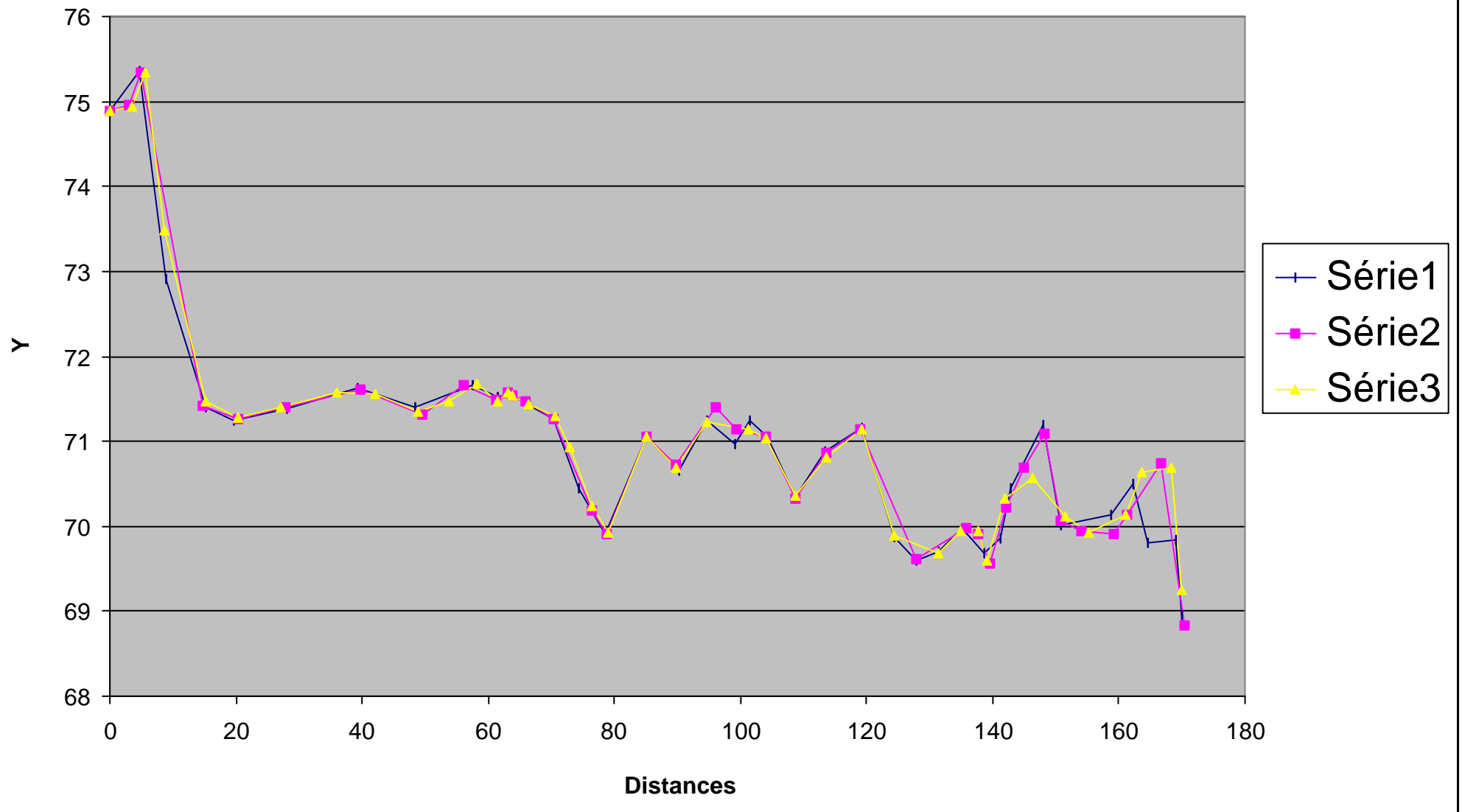
Trajectoire (profil en forêt n°1 - période sèche)



Profils en forêt n°2 (période humide)

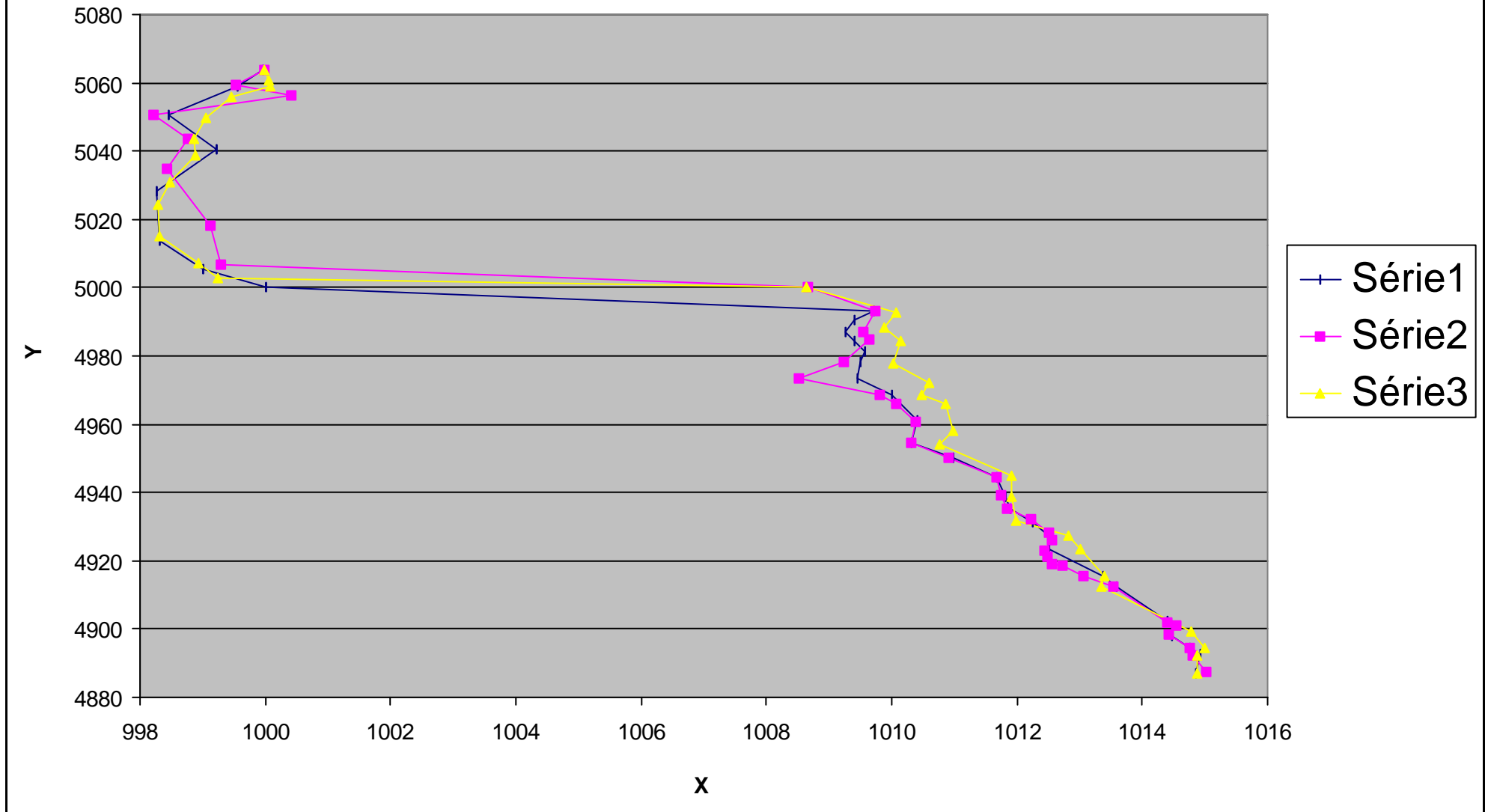


Profil en forêt n°2 (période sèche)

