

REMERCIEMENTS.....	a
RESUME ET ABSTRACT.....	b
ABREVIATIONS.....	f
LISTES DES FIGURES.....	h
LISTE DES TABLEAUX.....	k
 INTRODUCTION.....	 1
 PARTIE I : GENERALITE DE L'ETUDE.....	 2
I.1. GENERALITE SUR LA REGION.....	2
I.1.1. Localisation de la région et la zone d'étude.....	2
I.1.2. Climat de la région d'Itasy.....	3
I.1.2.1. le réseau de stations d'observation météorologique.....	3
I.1.2.2. Température et pluviométrie.....	4
I.1.3. Caractéristiques de la région de l'Itasy.....	5
I.1.3.1. Topographie et géomorphologie.....	5
I.1.3.2. Sol.....	6
I.1.3.3. Hydrographie.....	7
I.1.4. L'agriculture.....	8
 I.2. GENERALITE SUR LA POMME DE TERRE.....	 10
I.2.1. Buts de la culture.....	10
I.2.2. Botanique.....	10
I.2.2.1. Origine.....	10
I.2.2.2. Description.....	10
a) Racines.....	10
b) Tiges.....	11
c) Tubercules.....	11
d) feuille.....	11
e) Fleurs.....	11
f) Fruits.....	12
g) Graines.....	12
I.2.2.3. Phase végétative.....	12
a) Phase de germination.....	12
b) Phase de croissance.....	12
c) Phase de tubérisation.....	12
d) Phase de floraison et de fructification.....	12
e) Phase de déclin des organes végétatifs.....	13
f) Phase de repos végétatif.....	13
I.2.3. Ecologie.....	13
I.2.3.1. Besoins en chaleur.....	13
I.2.3.2. Besoins en eau.....	14
I.2.3.3. Besoins en lumière.....	14
I.2.3.4. Besoins en sols.....	14
I.2.3.5. Besoins en altitude.....	14
I.2.4. Variétés.....	15
I.2.5. Plantation.....	15

I.2.5.1. Epoque de plantation.....	15
I.2.5.2. Calendrier cultural.....	15
I.2.6. Maladies et ennemis.....	16
I.2.6.1 Maladies.....	16
a) Maladies fongiques.....	16
b) Maladies bactériennes.....	16
I.2.6.2. Ennemis.....	17
I.2.6.3. Maladies et ennemis qui existent dans la région d'Itasy.....	17
 PARTIE II : DONNEES ET LOGICIELS UTILISES.....	18
II.1. DONNEES UTILISES.....	18
II.1.1. Données météorologique de la télédétection.....	18
II.1.1.1. RFE.....	18
II.1.1.2. NDVI.....	19
a) Description.....	19
b) Principe.....	20
c) Produits NDVI.....	21
d) Prétraitement des produits NDVI.....	21
II.1.2. Données agricoles.....	22
II.2. LOGICIELS UTILISES.....	24
II.2.1. Logiciel d'organisation de données Microsoft Excel 2007.....	24
II.2.1. Logiciel de traitement de données de Télédétection WinDisp.....	24
II.2.2.1. Principe.....	24
II.2.2.2. Données d'entrée.....	25
II.2.2.3. Données de sortie.....	25
II.2.2.4. Aperçu.....	26
II.2.3. Logiciel pour calculer la pluie efficace CROPWAT 8.0.....	26
II.2.3.1. Notion de précipitation efficace.....	27
II.2.3.2. Données d'entrée.....	26
II.2.3.3. Données de sortie.....	27
II.2.3.4. Aperçu.....	27
II.2.4. INSTAT .....	28
 PARTIE III : TRAITEMENTS DES DONNEES, ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS.....	30
III.1. TRAITEMENTS DES DONNEES.....	32
III. 1.1. Détermination des extrêmes climatiques.....	32
III.1.1.1 . Méthodologie.....	32
III.1.1.2.Résultat.....	32
III.1.2. Besoins en eau de la pomme de terre.....	36
III.1.2.1. Evaporation Potentielle.....	36
III.1.2.2. Coefficient cultural.....	37
III.1.2.3. Calcul des besoins en eau.....	37
III.2. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	38
III.2.1. Pluviométrie et production de la pomme de terre.....	38
III.2.1.1 Principe et méthode.....	38
III.2.1.2. Distributions décadaire et production.s.....	38

III.2.1.3. Distributions mensuelles et productions.....	44
III.2.1.4 Distributions annuelles de pluies et productions.....	45
III.2.1.4.1. Analyse de régression entre pluie efficace et Production...	48
III.2.1.4.2 Corrélation entre pluie annuelle filtrée et production filtrée.....	50
III.2.2. NDVI et production de la pomme de terre.....	56
III.2.2.1. Principe et méthode.....	56
III.2.2.2. Distribution par phases végétatifs et production.....	56
III.2.2.3. Corrélation entre les donnés du NDVI et la production.....	57
III.2.2.4. Corrélation entre les donnés du NDVI et la production filtrée.....	58
III.2.3. Modèle de prévision de la production de pomme de terre et discussion.....	61
III.2.3.1. Sets de calibration.....	61
III.2.3.2. Choix du meilleur modèle.....	61
III.2.3.3. Prévision de la production au niveau des districts.....	62
III.2.4. Etude économique sur la culture de la pomme de terre.....	70
III.2.4.1. Devis estimatif pour la mise en place du culture de pomme de terre.....	70
III.2.4.1.1. Devis sur les matériels utilisé.....	70
III.2.4.1.2. Devis sur les traitements contre les maladies et les ennemis.....	70
III.2.4.1.3. Devis sur les mains d'œuvres.....	71
III.2.4.1.4. Détails du devis estimatif.....	71
III.2.4.2. Rentabilité.....	72
CONCLUSION.....	74
BIBLIOGRAPHIE.....	74
ANNEXE .....	i
ANNEXE I : Pluies décadaire, mensuelles et cumulées obtenue par le produit RFE à d'Itasy.....	ii
ANNEXE II : Données de NDVI sortie de WINDISP.....	vii
ANNEXE III : Production de la pomme de terre dans la région de l'Itasy de 1995 à 2010.....	ix
ANNEXE IV : Pluie filtrée et production filtrée.....	x
ANNEXE V : Pluie efficace.....	xi
ANNEXE VI : Test de STUDENTE et Test de FISHER.....	xvi
ANNEXE VII : Limite d'acceptation du coefficient de corrélation linéaire r.....	xviii
ANNEXE VIII : Généralités sur la culture de la pomme de terre.....	xxi
ANNEXE IX : Ordinogramme des logiciels utilisés.....	xxiv

## *ABREVIATIONS*

**AAC** : Agriculture et Agroalimentaire Canada

**AFD** : Agence Française de Développement

**AVHRR**: Advanced Very High Resolution Radiometer

**CCD** : Cold Cloud Duration

**CIP** : Centre International de la Pomme de terre

**CIRAD** : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**CIRDR** : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**CPC**: Climate Prediction Center

**CU**: Commune Urbaine

**FAO** : Food and Agriculture Organization

**FEWS-NET**: Réseau de Système d'Avertissement Précoce de la Famine (Famine Early Warning System)

**FIFAMANOR**: Flompiana sy FAmbolena MAlagasy-NORvéziana

**FOFIFA** : FOibe Fikarohana momba ny FAmbolena (Centre de Recherche sur l'Agriculture)

**GAC**: Global Area Covered

**IDA**: Image Display Analysis

**MAEP** : Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche

**NDVI**: Normalized Difference Vegetation Index

**NOAA**: National Oceanographic and Atmospheric Administration

**RFE**: Rainfall Estimates (Précipitations estimées)

**SADC RRSU** : Southern African Development Community, Regional Remote Sensing Unit  
(Communauté de Développement de l'Afrique Australe, Unité de Télédétection Régionale)

**SMIAR** : Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide

**SPOT VGT**: Système Probatoire pour l'Observation de la Terre -Vegetation sensor

**TAFA**: TAny sy FAmpandrosoana

**USDA SCS**: United States Département of Agriculture's Soil conservation Service

**USGS**: United States Geological Survey



## LISTE DES FIGURES

Figure1 :	Carte de la région d'Itasy.....	3
Figure2 :	Carte thermique de la région d'Itasy.....	4
Figure3 :	Carte pluviométrique de la région d'Itasy.....	5
Figure4 :	Carte pédologique de la région d'Itasy.....	6
Figure5 :	Carte hydrographie de la région d'Antananarivo.....	8
Figure6 :	Production culturale en tonne à Itasy.....	9
Figure7 :	Cycle végétatif de la pomme de terre.....	13
Figure8 :	Affichage de la RFE de la 1 <sup>ère</sup> décade du mois de janvier 1996 superposée avec le masque des districts.....	19
Figure9 :	Affichage de la NDVI de la 1 <sup>ère</sup> décade du mois de janvier 1996 superposée avec le masque des districts.....	22
Figure10 :	Série de productions annuelles de 1995 à 2010 (Arivonimamo).....	23
Figure11 :	Série de productions annuelles de 1995 à 2010 (Miarinarivo et Soavinandrina).....	23
Figure12 :	Aperçu du logiciel WINDISP 5.1.....	26
Figure13 :	Aperçu du logiciel CROPWAT 8.0.....	28
Figure14 :	Aperçu du logiciel INSTAT.....	29
Figure15 :	Approche globale méthodologique.....	31
Figure16 :	Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale dans le district d'Arivonimamo.....	33

Figure17 :	Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale dans le district de Miarinarivo.....	34
Figure18 :	Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale dans le district de Soavinandrina.....	35
Figure19 :	Courbe de besoin en eau de la pomme de terre à Itasy.....	38
Figure20 :	Droite de régression production et pluie (décadaire) pour Miarinarivo.....	41
Figure21 :	Droite de régression production et pluie (décadaire) pour Soavinandrina.....	43
Figure22 :	Droite de régression production et pluie (mensuelles) pour Soavinandrina.....	46
Figure23 :	Droite de régression (pluie brute-production) Arivonimamo.....	47
Figure24 :	Droite de régression (pluie brute-production) Miarinarivo.....	47
Figure25 :	Droite de régression (pluie brute-production) Soavinandrina.....	48
Figure26 :	Courbe de régression (pluie efficace-rendement) Arivonimamo.....	49
Figure27 :	Droite de régression (pluie efficace et production) Miarinarivo.....	49
Figure28 :	Droite de régression (pluie efficace-production) Soavinandrina.....	50
Figure29 :	Courbe de lissage de la pluie d'Arivonimamo.....	51
Figure30 :	Courbe de lissage de la pluie et de la production à Miarinarivo.....	52
Figure31 :	Courbe de lissage de la pluie et de la production de Soavinandrina.....	53
Figure32 :	Droite de régression (pluie brute filtrée et production) pour Arivonimamo.....	54
Figure33 :	Droite de régression (pluie brute filtrée et production filtrée) pour Miarinarivo.....	54
Figure34 :	Droite de régression (pluie brute et production filtrée) pour Soavinandrina.....	55
Figure35 :	: Droite de régression entre NDVIa et production.....	58

Figure36 :	Droite de régression entre NDVIx et production filtrée.....	59
Figure37 :	Droite de régression entre dmin et production filtrée.....	60
Figure38 :	Courbe de la production annuelle de pomme de terre et NDVIa à Arivonimamo.....	62
Figure39 :	Courbe de production de la pomme de terre réelle et estimée pour Arivonimamo.....	63
Figure40 :	Courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Miarinarivo.....	65
Figure41 :	Courbe entre la production de la pomme de terre filtrée et le NDVIx à Soavinandriana.....	67
Figure42 :	Courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Soavinandriana.....	68
Figure43 :	Courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Soavinandriana .....	69

## LISTE DES FIGURES

Tableau1 :	Districts, communes et superficies.....	2
Tableau2 :	Station météorologiques à Itasy.....	3
Tableau3 :	Calendrier culturel de la pomme de terre dans la région d'Itasy.....	16
Tableau4 :	Sources et caractéristiques des produits NDVI collectés.....	21
Tableau5 :	Récapitulation statistique de pluies cumulées d'Arivonimamo.....	33
Tableau6 :	Récapitulation statistique de pluies cumulées de Miarinarivo.....	34
Tableau7 :	Récapitulation statistique de pluies cumulées de Soavinandrina.....	35
Tableau8 :	Coefficients de corrélation obtenus pour le district d'Arivonimamo.....	39
Tableau9 :	Coefficients de corrélation obtenus pour le district de Miarinarivo.....	40
Tableau10 :	Coefficients de corrélation obtenus pour le district de Soavinandrina.....	42
Tableau11:	Coefficients de corrélation obtenus pour le district d'Arivonimamo.....	44
Tableau12 :	Coefficients de corrélation obtenus pour le district de Miarinarivo.....	44
Tableau13 :	Coefficients de corrélation obtenus pour le district de Soavinandrina.....	44
Tableau14 :	Corrélation entre le NDVI et production.....	57
Tableau15 :	Corrélation entre les données NDVI sortie de WINDISP et production.....	57
Tableau16 :	: Résultats des coefficients de corrélations entre les données de NDVI et la production filtrée...	59
Tableau17 :	Résultats globaux des modèles de production pour Arivonimamo.....	62
Tableau18 :	Différence entre production réelle et estimée.....	64
Tableau19 :	Résultats globaux des modèles de production pour Miarinarivo.....	64
Tableau20 :	Différence entre production réelle et estimée.....	66