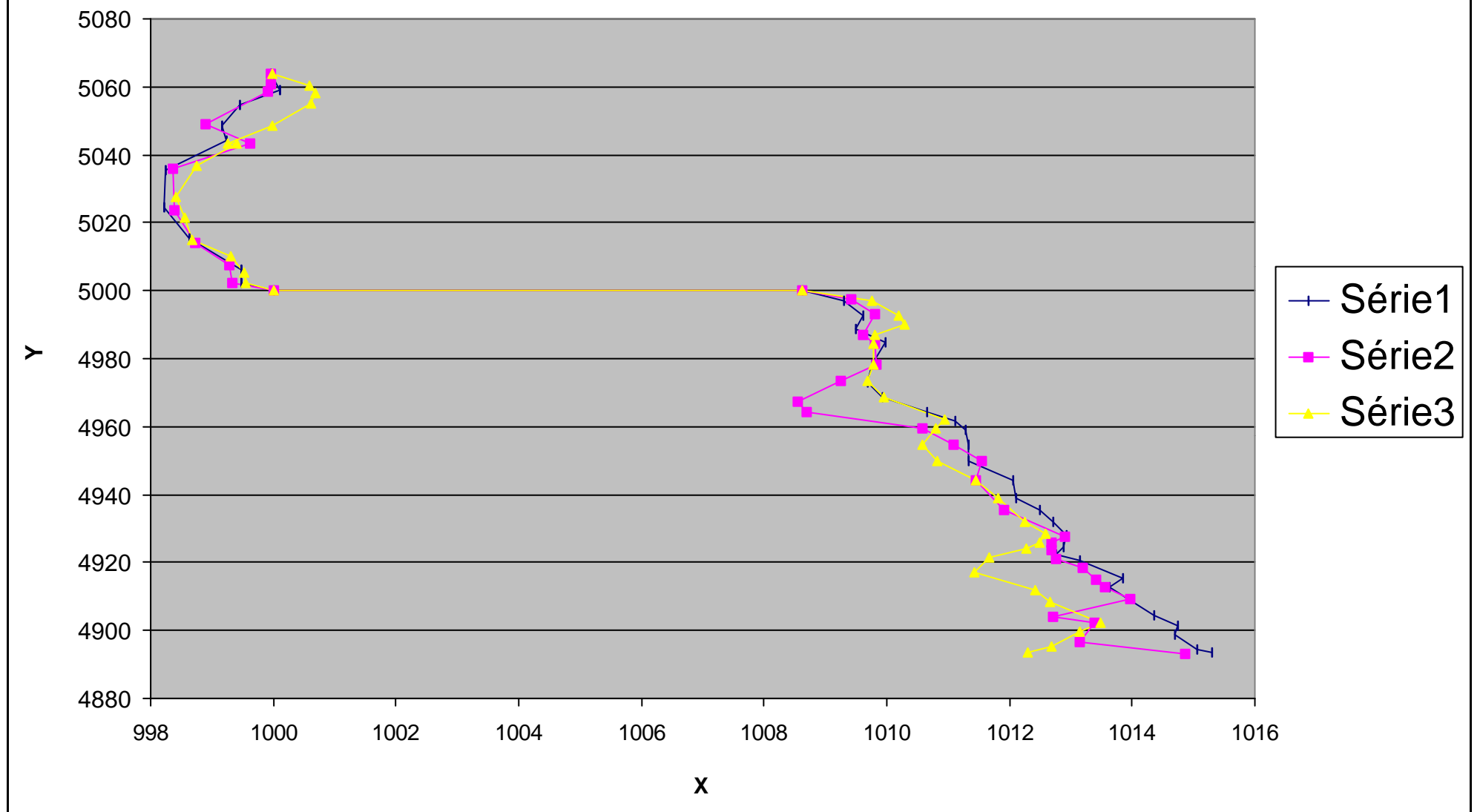


Profil en forêt n°2 (2ème série)							
Période humide				Période sèche			
Point	X	Y	distance brute	Point	X	Y	distance brute
1	999.99	5063.73	0.01	1	999.97	5063.78	0.07
2	999.54	5059.38	4.36	2	999.97	5060.66	3.06
3	1000.42	5056.34	7.39	3	999.90	5058.74	4.98
4	998.22	5050.55	13.29	4	998.89	5049.00	14.76
5	998.77	5043.72	20.04	5	999.62	5043.30	20.42
6	998.44	5034.66	29.10	6	998.37	5036.02	27.75
7	999.12	5018.17	45.56	7	998.39	5023.88	39.87
8	999.28	5006.69	57.03	8	998.72	5014.27	49.47
9	1008.65	5000.14	64.17	9	999.29	5007.60	56.12
10	1009.73	4993.03	71.35	10	999.34	5002.43	61.29
11	1009.54	4987.09	77.24	11	1000.00	5000.00	63.72
12	1009.65	4984.84	79.49	12	1008.63	5000.13	63.72
13	1009.24	4978.44	85.87	13	1009.41	4997.31	66.65
14	1008.52	4973.24	91.06	14	1009.81	4992.91	71.04
15	1009.82	4968.55	95.77	15	1009.61	4986.87	77.02
16	1010.08	4965.76	98.57	16	1009.81	4984.41	79.48
17	1010.39	4960.74	103.60	17	1009.84	4978.15	85.73
18	1010.32	4954.44	109.89	18	1009.26	4973.52	90.34
19	1010.9	4950.06	114.29	19	1008.56	4967.45	96.40
20	1011.68	4944.41	119.97	20	1008.69	4964.22	99.63
21	1011.74	4939.21	125.17	21	1010.59	4959.36	104.54
22	1011.83	4935.27	129.11	22	1011.08	4954.69	109.23
23	1012.23	4932.13	132.27	23	1011.56	4949.67	114.26
24	1012.52	4928.27	136.14	24	1011.44	4944.27	119.65
25	1012.56	4925.91	138.49	25	1011.92	4935.52	128.41
26	1012.43	4922.97	141.42	26	1012.90	4927.58	136.40
27	1012.49	4921.26	143.13	27	1012.68	4925.72	138.24
28	1012.56	4919.07	145.33	28	1012.68	4923.79	140.17
29	1012.72	4918.4	146.00	29	1012.77	4921.21	142.75
30	1013.05	4915.46	148.96	30	1013.19	4918.39	145.59
31	1013.54	4912.48	151.96	31	1013.40	4915.14	148.84
32	1014.4	4902.04	162.43	32	1013.55	4912.68	151.31
33	1014.53	4901.26	163.22	33	1013.96	4909.21	154.80
34	1014.43	4898.22	166.24	34	1012.70	4904.18	159.76
35	1014.75	4894.54	169.94	35	1013.39	4902.15	161.82
36	1014.81	4892.43	172.05	36	1013.14	4896.78	167.17
37	1015.01	4887.27	177.21	37	1014.87	4892.95	171.08

Trajectoires (profil n°2 - période humide)

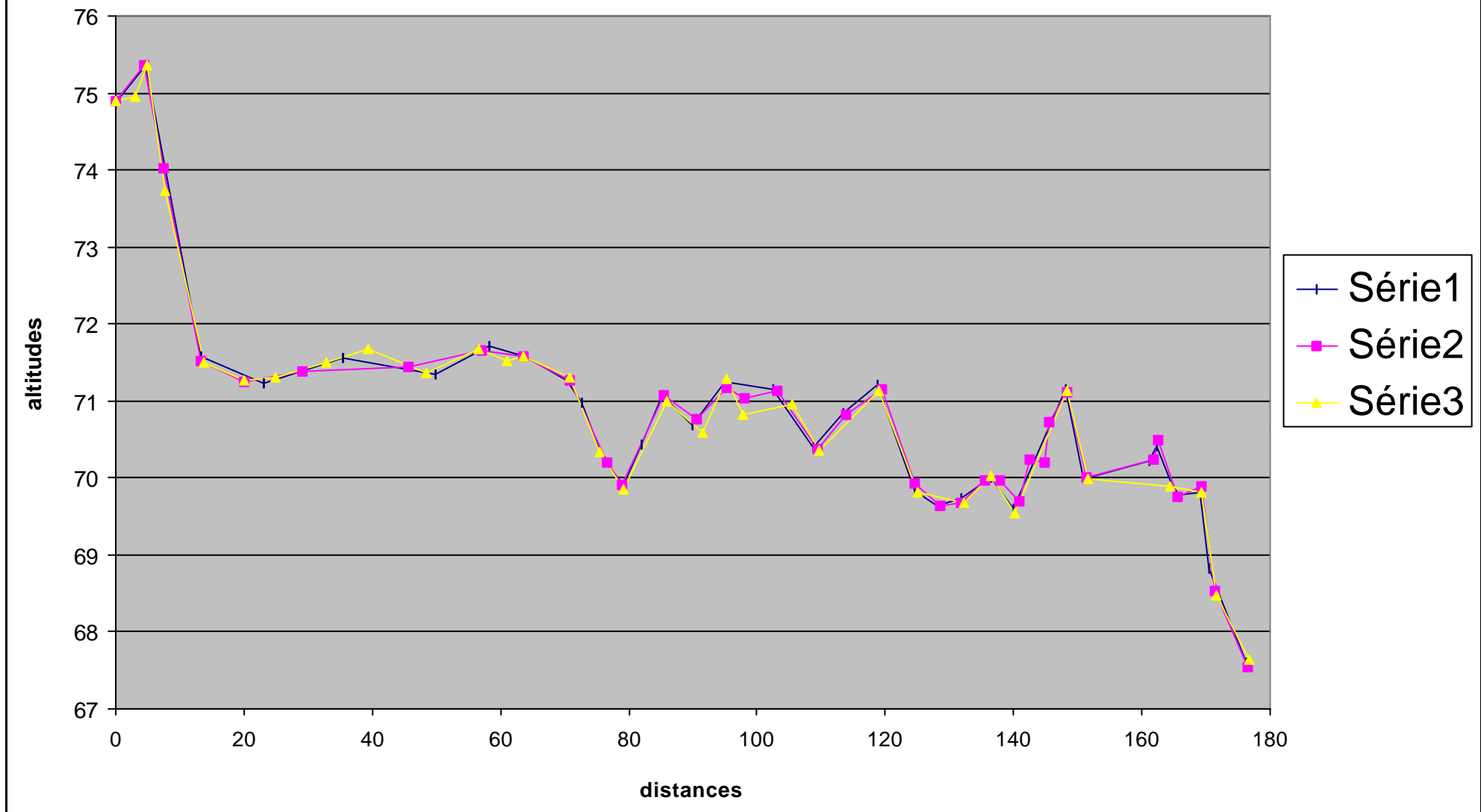


Trajectoires (profil n°2 - période sèche)