Tableau21 : Résultats globaux des modèles de production pour Soavinandriana.....	67
Tableau22 : Devis estimatif sur les matériels utilisés.....	70
Tableau23 : Devis estimatif sur les traitements.....	70
Tableau24 : Devis estimatif sur les mains d'œuvre.....	71
Tableau25 : Devis estimatif total.....	71
Tableau26 : Rendement moyen estimé en 1995-2010 pour la région d'Itasy.....	72

## INTRODUCTION

La pomme de terre appartient à la famille des solanacées. Elle a une place non négligeable sur le plan alimentaire et économique. Cultivée dans quelques 130 pays, elle est l'une des plus importantes et des plus populaires cultures à travers le monde (Kashyap et Panda, 2003). La production mondiale actuelle est d'environ 311 millions de tonnes de tubercules frais pour une superficie cultivée de 19.2 millions d'hectares (FAO, 2004). Il existe des possibilités considérables d'accroissement de la superficie cultivée et de la productivité dans de nombreux pays en développement, en particulier ceux des climats chauds (CIP, 1999). Selon le CIP (1999), la production de pomme de terre dans les pays en développement est en expansion depuis la fin des années 1990. On constate une augmentation de 4.5% de la production annuelle de tubercules et de 2.4% de la superficie ensemencée. Elle est accompagnée d'une baisse du taux de croissance des superficies en maïs, en blé et en riz, particulièrement en Asie. Au cours de l'année 2000, elle a généré au Canada 33% des revenus de toutes les récoltes agricoles, soit 670 millions de dollars (AAC, 2000).

A Madagascar, la pomme de terre occupe une place stratégique dans la politique de sécurité alimentaire. Elle tient la quatrième place après le riz, le manioc, la patate douce. Actuellement, elle est devenue de plus en plus une culture de rente. Elle est devenue une culture d'exportation après la coopération avec le Maurice depuis 2004. La production nationale est estimée à 500.000 tonnes par an.

Même si la région de Vakinankaratra est le premier producteur de pomme de terre, la région d'Itasy tient la première place au niveau du rendement à raison de 10 tonnes/hectares selon la statistique agricole en 2003. La culture de la pomme de terre y prend la troisième place.

Dans l'optique d'améliorer la maîtrise de la production de pomme de terre, cette étude a pour objectif: « **contribution à la modélisation de la prévision de production de pomme de terre dans la région d'Itasy** » à partir des données météorologiques de la télédétection (RFE, NDVI), et à partir des données observées au niveau de la production.

Pour mieux aborder ce problème, le présent travail nous conduit dans une première partie aux généralités de l'étude ; ensuite dans la deuxième partie nous aborderons la définition des données et des logiciels utilisés; et pour finir aux traitements des données et aux analyses et interprétations des résultats dans la troisième partie.

# Partie I

## GENERALITE DE L' ETUDE

## PARTIE I : GENERALITES DE L'ETUDE

### I.1. GENERALITE SUR LA REGION

#### **I. 1.1-localisation de la région et la zone d'étude :**

La région de l'Itasy, située entre les 46° 10' et 47° de longitude Est et entre 19° 39' et 19° 25' de latitude Sud, est notre zone d'études. Elle est limitée au Nord et Nord-Est par la Région Analamanga, au Sud et au Sud-Est par la région Vakinankaratra et au Nord Ouest et à l'Ouest par la région de Bongolava.

Etendue sur une superficie de 6 727 km<sup>2</sup>, la région de l'Itasy est la plus petite des régions de Madagascar. Elle regroupe 3 districts ou Fivondronana dont Miarynarivo, Soavinandriana et Arivonimamo. Ces trois districts rassemblent 51 communes abritant 513 Fokontany, comme l'indique le tableau 1 ci-après.

DISTRICTS	SUPERFICIE S (Km <sup>2</sup> )	COMMUNES
<b>Arivonimamo</b>	2025	Arivonimamo (CU), Arivonimamo sub, Ambatomanga, Mahajinjo, Ampahimanga, Amboanana, Ambohitrambo, Morafeno, Antanandehibe Imerintsiatosika, Ambohimandry, Manalalondo, Marofangady, Rambolamasoandro, Mahatsinjo Est, Antenimbe, Morarano, Ambohimpanzano, Miantsoarivo, Ambohimasina, Alakamisy, Ambatomirahavavy, Ampahimanga
<b>Miarynarivo</b>	2634	Miarynarivo(CU), Miarynarivo Sub, Ambatomanjaka, Manazary, Soamahamanina, Analavory, Mandiavato, Anosibe-Ifanja, Sarobaratra, Soavimbazaha, Andolofotsy, Zoma Bealoka.
<b>Soavinandrina</b>	1907	Soavinandriana, Dondona, Antanetibe, Ampary, Mananasy, Mahavelona, Masindray, Amparaky, Ampefy, Ankaranana, Ankisabe, Ambatoasana Afovoany, Tamponala

Tableau1 : Districts, Communes et Superficies.

Source : Programme régionale de développement rurale.

La figure 1 suivante représente la région d'Itasy :



Figure1: carte de la région d'Itasy.

Source : Programme régionale de développement rurale.

### **I.1.2 -Climat de la région d'Itasy :**

### I.1.2.1- Le réseau de stations d'observation météorologiques :

La plupart des stations d'observation météorologiques ne sont plus opérationnelles.

Les données disponibles correspondent aux périodes de différentes mesures selon la

fonctionnalité des différentes stations d'observation météorologiques suivant le tableau 2 ci-dessous.

STATION	Longitude Est	Latitude Sud	Altitude (m)	Mesures effectuées		OBSERVATIONS
				T°	P	
<b>ARIVONIMAMO</b>						
1- ARIVONIMAMO	47° 10	19° 02	1450	X	X	non fonctionnelle
2- AMBOHIPANDRANO	47° 22	19° 03	1325		X	non fonctionnelle
3- MIAANTSOARIVO	47° 25	19° 12	1403		X	non fonctionnelle
4- IMERINTSIATOSIKA	47° 18	19° 58	1340		X	fonctionnelle
<b>MIARINARIVO</b>						
5- MIARINARIVO	47° 53	19° 58	1330	X	X	
6- IJELY	47° 55	19° 59	-	X		non fonctionnelle
<b>SOAVINANDRIANA</b>						
7- SOAVINANDRIANA	47° 44	18° 10	1575	X	X	non fonctionnelle
8- AMPEFY	47° 44	19° 03	-		X	fonctionnelle

Tableau 2 : station météorologiques à Itasy

Source : Direction Générale de la Météorologie d'Antananarivo

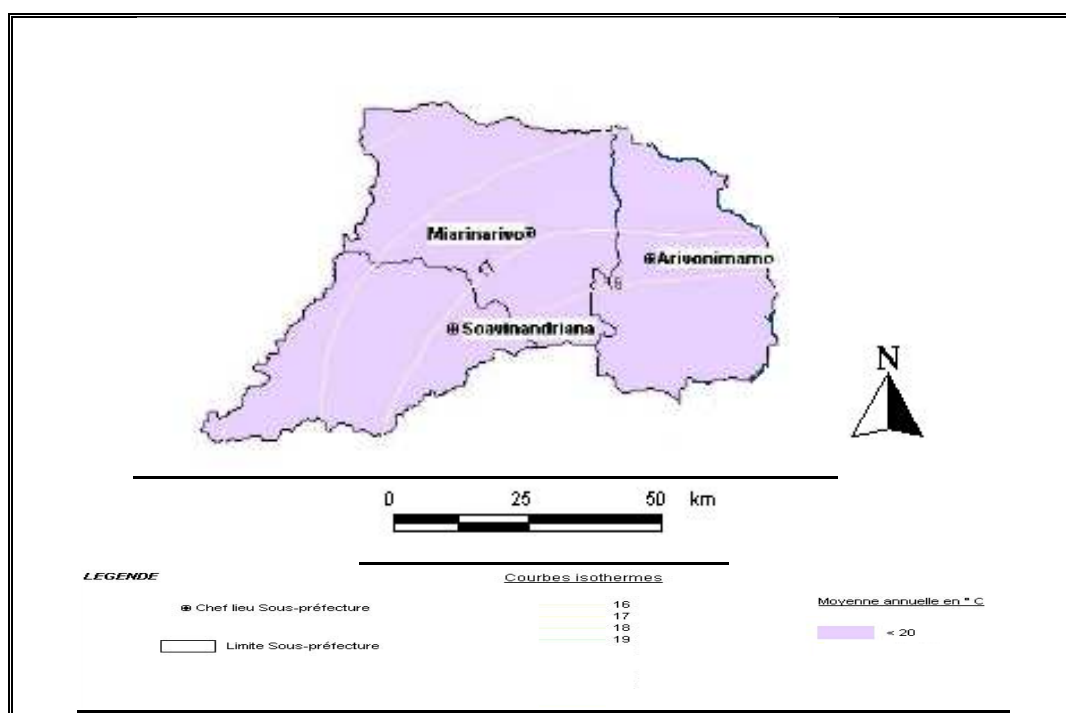
### I.1.2.2 Température et Pluviométrie :

Le climat est de type tropical d'altitude de deux saisons bien distinctes, une saison fraîche et sèche d'avril en septembre et une saison chaude et humide d'octobre en mars. Les précipitations annuelles oscillant entre 800 mm et 1 000 mm durant la saison pluvieuse et pendant la saison fraîche la hauteur moyenne mensuelle des pluies est de 40 mm. La température moyenne mensuelle est comprise entre 26.7° en janvier et 7.1° en août.

Il est possible de pratiquer à la fois la riziculture irriguée, les cultures de maïs et d'arachides ainsi que certaines cultures tempérées comme : les fruits, la pomme de terre et des diverses légumes sur les terrains fertiles de l'Ouest.

Pendant cinq années, les cyclones tropicaux : Géralda en 1994, Eline en 2000 et les autres perturbations climatiques comme la grêle, l'inondation, la tornade, etc. ont causé des dégâts considérables sur les cultures, sur l'environnement et la vie des habitants.

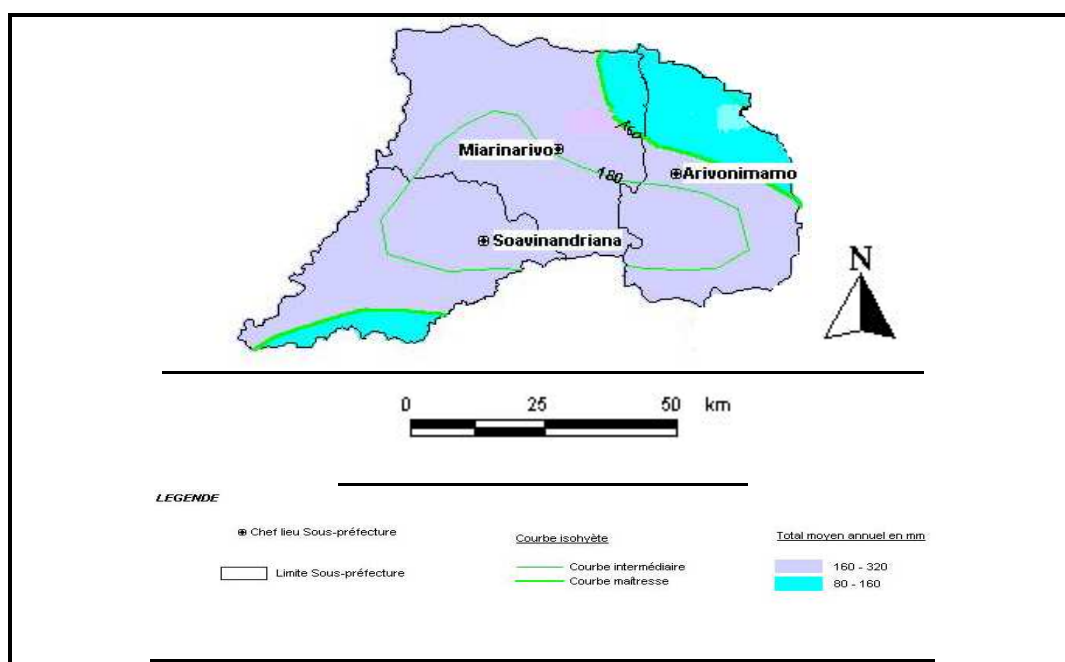
Figure2: CARTE THERMIQUE DE LA REGION D'ITASY



Source : BD 500 FTM/MAEP/SAGE

Edition : Mars 2003

Figure3: CARTE PLUVIOMETRIQUE DE LA REGION D'ITASY



Source : BD 500 FTM/MAEP/SAGE

Edition : Mars 2003

### I.1.3- Relief de la région de l'Itasy :

#### I.1.3.1. Topographie et géomorphologie :

Les altitudes de la région sont comprises entre 1200 et 1800 m. La morphologie est marquée par des zones d'accumulation sédimentaire formant de grandes plaines ceinturées par divers types de relief. Il s'agit de montagnes escarpées et érodées d'altitude située entre 1200 m et 1600 m avec un modelé convexe à l'Est et des reliefs volcaniques culminant jusqu'à 1800 m à l'Ouest.