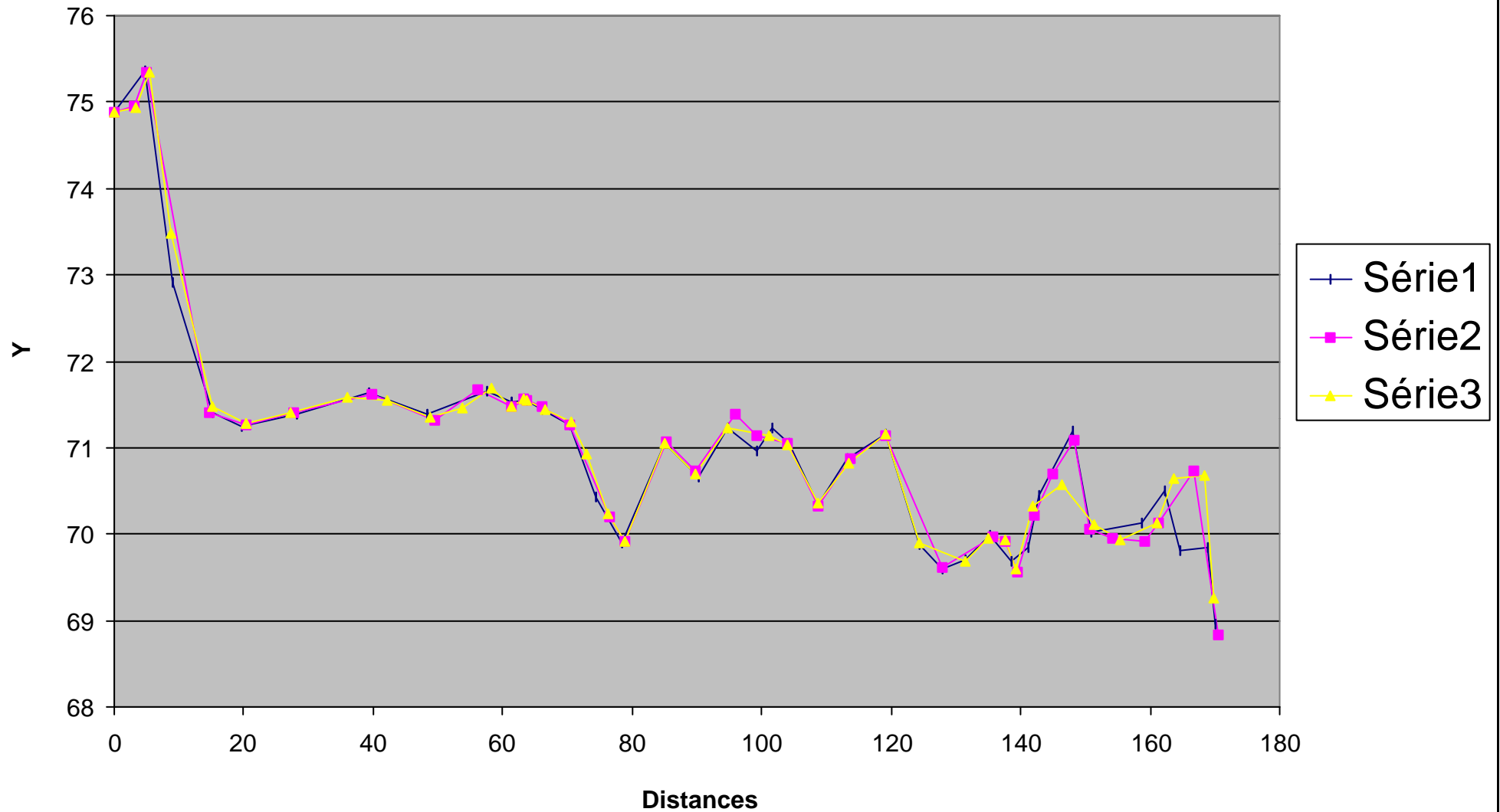


Profil en forêt n°2 (2ème série)							
Période humide				Période sèche			
Point	Distance cumulée	Distance partielle	Altitude	Point	Distance cumulée	Distance partielle	Altitude
1	0.01		74.89	1	0.07		74.89
2	4.34	4.33	75.36	2	3.06	2.99	74.95
3	7.38	3.03	74.02	3	4.98	1.92	75.35
4	13.18	5.80	71.52	4	14.72	9.74	71.41
5	20.00	6.83	71.25	5	20.42	5.70	71.26
6	29.06	9.06	71.39	6	27.70	7.28	71.41
7	45.55	16.49	71.44	7	39.84	12.14	71.62
8	57.03	11.48	71.66	8	49.45	9.61	71.31
9	63.57	6.54	71.58	9	56.12	6.67	71.67
10	70.68	7.11	71.28	10	61.29	5.17	71.49
11	76.64	5.96	70.20	11	63.72	2.43	71.54
12	78.90	2.26	69.91	12	63.14	-0.58	71.57
13	85.36	6.46	71.06	13	65.98	2.85	71.47
14	90.65	5.29	70.76	14	70.36	4.38	71.27
15	95.26	4.61	71.18	15	76.42	6.06	70.19
16	98.05	2.79	71.03	16	78.88	2.46	69.91
17	103.07	5.02	71.12	17	85.17	6.29	71.06
18	109.40	6.33	70.37	18	89.86	4.69	70.73
19	113.76	4.36	70.83	19	96.02	6.16	71.40
20	119.40	5.63	71.14	20	99.25	3.23	71.14
21	124.61	5.21	69.93	21	104.00	4.75	71.05
22	128.56	3.95	69.64	22	108.66	4.66	70.32
23	131.69	3.13	69.67	23	113.68	5.02	70.87
24	135.55	3.86	69.97	24	119.10	5.42	71.14
25	137.92	2.37	69.96	25	127.86	8.76	69.61
26	140.87	2.95	69.70	26	135.79	7.93	69.97
27	142.58	1.71	70.24	27	137.66	1.87	69.92
28	144.78	2.19	70.21	28	139.59	1.94	69.57
29	145.44	0.67	70.72	29	142.18	2.58	70.23
30	148.38	2.94	71.11	30	144.99	2.81	70.69
31	151.35	2.97	70.00	31	148.24	3.25	71.09
32	161.78	10.44	70.25	32	150.70	2.46	70.06
33	162.56	0.78	70.49	33	154.17	3.47	69.95
34	165.61	3.05	69.76	34	159.25	5.08	69.91
35	169.29	3.68	69.90	35	161.26	2.01	70.14
36	171.40	2.11	68.54	36	166.65	5.39	70.73
37	176.57	5.16	67.55	37	170.43	3.78	68.83
altitude moyenne			70.86	altitude moyenne			70.92

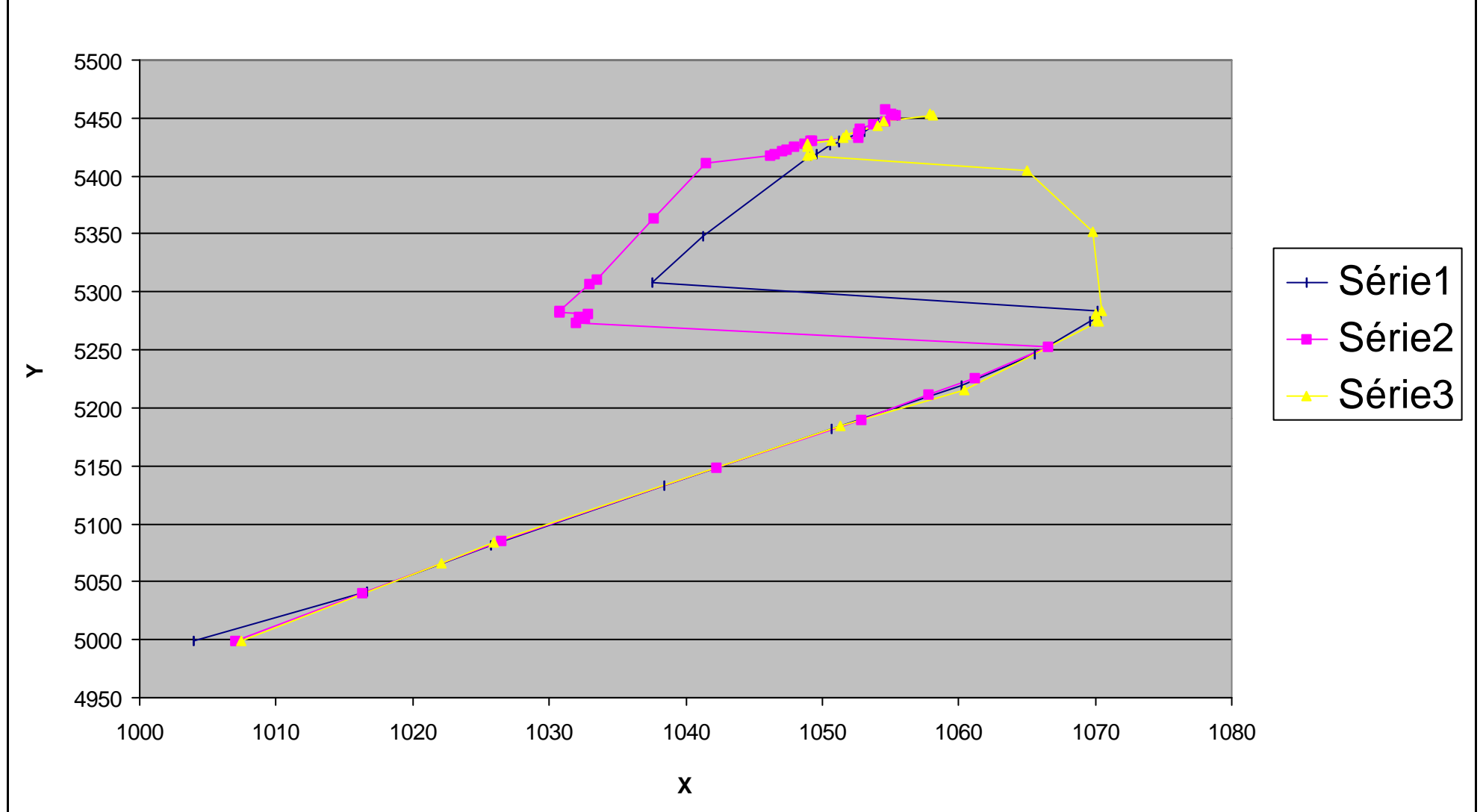
Profils en forêt n°2 (période humide)