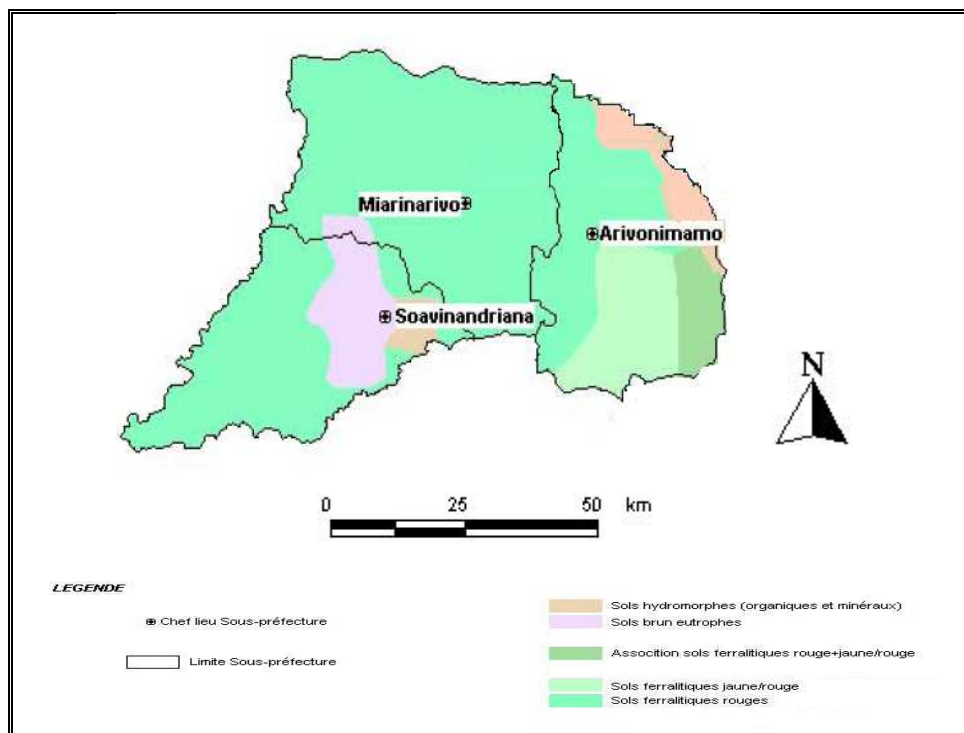
Le substratum est constitué de roches métamorphiques et magmatiques. Il s'agit principalement de roches acides comprenant des faciès profonds, représentés par des charnokites, des ankaratrites, des migmatites granitoïdes et des granites migmatiques, des trachytes, phonolite, andesite et basanite (Besairie 1972).

### I.1.3.2- Sol :

Quatre types de sols sont identifiés dans la région :

- Les sols sur tanety caractérisés par les sols ferralitiques lessivés riche en fer et en aluminium dont la fertilité est presque nulle ;
- Les sols hydromorphes à marécages tourbeux, sur des sédiments récents occupant les bas fonds à pH acide de bonne qualité qui est réservés généralement pour les rizières ;
- Les sols volcaniques ou andosols de différentes couleurs qui sont très fertiles à cause de ses caractéristiques riches en matière organiques sous forme d'humus, et ses structures finement poussiéreuses à sec, c'est ainsi que les sols cultivables sont totalement occupés dans la zone de Soavinandriana ;
- Les sols rouge-bruns dans la zone de Miarinarivo, caractérisés par un fort pourcentage de sable ; ce sont des sols relativement riches et qui sont favorables pour les cultures des tanety.

Figure4 : CARTE PEDOLOGIQUE DE LA REGION D'ITASY



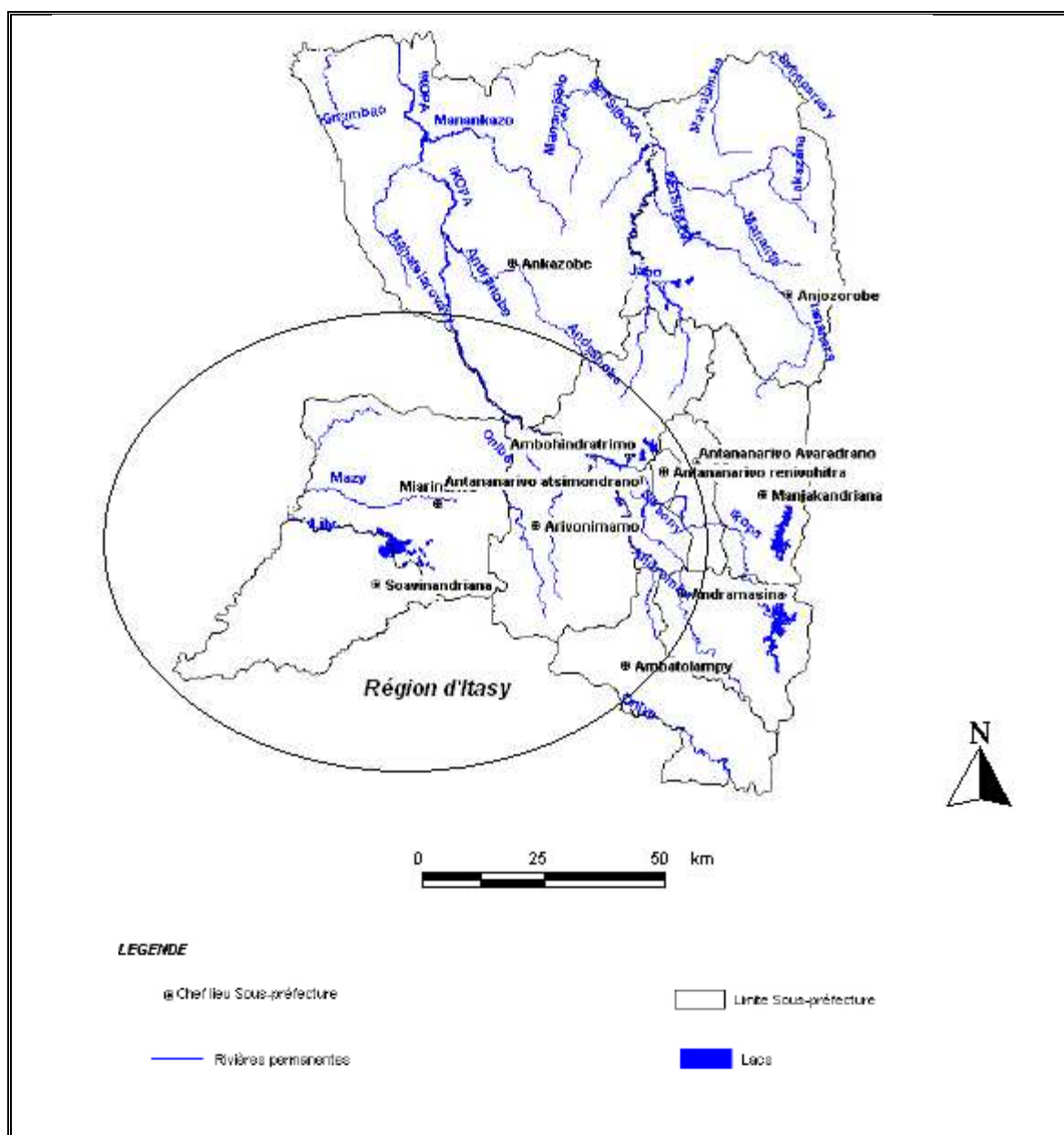
Source : BD 500 FTM/MAEP/SAGE

Edition : Mars 2003

### I.1.3.3- Hydrographie :

La région de l'Itasy est une zone à densité hydrographique importante. La rivière de Lily, déversoir du Lac Itasy se jette dans le Sakay, affluent de la Tsiribihina débouche dans le canal de Mozambique. Le lac Itasy est alimenté par les rivières de Fitandambo, de Matiandro et d'Andranomena. Des cours d'eau de moyenne importance sillonnent aussi à l'intérieur du bassin versant du lac Itasy. Ils s'agissent de Varahana, Manahavolo, Antsampangdrano, Manakavato, Lily, Tsifatabahiny, Kelimivazo, Andavakisolo, Zanakolo, Andranofotsy, Ankarahara, Mahafakanina, Marofoza, Kitsamby, etc.

Figure5: CARTE HYDROGRAPHIE DE LA REGION D'ANTANANARIVO



Source : BD 500 FTM/MAEP/SAGE

Edition : Mars 2003

### **I.1.4- L'agriculture**

L'agriculture et l'élevage sont les activités principales de la population (85%) de la région de l'Itasy. La riziculture est la principale activité de la population locale. Mais, elle pratique également les cultures vivrières comme le manioc, le maïs, le haricot, la pomme de terre et la tomate. Quant aux autres activités, la présence des lacs dans la région développe les activités de pêches où certains paysans vivent exclusivement de la pratique de la pêche et

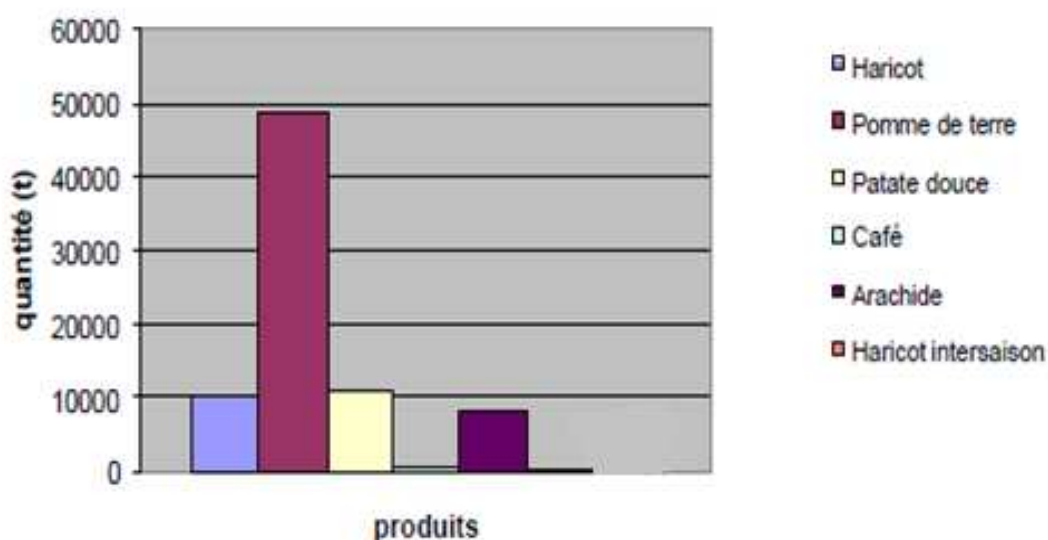
d'autre la considèrent seulement comme distraction dont les produits sont destinés à compléter l'alimentation.

L'agriculture reste l'activité de base, elle assure à la fois l'alimentation et le revenu des paysans. Les cultures pratiquées sont très diversifiées, le tanety et les bas fond avec le baiboho (bas de pente ou tête de vallon) appelé aussi "lohasaha" et constituent les trois unités principales du terroir.

Sur le tanety, les paysans ont développé les cultures pluviales. Par ordre d'importance, ces cultures sont le maïs, la pomme de terre, l'haricot, le manioc, la patate et l'arachide. Les techniques culturales demeurent cependant peu évoluées. De plus, les sols anciennement exploités ne donnent plus le rendement d'antan sans apport de quantité importante de fumures. C'est pourquoi, chaque ménage s'efforce de garder au moins deux bœufs pour les travaux agricoles et pour les fumures. Toutefois, l'engrais chimique est largement utilisé.

Le baiboho est favorable à toutes cultures. Cette unité du terroir est exploitée pour la production des cultures vivrières.

**Production dans la région de l'Itasy (Rapport CIRDR, 2004)**



*Figure6 : Production culturale en tonne à Itasy*

## I.2. GENERALITE SUR LA POMME DE TERRE

La pomme de terre vient du nom latin solanum tuberosum, son nom malgache est « Ovy ». Elle appartient à la famille des solanacées, dans la famille des curvembryées et tridu des Atropées. La famille à laquelle appartient la pomme de terre englobe environ 2000 espèces groupées en près de 90 genres, dont 50 viennent de l'Amérique tropicale.