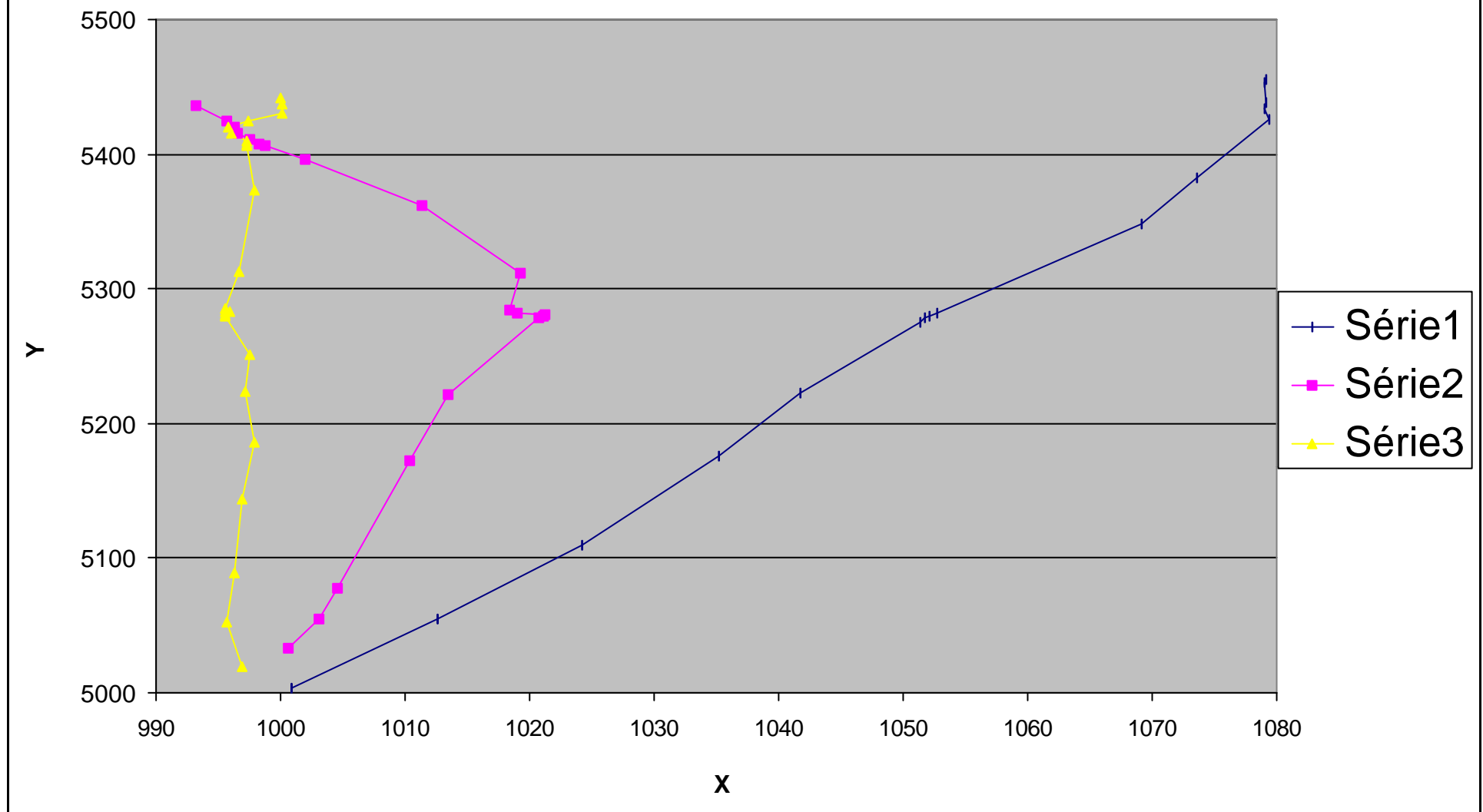
Profil en forêt n°2 (période sèche)



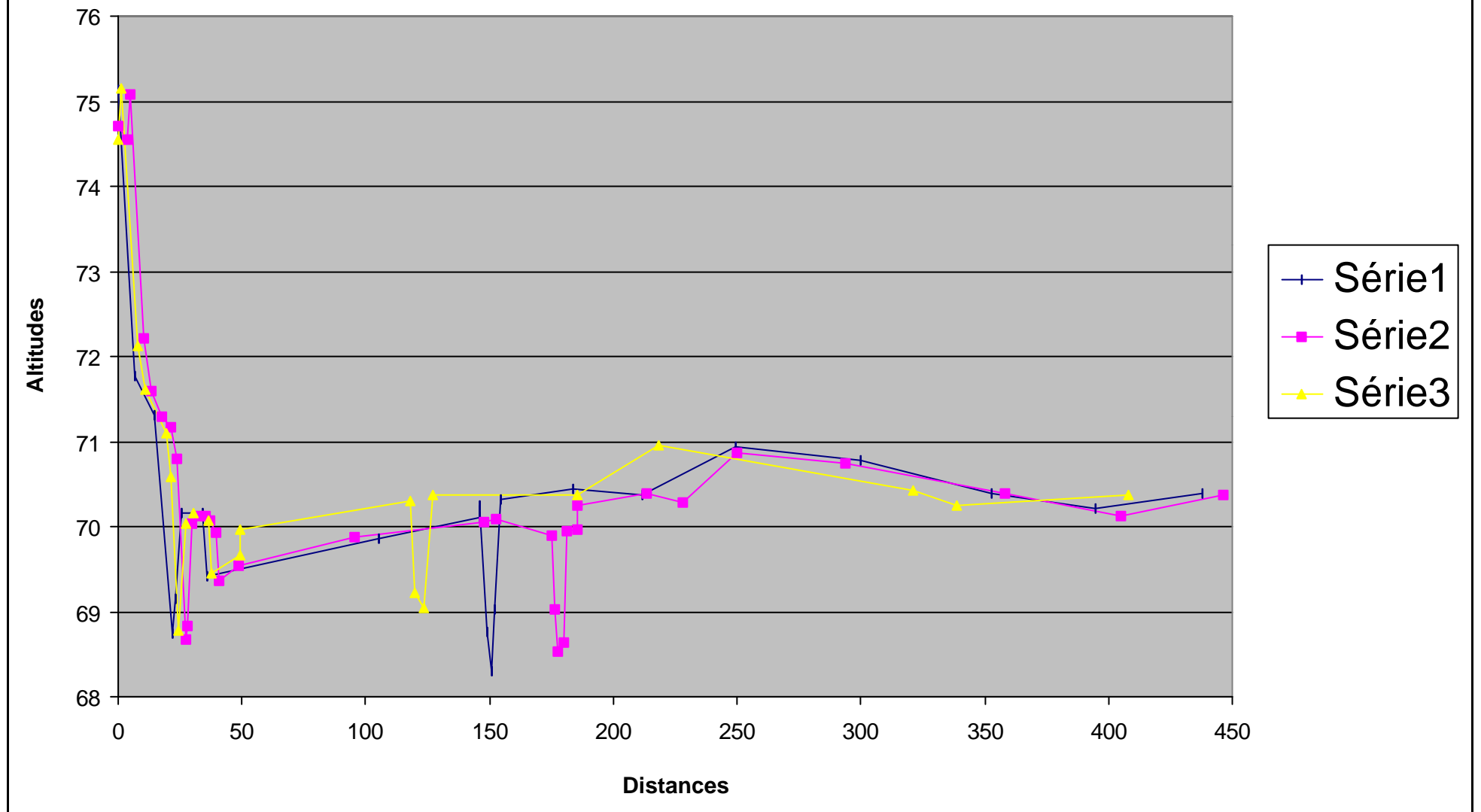
Trajectoires sur une zone de culture - période humide