### **I.2.1. Buts de la culture**

On cultive la pomme de terre pour son tubercule pour être mangé, sous forme de purées, frites, compotes, salades, etc. D'une part, les travaux en industrie transforment la pomme de terre en chips, purée déshydratée, pour l'extraction de fécule, d'autre part elle est utilisée à la fabrication d'alcool, à la papeterie, à la cartonnerie, au textile, en pharmacie.

Les tubercules, en particulier ceux de trop petite taille, sont donnés aux animaux, surtout aux porcins. Ils sont distribués également sous forme d'ensilage. La culture de pomme de terre remédie à la dégénérescence des cultures.

### **I.2.2. Botanique**

#### I.2.2.1. Origine :

La pomme de terre est originaire des Andes Sud-Américaines; le solanum stenotomum y est cultivée jusqu' à 4000m d'altitude. Elle arrive en Italie et en Espagne vers 1534 puis en Angleterre, en Irlande et en Allemagne au 17<sup>ème</sup> siècle.

L'extension de sa culture a été exceptionnelle, bien adaptée aux sols légers et aux climats frais. L'URSS, la Pologne et les Etats-Unis sont les premiers pays producteurs dans le monde.

#### I.2.2.2. Description

##### **a) Racines**

Les racines sont nombreuses, fines et longues. Elles forment un chevelu abondant qui s'enfonce profondément dans le sol. L'absorption de l'eau se fait normalement à 70% dans les 30 premiers centimètres et à 100% dans les 40 à 60 premiers centimètres du sol.

## b) Tiges

Il existe deux sortes de tiges :

Ç Tiges aériennes : vertes qui proviennent du développement des yeux du tubercule-mère. Elles sont au nombre de 3 à 20 par pied. Elles ont une section irrégulière, souvent triangulaire et sont munies d'ailes. Elles portent des feuilles, des fleurs et des fruits.

Ç Tiges souterraines : ou rhizomes dont l'extrémité se renfle pour former les tubercules.

## c) Tubercules

Les tubercules sont des portions des tiges souterraines. Ils comprennent un pôle basal, partie élargie légèrement déprimée où s'insère le rhizome, et un pôle apical sur lequel sont disposés les yeux. Ce pôle apical s'appelle la " couronne " et les yeux qui y sont disposés en spirale se trouvent pratiquement tous dans cette partie du tubercule.

Ces yeux, en se développant, donneront des germes puis des tiges aériennes. La forme des tubercules est très variée : allongée, ovale, ronde,... La couleur de la peau varie également : blanche, jaune, rose, rouge,... tandis que la couleur de la chair est soit blanche, soit jaune. Les tubercules renferment 15 à 18% de leur poids en amidon.

## d) Feuilles

Elles sont vertes, grandes, très découpées et disposées en spirale sur les tiges. Elles comprennent 3 à 7 folioles et une foliole terminale. Toutes ces folioles sont portées par de petites ramifications qui s'insèrent sur le pétiole de la feuille. Au point d'insertion, il existe des folioles plus petites ou foliolules. Ces foliolules se trouvent, dans certains cas, insérées directement sur le pétiole.

Enfin, au point d'insertion du pétiole sur la tige, on trouve deux stipules.

## e) Fleurs

Elles sont terminales et groupées en cymes. Chaque fleur a 2 à 3 cm de large qui se forme en corolles rotacées et conniventes variant du blanc au violet en passant par le rose.

#### f) Fruits

Ce sont des baies sphériques vertes qui jaunissent ou noircissent à maturité. Ces fruits n'apparaissent pas toujours.

#### g) Graines

Elles sont albuminées vaguement réniformes et contenues dans les deux loges de chaque baie.

### I.2.2.3. Phase végétative

#### a) Phase de germination

Entre la récolte et la transformation des yeux en germes, il s'écoule une durée variable avec les variétés. Il s'agit d'une " dormance ". On compte 2 à 4 mois en moyenne. Cette phase dépend étroitement de la température optimum de 20 à 25°C et de la lumière qui doit exister afin d'obtenir des germes courts et trapus.

#### b) Phase de croissance

Les germes se transforment en tiges aériennes. Les racines apparaissent en même temps. Les tiges aériennes s'allongent et portent les feuilles. Cette levée se fait 2 ou 3 semaines après la mise en terre des semenceaux.

#### c) Phase de tubérisation

C'est l'apparition des tiges souterraines et la formation des tubercules qui commencent à grossir. Cette phase débute 50 jours environ après l'entrée en germination du tubercule-mère. Elle dure 90 jours environ.

#### d) Phase de floraison et de fructification

Dès que les tiges aériennes ont atteint leur hauteur définitive, les fleurs apparaissent et se transforment en fruits.

### e) Phase de déclin des organes végétatifs

La floraison terminée, tiges et feuilles commencent à jaunir et à se dessécher. Leurs substances de réserve migrent dans les tubercules qui terminent leur phase de grossissement.

### f) Phase de repos végétatif

Les tubercules ne grossissent plus et leur teneur en fécule est maximum. La phase de repos végétatif y commence jusqu'à la prochaine germination.

La durée complète du cycle végétatif varie de 100 à 150 jours en moyenne.

Le schéma ci-dessous montre le cycle végétatif de la pomme de terre :

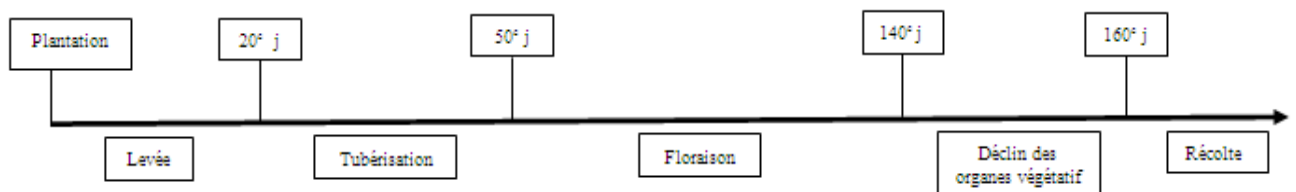


Figure7: cycle végétatif de la pomme de terre.

## I.2.3. Écologie

### I.2.3.1. Besoins en chaleur

La pomme de terre est une plante très rustique qui résiste aussi bien au froid jusqu' à  $-3^{\circ}\text{C}$  qu'à la chaleur, jusqu' au-delà de  $+30^{\circ}\text{C}$ . Mais la température influe sur les rendements. Les moyennes journalières optimales sont de  $+18$  à  $+20^{\circ}\text{C}$ . Le zéro de végétation qui est la température la plus basse au dessus de laquelle la croissance est positive, est de  $+10^{\circ}\text{C}$ . En général, une température nocturne inférieure à  $+15^{\circ}\text{C}$  est nécessaire au début de la formation des tubercules et la température du sol optimal pour leur bon développement est de  $+15^{\circ}\text{C}$  à  $+18^{\circ}\text{C}$ . Au-dessous de  $+10$  et au-dessus de  $+30^{\circ}\text{C}$ , ce développement est fortement inhibé. Par ailleurs, des températures trop fraîches au moment de la plantation

ralentissent la levée, et peut prolonger le cycle végétatif. L'excès de température ne gêne la pomme de terre que si elle s'accompagne de sécheresse.

La température optimum pour le cycle végétatif varie de 15 à 25°C.

#### I.2.3.2. Besoins en eau

La pomme de terre demande de l'eau pendant tout son cycle végétatif, surtout pendant la phase de tubérisation. Il lui faut des arrosages réguliers, bien réparties, sans période sèche. Le régime des pluies influence beaucoup sur le rendement et la qualité. Ses besoins en eau sont de l'ordre de 500 à 700 mm; 250 mm d'eau constituent un minimum.

#### I.2.3.3. Besoins en lumière

Les variétés précoces sélectionnées pour les climats tempérés nécessitent comme longueur de la journée de 15 à 17 heures, tandis que les variétés tardives c'est-à-dire les variétés à cycle long donnent de bons rendements que le jour soit long ou court. Sous le climat tropical, il faut des variétés qui tolèrent des jours courts et peuvent s'adapter aux conditions locales. La formation de fécule est directement influencée par la luminosité. L'ombrage est donc à proscrire absolument.

#### I.2.3.4. Besoins en sols

La pomme de terre est une plante exigeante qui demande des terres profondes, saines, riches et bien drainées, toujours fraîches. Elle pousse bien en terres sableuses, franches ou humifères. Elle préfère les terres à pH acide de 6 à 6,5.

#### I.2.3.5. Besoins en altitude

La pomme de terre donne son meilleur rendement en région d'altitude, à partir de 800 m. De même pour Madagascar, elle pousse bien entre 800 et 1.500 m d'altitude.

### **I.2.4. Variétés**

Garana : peau grise tachetée de blanc, chair blanche, cycle moyen 120 - 130 jours  
bonne conservation, bon rendement, s'adapte aux différents types de sols

Pta : peau et chair blanches, cycle moyen 120-130 jours assez bonne conservation,  
très bon rendement, tolérante aux sols acides, recommandée pour les régions de faible  
altitude (régions cotières).

Kinga : peau et chair blanches, cycle court 90-120 jours, bonne conservation, bon  
rendement, tolérante aux sols acides

Atzimba : peau et chair blanches, cycle moyen 120-130 jours, bonne conservation,  
bon rendement, tolérante aux sols acides

### **I.2.5. Plantation**

#### **I.2.5.1. Époque de plantation**

Il existe 3 types de cycle :

¢ Cycle dit de saison : août - septembre à décembre – janvier;

¢ Cycle intermédiaire : janvier - mars à mai – juillet;

¢ Cycle de contre-saison : juin - juillet à octobre – novembre.

#### **I.2.5.2. Calendrier cultural**

Dans notre étude nous avons pris la pomme de terre pluviale qui possède un cycle long environ 160 jours. En moyenne, selon le recensement fait par le MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche), le paysan sème avant les premières pluies vers le début du mois de novembre, pour récolter vers le début avril. Cependant, là où les pluies sont insuffisantes ou tardives, les agriculteurs sèment en début janvier pour obtenir également une récolte en début avril.

D'après le ministère de l'Agriculture et l'enquête que nous avons fait sur le lieu d'étude, on a une moyenne de calendrier cultural représentée sur le tableau 3 ci-dessous où la date de semis est à la 3<sup>ème</sup> décennie d'octobre et le cycle se termine à la 3<sup>ème</sup> décennie de mars.

Tableau 3 : Calendrier culturel de la pomme de terre dans la région d'Itasy.

- Préparation du sol
- Semis
- .... Entretien
- Récolte

### I.2.6.1. Maladies

- Mildiou : tâche vert pâle sur les feuilles purs jaunes et bruns sur la face inférieure;

Au bout de quelques jours, les feuilles se dessèchent et la maladie s'étend jusqu'aux tiges qui brunissent; les tubercules peuvent être contaminés par les spores du champignon.

L'épiderme prend une couleur brune. Les tissus sous-épidermiques présentent une couleur rouille;

- Alternariose : tâches brunes arrondies sur les feuilles, les tubercules attaqués présentent des tâches brunes nettement affaissées.
- Fusariose : pourriture sèche du tubercule, le tubercule se couvre d'un mycélium blanc

- Flétrissement bactérien : flétrissement brusque de la plante. A la pression avec les doigts, le tubercule fait sortir un liquide blanc laiteux.
- Galle commune : tâches ou croûtes tubéreuses.

### I.2.6.2. Ennemis

- Nématodes : ils attaquent les tubercules et provoquent des galles, facilement reconnaissables. En faisant une coupe à l'intérieur de ces galles on peut trouver des femelles remplies d'œufs.
- Coccinelles : Les larves rongent les feuilles.
- Vers gris : ils coupent les jeunes plants au collet.
- Cochenilles : ils piquent la base des tiges aériennes ou envahissent les bourgeons puis les tubercules dans les germeaux.
- Teigne : il creuse des galeries dans les tubercules emmagasinés.
- Pucerons : ils piquent les feuilles et provoquent des déformations du limbe.

### I.2.6.3 Maladies et ennemis qui existent dans la région d'Itasy

Le Mildiou est la seule maladie qui provoque des dégâts sur la culture de la pomme de terre dans la région d'Itasy selon les enquêtes que nous avons menées au niveau de chaque district.

- Condition climatique favorable au Mildiou :

La sporulation du champignon au départ des premiers foyers d'infestation permet d'initier l'épidémie. Cela se fait généralement en période chaude où la température varie entre 15 à 24°C avec une humidité relative supérieure à 90% pendant plus de 8 heures. Souvent, par suite d'un assèchement passager de l'atmosphère, les spores des champignons sont dispersées et le vent aide leurs déplacements jusqu'à plusieurs centaines de mètres. Si la spore est déposée sur une feuille mouillée, elle peut infecter un nouveau plant. Une pluie, une rosée ou un brouillard épais suivant une période favorable à la sporulation constituent les conditions idéales pour un début de l'épidémie. La quantité de spores présentes et la température pendant la période favorable à la germination déterminent l'ampleur de la nouvelle infection. Plus la température est proche de 22°C, plus les chances d'infection sont grandes.