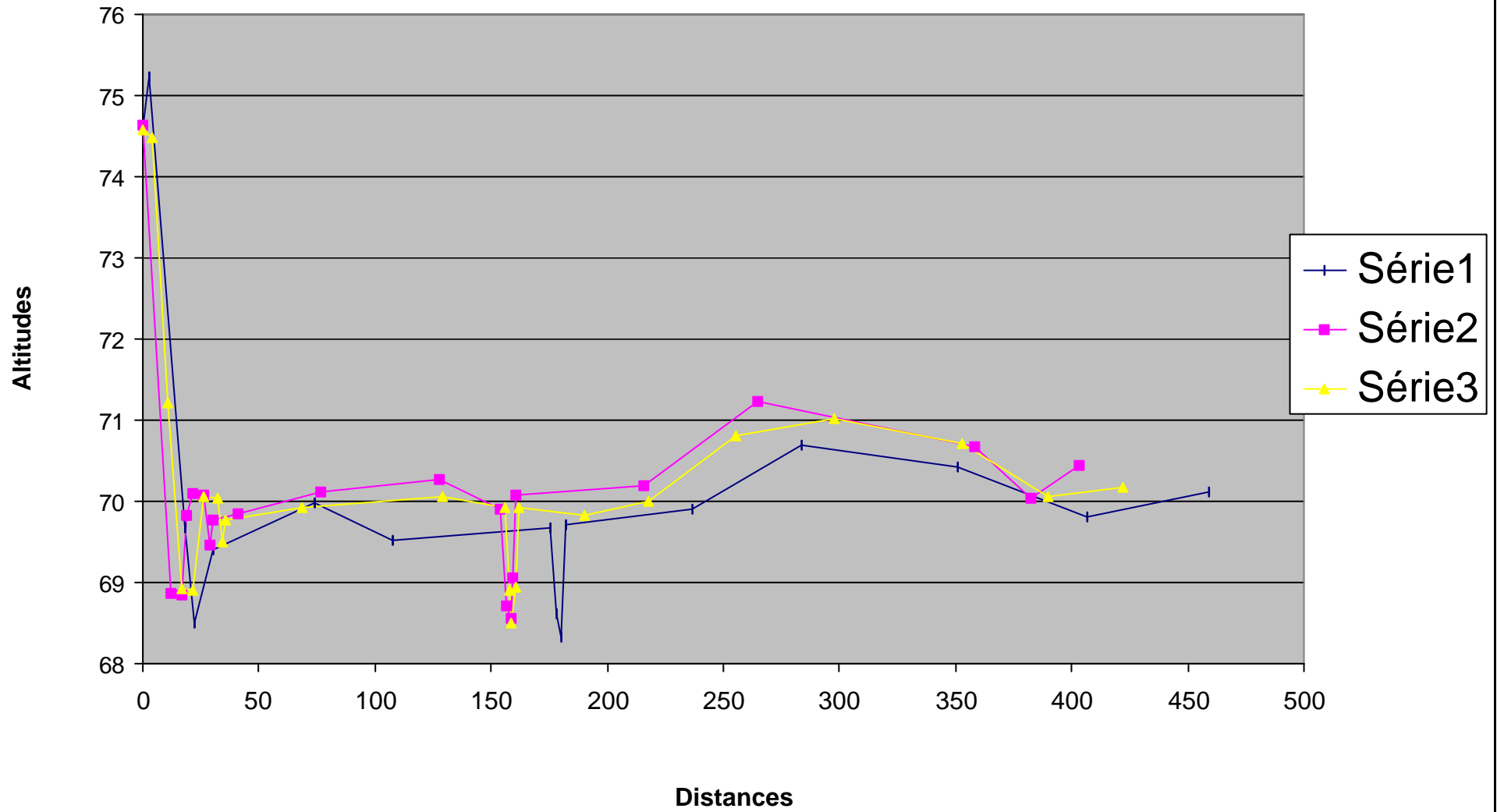
Trajectoires sur une zone de culture - période sèche



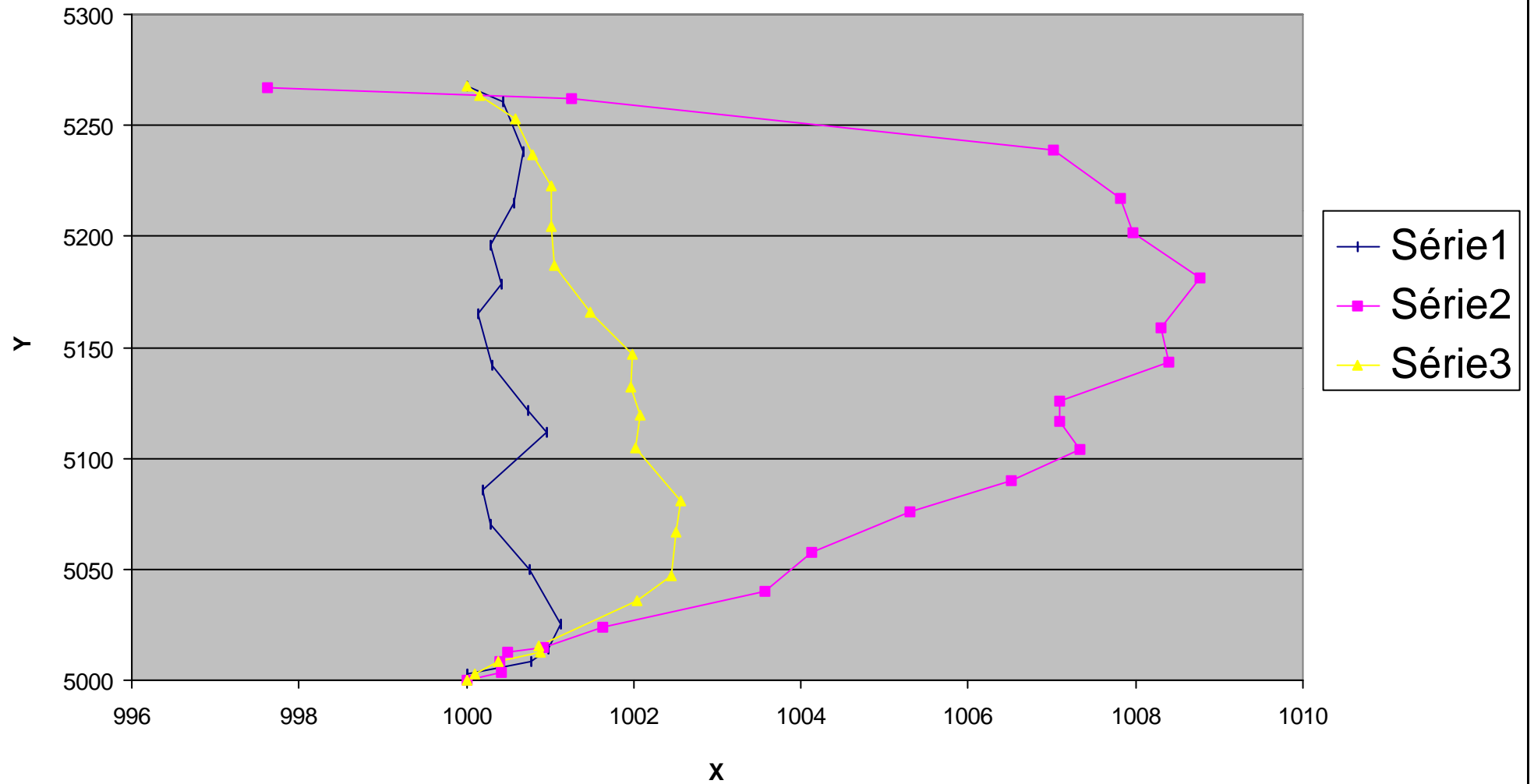
Profils sur une zone de culture - période humide



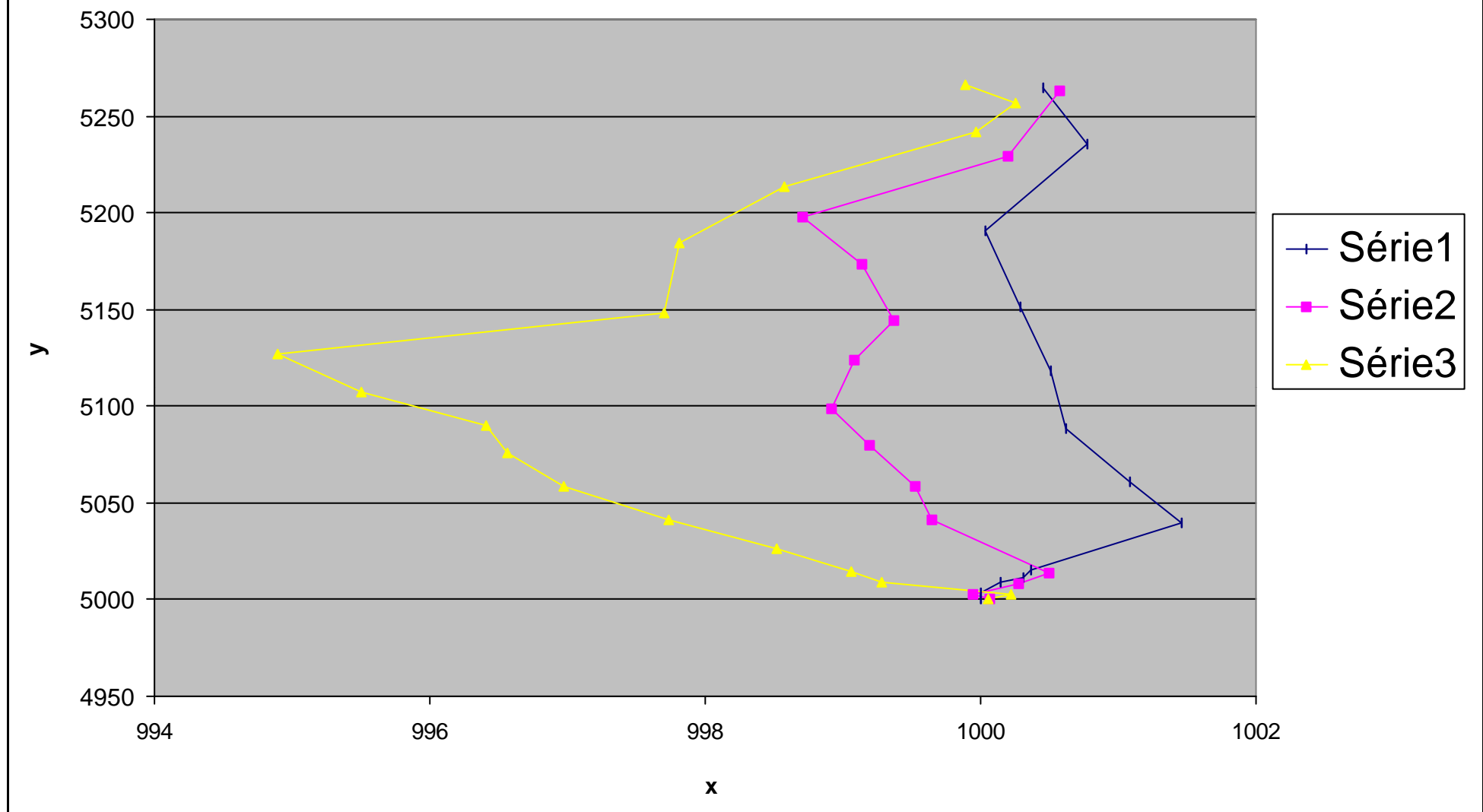
Profils sur une zone de culture - période sèche



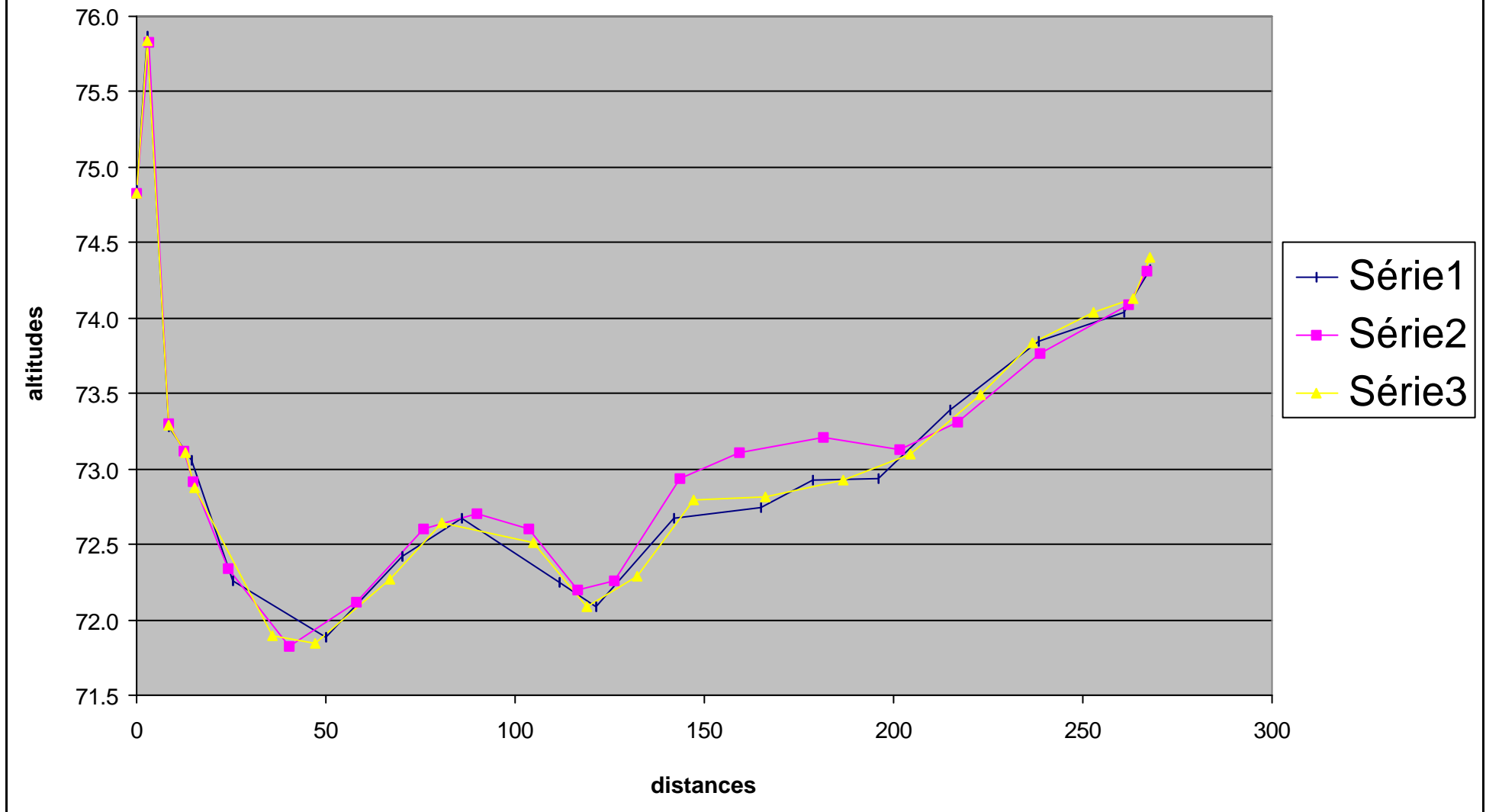
Trajectoires sur une prairie (période humide)