# Partie II

## DONNEES ET LOGICIELS UTILISES

## **PARTIE II : DONNEES ET LOGICIELS UTILISES**

### **II.1. DONNEES UTILISEES:**

Notre étude concerne une période de 15 ans (1995 à 2010). L'ampleur des données manquante au sein du service météorologique nous conduit à utiliser les données de Télédétection.

#### **II.1.1. Données météorologiques de la télédétection :**

##### **II.1.1.1. RFE (Rainfall Estimates) :**

Les précipitations décennales estimées RFE sont produites par la NOAA-CPC (Climate Prediction Center) pour l'activité FEWS-NET (Réseau de Système d'Avertissement Précoce de la Famine) et distribuées dans l'Afrique Australe par la RRSU (Regional Remote Sensing Unit). Ces données sont disponibles à partir de 1995.

Les RFE sont générées à partir des images CCD (Cold Cloud Duration ou durée des nuages froids) à -38°C et corrigées à partir des mesures pluviométriques des 1000 stations approximatives d'OMM-SMT (Système Mondial des Télécommunications de l'Organisation Mondiale de la Météorologie) sur des grilles de résolution de 10 km (0.1° x 0.1°).

Un exemple de produit RFE de la 1<sup>ère</sup> décennie du mois de janvier 1996, couvrant Madagascar, est affiché dans la figure suivante.

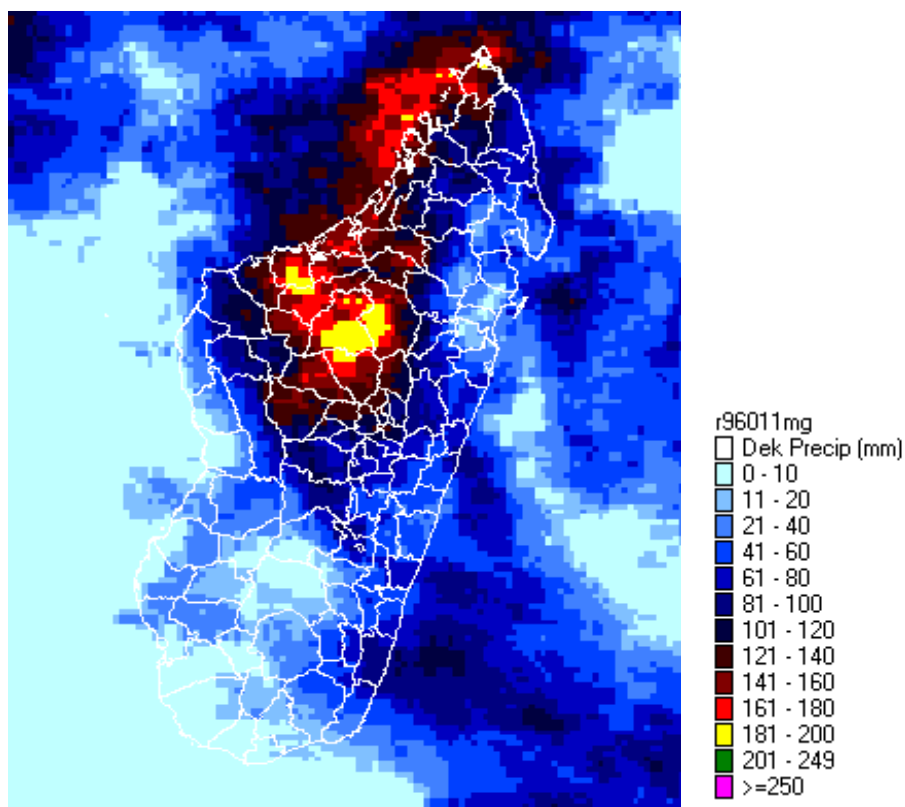


Figure8 : Affichage de la RFE de la 1<sup>ère</sup> décade du mois de janvier 1996 superposée avec le masque des Districts.

### II.1.1.2. NDVI (Normalized Vegetation Index)

#### a) Description

L'indice de végétation normalisé (NDVI) est un indicateur numérique simple. En général, il peut être utilisé pour analyser les mesures des données de télédétection, mais pas nécessairement à partir d'une plate-forme spatiale, et d'évaluer si l'objectif observé contient une vive végétation verte ou non

Les valeurs de NDVI varient de -1 à 1. Les valeurs négatives proches de -1 correspondent à l'eau et les valeurs élevées proches de 1 indiquent des forêts pluviales tempérées. Les valeurs proches de zéro entre -0,1 et 0,1 correspondent à des zones arides, des roches, du sable ou de la neige. Les faibles valeurs positives de 0,2 à 0,4 représentent des arbustes et des prairies.

### b) Principe

Les plantes vertes absorbent le rayonnement solaire dans le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA) région spectrale, dont elles servent de source d'énergie dans le processus de la photosynthèse. Les cellules de la feuille dispersent (reflètent et transmettent) le rayonnement solaire dans la région proche-infrarouge (PIR) du spectre qui transporte environ la moitié de l'énergie solaire totale entrant. Une forte absorption de ces longueurs d'onde ne ferait qu'entraîner une surchauffe du système et éventuellement endommager les tissus. Par conséquent, les plantes vertes apparaissent relativement sombres dans le RPA et relativement lumineuses dans le PIR. En revanche, les nuages et la neige ont tendance à être assez clairs dans le rouge et très sombres dans le PIR.

Depuis les premiers instruments aériens d'observation de la Terre tels que la NASA et le NOAA-AVHRR, il était naturel d'exploiter les fortes différences de réflectance des plantes afin de déterminer leur répartition spatiale dans ces images par satellite.

Le NDVI est calculé à partir de ces mesures individuelles comme suit:

$$NDVI = \frac{PIR - ROUGE}{PIR + ROUGE}$$

Où PIR : les mesures de réflectance spectrale enregistrées dans les zones proche-infrarouge.

Rouge : les mesures de réflectance spectrale enregistrées dans les régions rouges

Ces réflectances spectrales sont des ratios du rayonnement réfléti et du rayonnement entrant dans chaque bande spectrale. Elles prennent des valeurs entre 0,0 et 1,0.

Des travaux ultérieurs ont montré que le NDVI est directement lié à la capacité de photosynthèse et à l'absorption d'énergie de la couverture végétale<sup>16</sup> (PJ Sellers, « réflectance de la couverture végétale, la photosynthèse et la transpiration », *International Journal of Remote Sensing*, 1985.).

### c) Produits NDVI

Les produits sont des synthèses décennales déjà corrigés géométriquement et corrigés des effets atmosphériques. Ces produits sont gratuits, leurs sources et leurs caractéristiques sont énumérées dans le tableau 4 suivant :

gamme	Source	site de téléchargement	distributeur	Résolution	type de données
1988-1998	NOAA-AVHRR	-	SADC RRSU	8km	Valeur physique (-1 à 1)
1998-2009	SPOT VGT	<a href="http://www.devcocast.eu/">http://www.devcocast.eu/</a> <a href="http://free.vgt.vito.be">http://free.vgt.vito.be</a>	DEVCOCAST /VITO	1km	Valeur numérique (0-255)

Tableau4 : Sources et caractéristiques des produits NDVI collectés

### d) Prétraitement des produits NDVI :

Les produits distribués par la SADC RRSU sont directement exploitables, tandis que les produits offerts par VITO doivent être reconvertir des valeurs numériques de 0 à 255 en valeurs physiques de -1 à 1 en appliquant l'équation suivante:

$$PV = 0.004 \times DN - 0.1$$

Où

PV (Physical Value) est la valeur physique à interpréter ;

DN (Digital Number) est la valeur numérique;

L'affichage et le traitement de ces données se fait dans le logiciel *WinDisp* dans la partie II-II.2 .2 de la page24.

Un exemple de produit NDVI de la 1<sup>ère</sup> décade du mois de janvier 1996, couvrant Madagascar, est montré dans la figure 9 suivante.

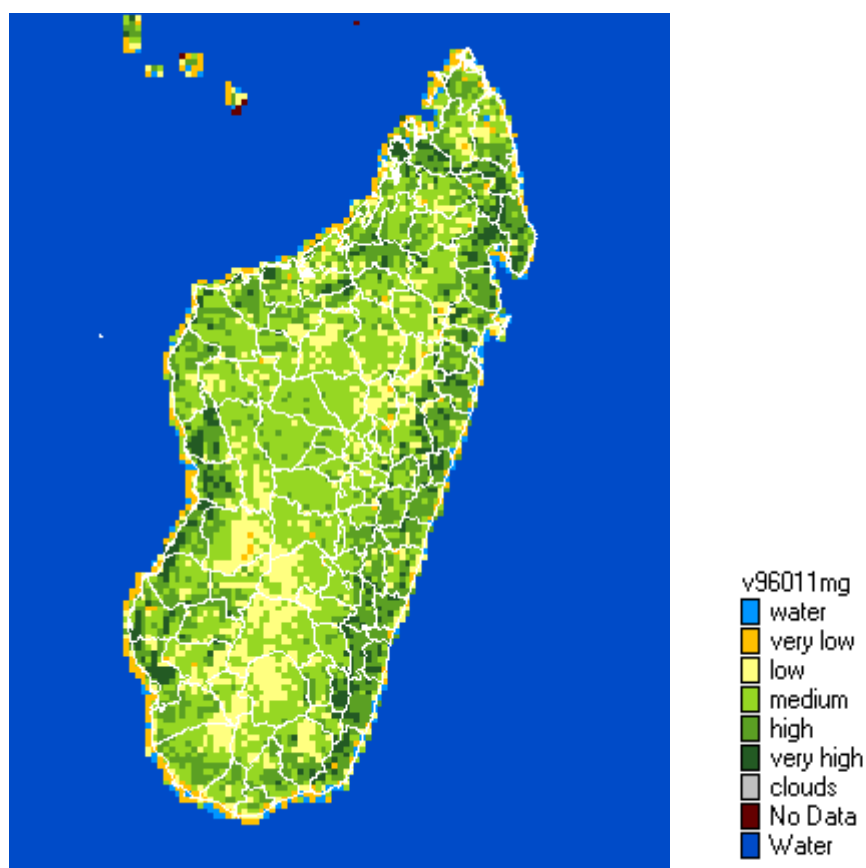


Figure9: Affichage de la NDVI de la 1<sup>ère</sup> décennie du mois de janvier 1996 superposée avec le masque des Districts.

### **II.1.2. Données agricoles**

Nous avons collecté les séries de production au Service des Statistiques Agricoles de la Direction des Informations et du Suivi-Évaluation du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.

Selon le responsable, les données agricoles sont obtenues à la fois à partir de :

- La collecte des données auprès des organismes ;
- L'exploitation des fichiers d'évaluation de la campagne agricole donnant l'évaluation qualitative et quantitative, le pourcentage ou la proportion ;
- L'application de méthode de projection sur la base des résultats du dernier recensement agricole.

Le paramètre cible dans notre étude est la valeur de la production de la pomme de terre en tonne pour chaque campagne agricole. Les courbes de séries de productions annuelles pour chaque district sont montrées dans les figures 10 et 11 suivantes.

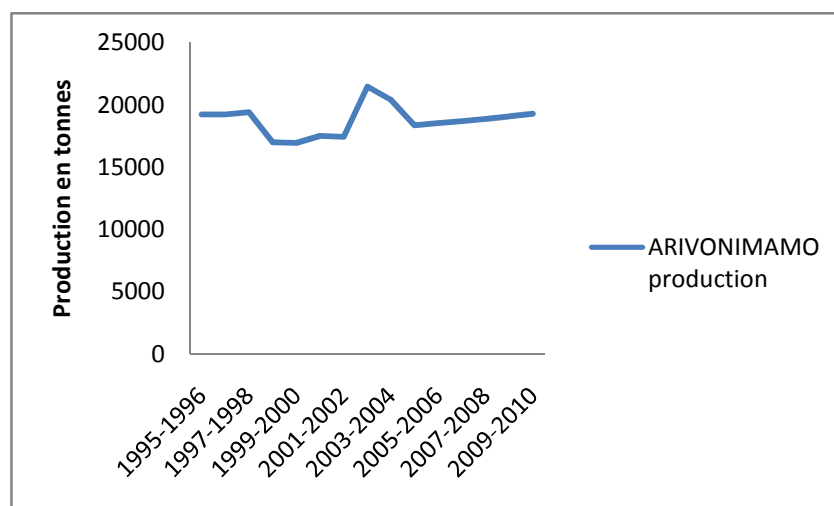


Figure10 : série de productions annuelles de 1995à 2010 (Arivonimamo)  
Source : Statistiques Agricoles

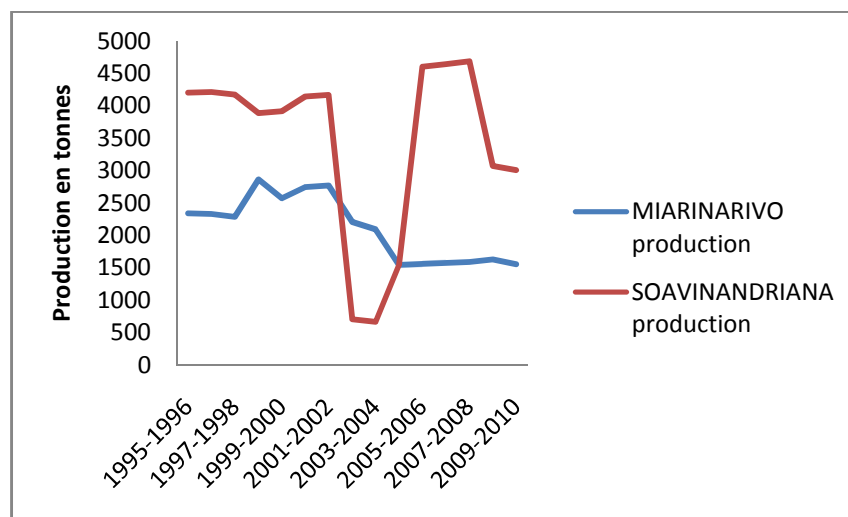


Figure11 : série de productions annuelles de 1995à 2010 (Miarinarivo et Soavinandriana)  
Source : Statistiques Agricoles

## **II.2.LOGICIELS UTILISES**

### **II.2.1 Logiciel d'organisation de données Microsoft Excel 2007**

Nous y procédons :

- La préparation des données d'entrées pour la régression linéaire simple;
- L'organisation des données de sorties ;
- L'analyse des données météorologiques et des données historiques de rendements ;
- L'application de statistiques descriptives ainsi que les graphes.

### **II.2.2 Logiciel de traitement de données de Télédétection WinDisp (version5.1)**

#### **II.2.2.1 Principe**

WinDisp a été développé dans le cadre du Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide (SMIAR) de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Plus tard, d'autres Organismes tels que FAO (Food Agricultural Organisation), USGS (United States Geological Survey) et FEWS (Famine Early Warning System) ont financé le développement de ce logiciel.

Ce logiciel est doté d'un module d'affichage de cartes et d'images de la Station de travail, permettant l'accès à l'analyse, l'intégration et la superposition de cartes digitales et d'images satellite dans des fenêtres classiques de Windows. Il a été conçu afin d'afficher et d'analyser des images satellitaires, des cartes et des bases de données associées aussi simples que possible. Les formats de fichiers cartes et images utilisés par WinDisp sont identiques à ceux de son prédécesseur IDA (Image Display Analysis).

L'analyse sous WinDisp s'est faite en deux temps :

- Créer des images issues de statistiques descriptives temporelles pour chaque pixel d'une série d'images.
- Agréger les valeurs contenues dans les pixels au niveau d'un polygone d'une carte et extraire les valeurs par polygone.

### II.2.2.2 Données d'entrée

Les données d'entrée sont une série d'images RFE et NDVI réparties le long du cycle végétatif sur l'intervalle d'étude de 1995 à 2010 et un masque géoréférencé de la zone d'étude affecté du nom des districts pour pouvoir agréger et extraire des valeurs au niveau des districts.

### II.2.2.3 Données de sortie

Nous obtenons des images obtenues à partir des analyses statistiques :

- Pour RFE, le résultat final utile à la régression sera des précipitations décennales par district.
- Pour NDVI, Le résultat final utile à la régression sera présenté dans l'annexe II, comprenant les indices spécifiques au cours du cycle par district suivants :
  - **NDVIa** : le NDVI moyen ;
  - **NDVIx** et **NDVI<sub>n</sub>** : respectivement la valeur maximale et minimale du NDVI ;
  - **dmax** et **dmin** : respectivement le numéro de la décennie correspondant à la valeur maximale et minimale du NDVI ;
  - **NDVIxi** : la valeur maximale du NDVI pour les trois premières décennies du cycle ;
  - **Ecart** : l'écart entre la valeur maximale et la valeur minimale du NDVI ;
  - **Pente** : la pente de la droite tracée suivant la tendance des valeurs du NDVI.

### II.2.2.4 Aperçu

La figure 12 suivante montre l'interface du logiciel WinDisp 5.1.

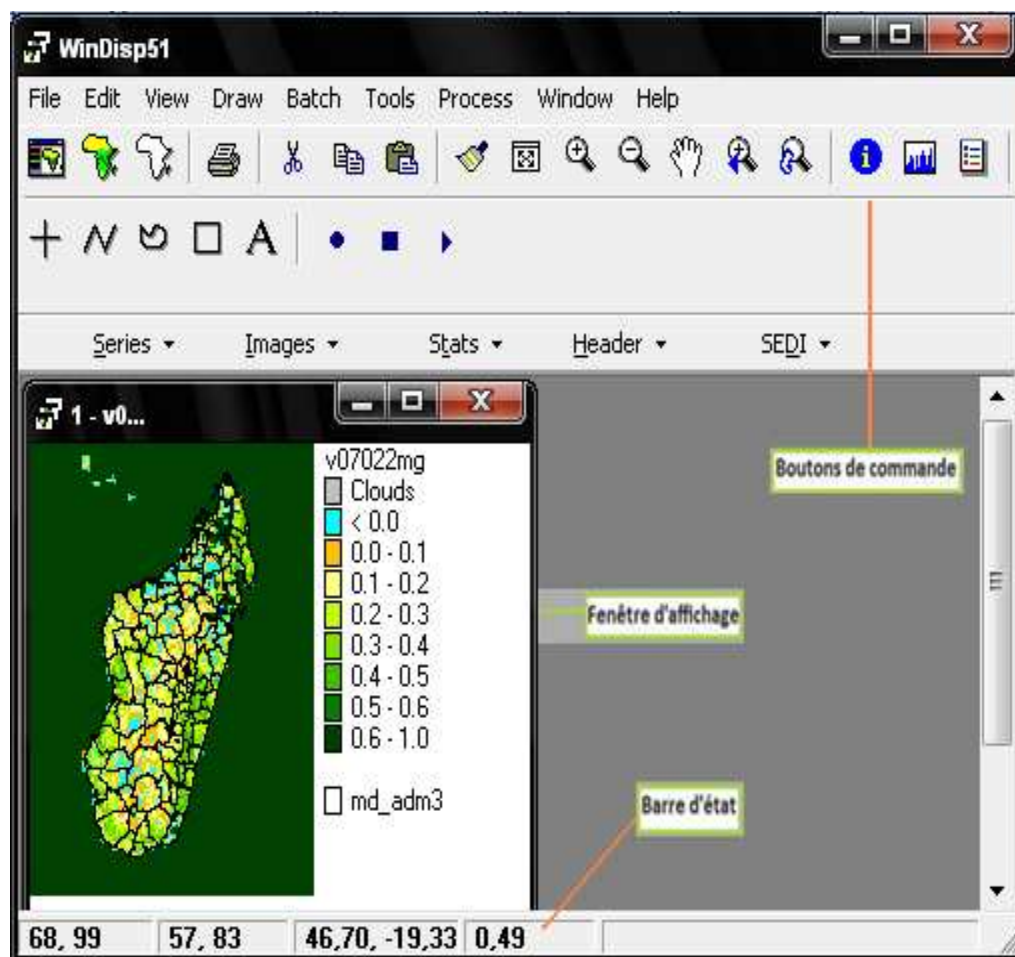


Figure12: Aperçu du logiciel WinDisp 5.1

### II.2.3 Logiciel pour calculer la pluie efficace CROPWAT 8.0

Les programmes CROPWAT de la FAO utilise des relations empiriques pour calculer la pluie efficace qui est la pluie « utile » ou utilisable par la plante. Nous allons choisir la méthode USDA SCS qui est basée sur le rapport évaporation/précipitation.

### II.2.3.1. Notion de précipitation efficace : (Annexe V, page xi)

La partie résiduelle de l'eau de pluie, stockée dans la zone racinaire et qui peut être utilisée par la plante s'appelle *pluie efficace*. Elle est égale à la pluie totale moins le ruissellement, moins l'évaporation et moins la percolation profonde. Le terme "pluie efficace" définit donc la fraction de l'eau des précipitations qui répond aux besoins en eau des cultures.

Dans les régions arrosées de pluies abondantes et intenses, une partie seulement de cette eau précipitée peut pénétrer dans le sol et être emmagasinée dans la zone racinaire. Quand les pluies sont légères et fréquentes l'interception par le feuillage des végétaux peut être importante ; les végétaux mouillés ont tendance à réduire sa transpiration, ce qui est cependant plus que compensé par une évaporation accrue de l'eau de pluie interceptée par le feuillage.

Dans la pratique et en connaissance total du terrain, dans le cas de cultures basses, on peut en toute sécurité supposée qu'une précipitation légère interceptée a une efficacité proche de 100%. Lorsqu'une forte proportion du sol n'est pas couverte par des cultures et que la surface du sol superficiel mouillé peut être considérable. Des pluies de 25 à 30 mm durant les phases initiales et précoces de développement d'une culture, avec un faible pourcentage de couvert du sol, peuvent se traduire par un gain net de seulement 60% de la pluie reçue.

### II.2.3.2. Données d'entrée

Les données d'entrée sont les précipitations mensuelles réparties le long du cycle végétatif sur l'intervalle d'étude de 1995 à 2010 représenté dans l'Annexe I de la page ii.

### II.2.3.3. Données de sortie

En utilisant la relation empirique selon la méthode de USDA SCS suivante :

$$P_{eff} = P_{tot}(125 - 0,2P_{tot})/125 \quad \text{pour} \quad P_{tot} < 250 [mm] \quad \text{et}$$

$$P_{eff} = 125 - 0,1P_{tot} \quad \text{pour} \quad P_{tot} > 250 [mm]$$

Nous obtenons des précipitations efficaces mensuelles correspondantes. Celles-ci sont consignées en Annexe V.

### II.2.3.4. Aperçu

La figure13 suivante montre l'interface du logiciel Cropwat 8.0.

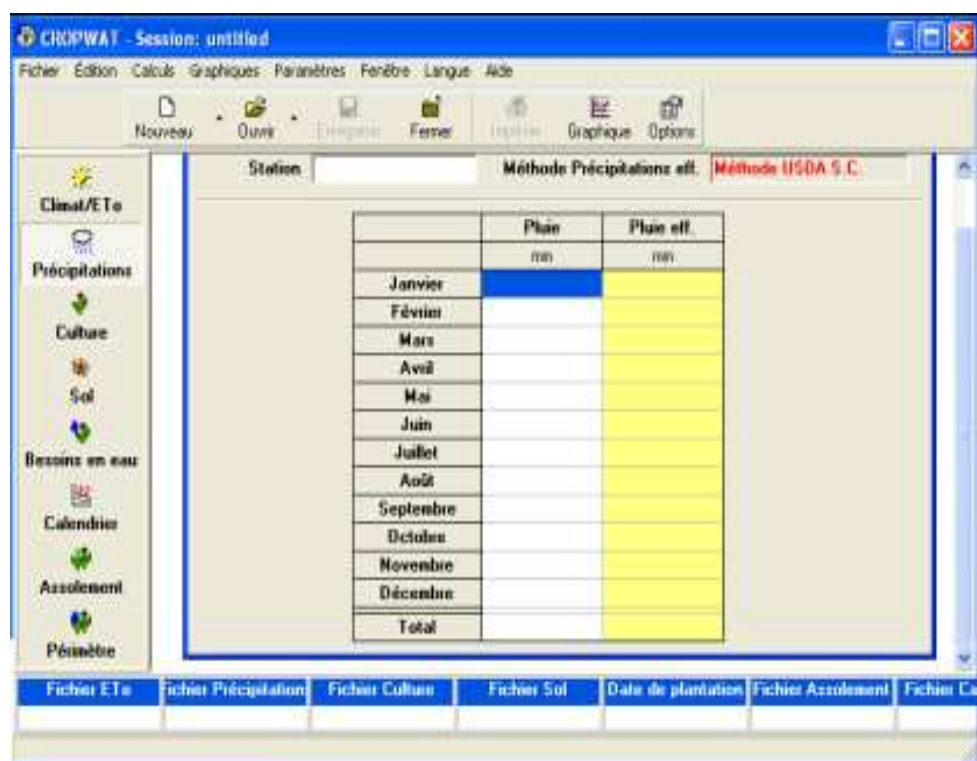


Figure13: Aperçu du logiciel CROPWAT.

### II.2.4. INSTAT :

INSTAT est un logiciel gratuit facile à manipuler en régression linéaire simple et de calculer les coefficients des corrélations.

La figure 14 suivante présente l'interface du logiciel INSTAT + v3.33.