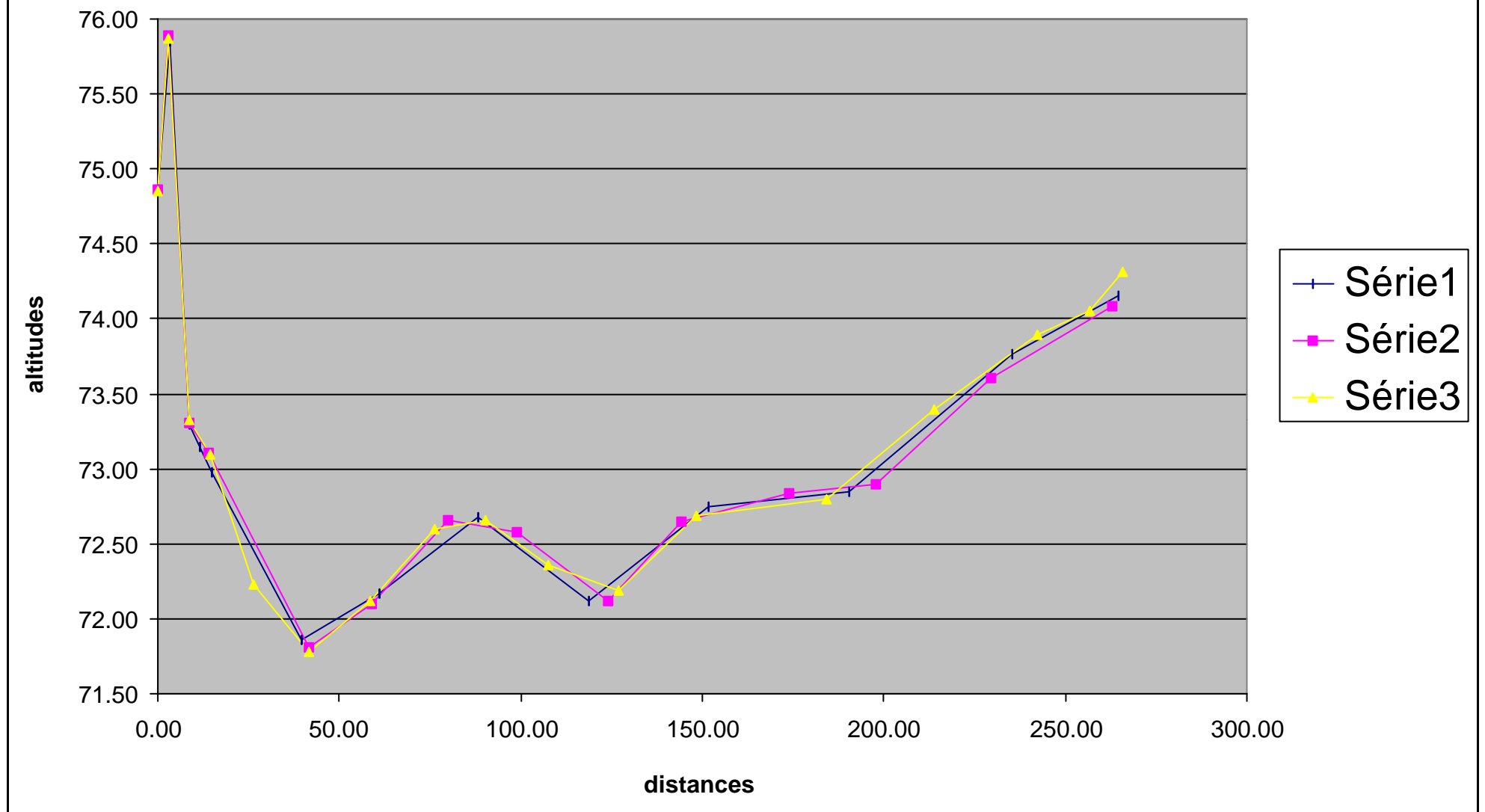
Trajectoires sur une prairie (période sèche)



Profils sur une zone de prairie (période humide)



Profils sur une zone de prairie (période sèche)



ALTITUDE MOYENNE DES PROFILS								
Profil	Forêt 1		Forêt 2		Culture		Prairie	
Période	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Série								
1	70.00	70.38	70.82	70.96	70.33	70.00	72.88	72.91
2	70.17	70.26	70.86	70.92	70.32	70.32	72.98	72.85
3	70.16	70.23	70.85	71.02	70.42	70.29	72.91	72.93
Moyenne des séries	70.11	70.29	70.84	70.97	70.36	70.20	72.92	72.90
	70.20		70.91		70.28		72.91	

PRECAUTIONS A PRENDRE ET ECUEILS A EVITER

Les systèmes de référence dans lesquels les observations seront effectuées devront être indiqués lors de chaque opération de mesure. Ceci évitera des erreurs et permettra de passer d'un système à l'autre aisément par des formules de transformation sans ambiguïté : système local-système Lambert en planimétrie, système N.G.F.-I.G.N. 69 en altimétrie.

Une bonne implantation des stations de mesures d'une manière pérenne, avec des croquis de repérage, permettra de les retrouver d'une fois à l'autre et d'en contrôler la stabilité pour des levés complémentaires.

Le choix judicieux de l'emplacement des profils mettra en évidence la situation et la forme des détails naturels ou artificiels. Cet emplacement sera matérialisé pour des reprises ultérieures de mesures. Les profils seront observés dans le même sens sur la vallée et de la rive gauche vers la rive droite. Les points levés seront distants s'il y a peu de relief et denses dans le cas contraire. Ils prendront aussi en compte l'occupation du terrain : lit majeur, lit mineur, ouvrages hydrauliques, voies de circulation,... Ils s'éloigneront du profil théorique sans grande incidence. Mais les détails particuliers seront positionnés correctement : fossés avec leur section, Les conditions hydrauliques seront à noter en plus : étiage, crue, pointe de crue, niveau d'eau, ...

La fiabilité des documents d'archives devra être vérifiée (plans topographiques, profils, plans d'ouvrages, ...). Ces documents peuvent présenter des erreurs en planimétrie, en altimétrie. Le levé de détails peut être inexact :

- mauvaise position du profil
- mauvaise altitude du profil
- mauvais positionnement des points de détails sur le profil
- mauvais dimensionnement des détails
- etc...

❧❧❧

CONCLUSION

TOPOGRAPHIE

Quelle que soit la méthode utilisée ou l'opérateur, les écarts constatés sont de l'ordre de 0.1 m pour les levés topographiques. Si des écarts supérieurs sont constatés, il ne peut s'agir que d'une erreur de topographie (ou absence de mesure topographique). Le bureau d'étude hydraulique doit donc systématiquement vérifier la fiabilité du travail topographique avant la modélisation par quelques mesures prises au hasard.

BATHYMETRIE

La validité des mesures est liée, hormis les éléments précédemment cités à la mobilité des fonds et aux eaux très chargées en particules fines. Les écarts peuvent être tels (plusieurs mètres) que la modélisation doit tenir compte d'un fond correspondant aux conditions hydrauliques.

Blois, le 10 novembre 2000
LE CONTROLEUR DES T.P.E.,

Pierre SALOMON