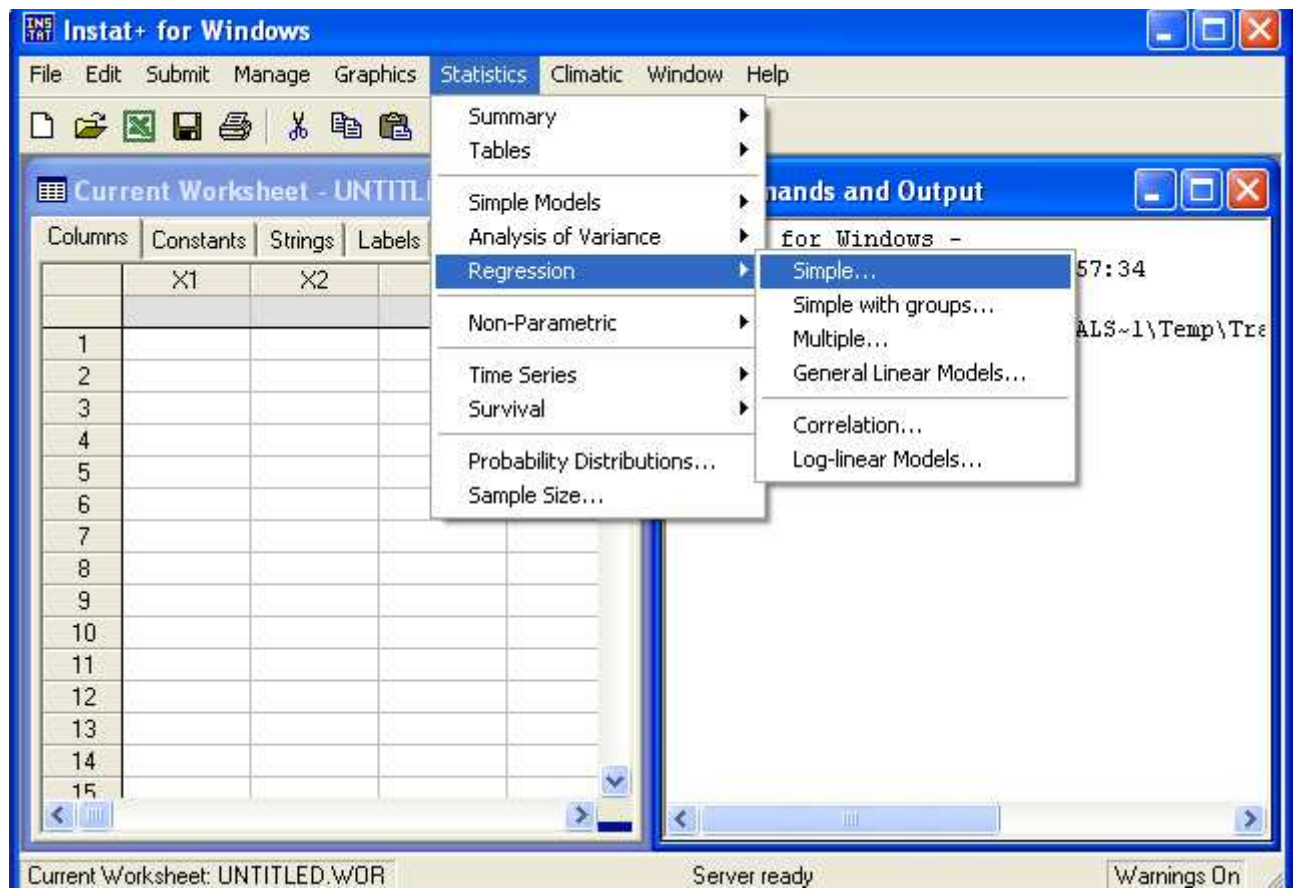


Figure14 : Aperçu du logiciel INSTAT.

# Partie III

## TRAITEMENTS DES DONNEES, ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

## ***PARTIE III : TRAITEMENT DES DONNEES, ANALYSES ET INTERPRETATION DES RESULTATS***

L'objectif global de cette étude est d'analyser les facteurs agrométéorologiques intervenant dans la production de la pomme de terre en vue de sortir un modèle de prévision de la production pour les 3 districts de la région d'Itasy

Les modèles de prévision par district sont réalisés en étudiant la corrélation entre les données de rendements historiques et un ensemble de facteurs explicatifs. Nous avons deux types de facteurs :

- Facteurs météorologiques : données pluviométriques obtenues à partir des produits RFE.
- Facteurs agronomiques : Extraits des produits NDVI sorties de WinDisp.

L'algorithme suivant présente la méthodologie globale de notre étude.

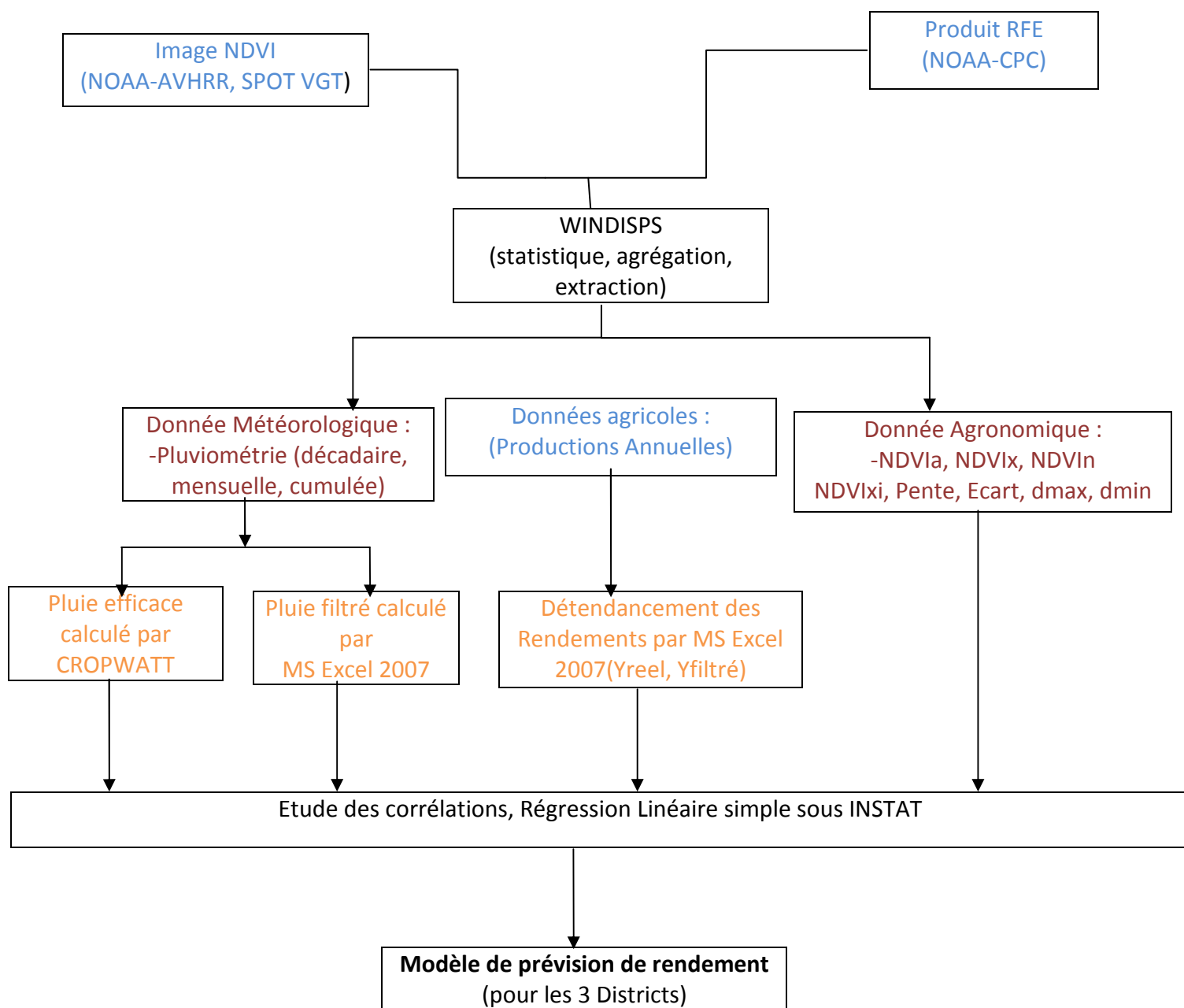


Figure15 : Approche globale méthodologique

## III.1. TRATEMENT DES DONNEES

### **III.1.1. Détermination des extrêmes climatiques**

#### III.1.1.1. Méthodologie

Nous allons utiliser comme donnée de base pour cette étude les relevés pluviométriques du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mars.

Le pourcentage des hauteurs de pluie d'un district pour l'année par rapport à la normale est donné par la formule :

$$X_i(\%) = (P_i/N_i) \times 100$$

Où  $P_i$  = Hauteurs de pluies saisonnières d'un district  $i$

$N_i$  = la normale pluviométrique d'un district.

Pour mieux visualiser graphiquement ces pourcentages en hauteurs des pluies, nous allons utiliser une autre formule :

$$X_i^* (\%) = X_i (\%) - 100$$

Si  $X_i^*(\%) < -25\%$ , la pluie est déficitaire et on est en saison sèche ;

Si  $-25\% < X_i^*(\%) < 25\%$ , la pluie est normale ;

Si  $X_i^*(\%) > 25\%$ , la pluie est excédentaire et on est en saison humide.

Ainsi à l'aide de cette méthode, nous pourrions détecter la saison sèche et la saison humide des zones de culture de pomme de terre dans la région d'Itasy.

#### III.1.1.2. Résultat

Les tableaux 5, 6 et 7 ci-dessous représentent le pourcentage des hauteurs de pluie par rapport à la normale pour chaque district et leur graphe.

a) Arivonimamo:

ANNEE	P1	N1	X1(%)	X1*(%)
1995-1996	1525	1171,53333	130,171285	30,1712855
1996-1997	1141	1171,53333	97,3937293	-2,60627071
1997-1998	1345	1171,53333	114,806806	14,8068062
1998-1999	989	1171,53333	84,4192798	-15,5807202
1999-2000	770	1171,53333	65,7258296	-34,2741704
2000-2001	1307	1171,53333	111,563194	11,5631939
2001-2002	1208	1171,53333	103,11273	3,11273005
2002-2003	1424	1171,53333	121,550106	21,5501056
2003-2004	1128	1171,53333	96,2840724	-3,71592757
2004-2005	1258	1171,53333	107,380641	7,38064106
2005-2006	1119	1171,53333	95,5158484	-4,48415155
2006-2007	1416	1171,53333	120,86724	20,8672399
2007-2008	910	1171,53333	77,6759804	-22,3240196
2008-2009	1141	1171,53333	97,3937293	-2,60627071
2009-2010	892	1171,53333	76,1395325	-23,8604675

Tableau 5: Récapitulation statistique de pluies cumulées d'Arivonimamo.

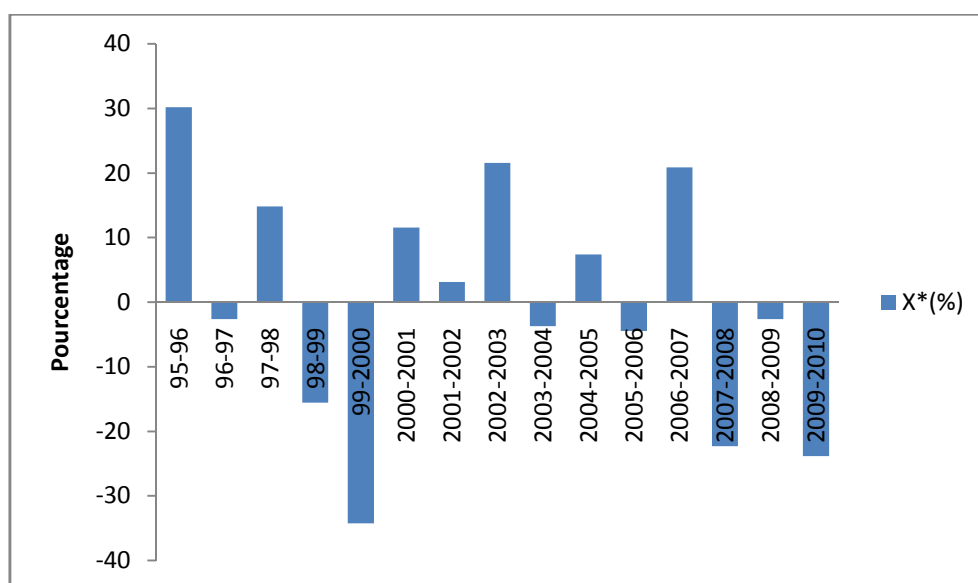


Figure16 : Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale

P1 : hauteurs de pluies saisonnières.

N1 : normale pluviométrique.

X1 (%): pourcentages des hauteurs de pluies par rapport à la normale.

Pour la période de 1995 à 2010, nous avons pu détecter la saison la plus sèche en 1999-2000 et la saison la plus humide en 1995-1996.

b) Miarinarivo :

ANNEE	P2	N2	X2(%)	X2*(%)
1995-1996	1525	1286,46667	118,541742	18,5417422
1996-1997	1325	1286,46667	102,995284	2,99528397
1997-1998	1495	1286,46667	116,209773	16,2097732
1998-1999	1070	1286,46667	83,1735501	-16,8264499
1999-2000	933	1286,46667	72,5242264	-27,4757736
2000-2001	1466	1286,46667	113,955537	13,9555368
2001-2002	1424	1286,46667	110,690781	10,6907807
2002-2003	1579	1286,46667	122,739286	22,7392856
2003-2004	1220	1286,46667	94,8333935	-5,16660645
2004-2005	1448	1286,46667	112,556356	12,5563556
2005-2006	1195	1286,46667	92,8900863	-7,1099137
2006-2007	1487	1286,46667	74,587915	-25,5879149
2007-2008	975	1286,46667	75,7889825	-24,2110175
2008-2009	1173	1286,46667	91,1799759	-8,82002407
2009-2010	982	1286,46667	76,3331086	-23,6668914

Tableau 6: Récapitulation statistique de pluies cumulées de Miarinarivo.

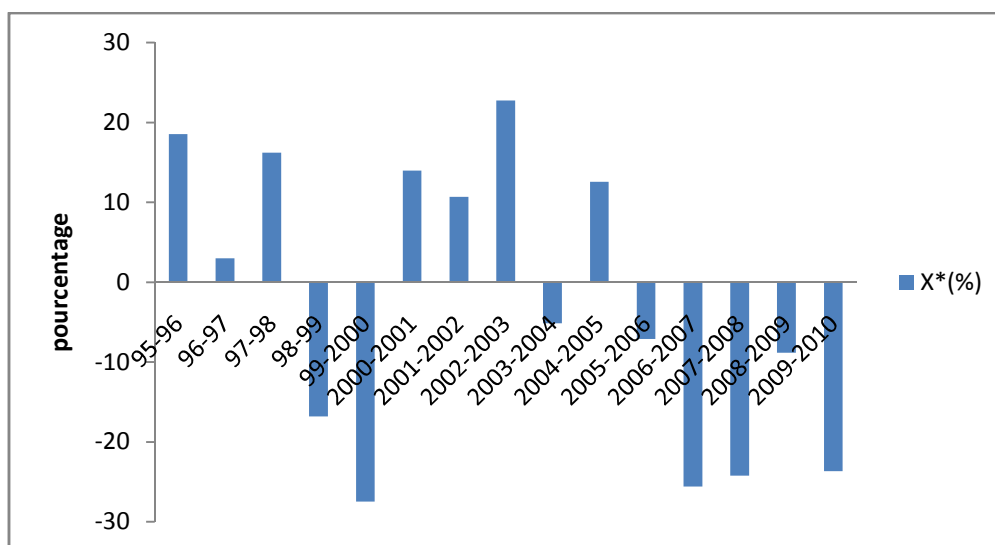


Figure17 : Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale.

P2 : hauteurs de pluies saisonnières.

N2 : normale pluviométrique.

X2(%): pourcentages des hauteurs de pluies par rapport à la normale.

Pour la période de 1995 à 2010, nous avons pu détecter deux saisons les plus sèches (1999-2000 et 2006-2007) et on ne trouve pas de saison plus humide.

c) Soavinandrina:

ANNEE	P3	N3	X3(%)	X3*(%)
95-96	1496	1345,53333	111,182678	11,1826785
96-97	1329	1345,53333	98,7712431	-1,22875685
97-98	1483	1345,53333	110,216519	10,2165189
98-99	1365	1345,53333	101,446762	1,44676215
99-2000	975	1345,53333	72,461973	-27,538027
2000-2001	1685	1345,53333	125,229153	25,2291533
2001-2002	1524	1345,53333	113,263638	13,2636377
2002-2003	1654	1345,53333	122,925234	22,9252341
2003-2004	1314	1345,53333	97,6564436	-2,34355643
2004-2005	1347	1345,53333	100,109003	0,10900265
2005-2006	1208	1345,53333	89,7785265	-10,2214735
2006-2007	1475	1345,53333	109,621959	9,6219591
2007-2008	1054	1345,53333	78,3332508	-21,6667492
2008-2009	1224	1345,53333	90,9676461	-9,03235394
2009-2010	1050	1345,53333	78,0359709	-21,9640291

Tableau7 : Récapitulation statistique de pluies cumulées de Soavinandrina.

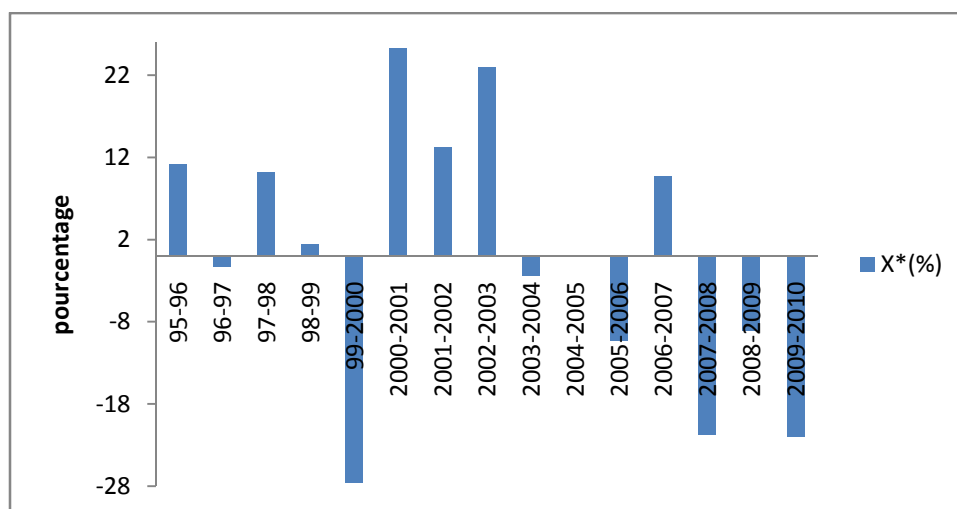


Figure18 : Représentation graphique de pourcentage de pluie par rapport à la normale.

P3 : hauteurs de pluies saisonnières.

N3 : normale pluviométrique.

X3(%): pourcentages des hauteurs de pluies par rapport à la normale.

Nous avons pu détecter la saison la plus sèche en 1999-2000 et la saison la plus humide en 2000-2001.

### III.1.2. Besoin en eau de la pomme de terre :

Les plantes extraient l'eau du sol par leurs racines. La plus grande partie de cette eau ne reste pas dans la plante, mais est restituée dans l'atmosphère par les feuilles et les tiges, par transpiration. Le sol sous l'effet de la chaleur évapore l'eau qu'il contient, par évaporation.

L'évapotranspiration d'une culture est l'ensemble de l'eau utilisée par la plante pour la transpiration et par le sol pour l'évaporation.

#### III.1.2.1. Evapotranspiration Potentielle (ETP) :

Le climat déterminé par la température, le vent, l'humidité de l'air, l'ensoleillement est à l'origine d'une demande en eau potentielle, appelée Evapotranspiration Potentielle (ETP). Elle est exprimée en mm. Cette ETP varie selon les conditions climatiques. Elle varie selon la saison (été ou hiver), la localisation (Ouest ou Est) et l'altitude (littoral ou montagne). Nous utiliserons l'ETP normal décadaire disponible dans la base de données du service Agrométéorologique à la DGM. Les valeurs de ETP sont calculées par la formule de Turc exprimée par :

$$ETP = k \left( \frac{T}{T+15} \right) (R_g + 50) \quad (SOGREAH, 1994)$$

Où

$k = 0.37$  pour le mois de février et  $0.40$  pour les autres mois

$T$  : Température moyenne décadaire

$R_g$  : Radiation globale mesurée par :

$$R_g = I_{ga} \left( 0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right)$$

$R_g$  est aussi appelée « rayonnement solaire qui arrive » d'unité [mm/décade] ou [MJ/m<sup>2</sup>/décade]

$I_{ga}$  : Radiation maximale théorique [cal/cm<sup>2</sup>/décade]

$h$  représente le nombre d'heures réelles d'insolation donné par l'enregistreur de l'insolation « Héliographe Campbell-Stokes » et  $H$  le nombre d'heures d'insolation maximal possible pour la latitude donnée.

Normalement,  $h/H$  varie de 0.1 à 1.  $h$  et  $H$  étant cumulées par décade.

### III.1.2.2- Coefficient cultural :

La consommation en eau de la plante dépend principalement de son âge ou son stade végétatif et de sa variété. Ces paramètres définissent pour chaque plante un coefficient cultural ( $K_c$ ). Ce coefficient caractérise la croissance de la plante au cours de son cycle végétatif. Pour la pomme de terre selon la FAO, le coefficient cultural est de 0,5 en début de culture et évolue quotidiennement pour atteindre la valeur maximale de 1,1 pendant la fin floraison<sup>7</sup>. Il varie différemment selon l'altitude et la date de début de culture.

### III.1.2.3. Calcul des besoins en eau :

La quantité d'eau maximale dont la culture a besoin pour une croissance optimale est définie par le produit de l'ETP (Evapotranspiration Potentielle) et du  $K_c$  (Coefficient cultural). Ce besoin est appelé Evapotranspiration Maximale (ETM), exprimée en mm.

$$ETM = K_c * ETP$$

Si la plante ne dispose pas toujours suffisamment d'eau pour faire face à ses besoins, alors, elle est incapable de fournir toute l'eau qui lui est demandée. Son activité est réduite et de ce fait, sa croissance. Par suite, l'activité de la transpiration de la plante est limitée par l'Evapotranspiration Réelle (ETR), exprimée en mm.

$ETM = ETR$  s'il y a suffisamment d'eau disponible (croissance optimale).

$ETR < ETM$  en cas d'insuffisance d'eau (croissance réduite).

Voici le courbe de besoin en eau de la pomme de terre dans la région d'Itasy :

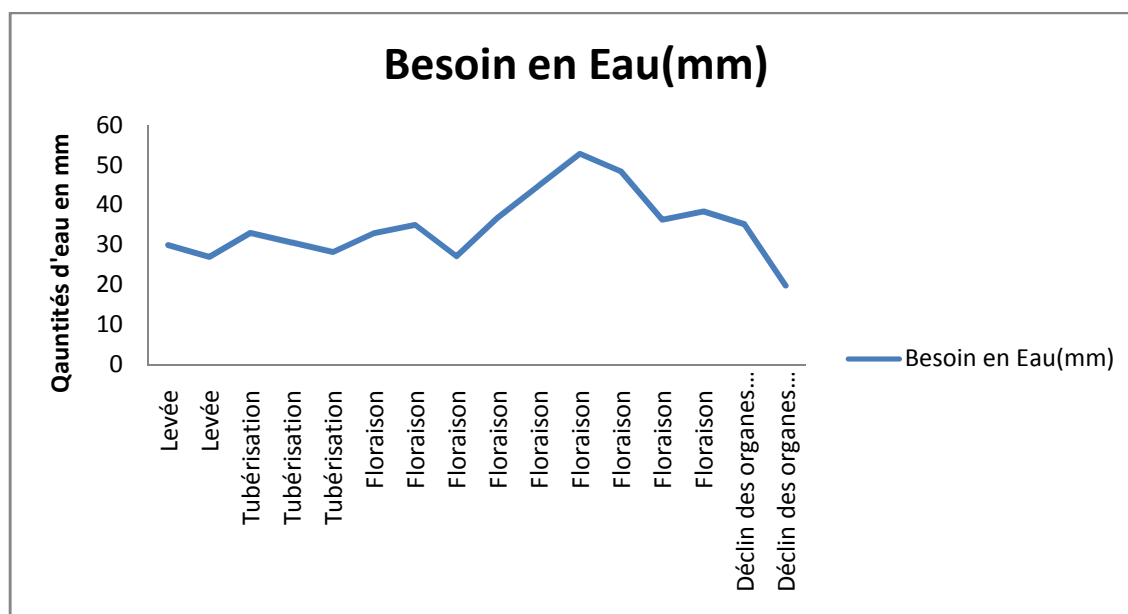


Figure19 : courbe de besoin en eau de la pomme de terre à Itasy.

Source : service de la météorologie agricole

## III.2. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

### **III.2.1. Pluviométrie et production de la pomme de terre :**

#### III.2.1.1-Principe et méthode :

On cherche des corrélations entre la quantité de pluies (variable X) et la production de la pomme de terre au moment de la récolte (variable Y). On mesure l'intensité de la liaison par un coefficient numérique appelé : « coefficient de corrélation » calculé par le logiciel INSTAT. La valeur de ce dernier est jugée significative ou non par le teste de STUDENT (Annexe VI) et son intervalle de confiance calculé par le test de FISHER ou transformation de FISHER (Annexe VI, page xviii).

Si le coefficient de corrélation est jugé significatif, on cherche par une analyse de régression la loi de variation moyenne qui lie la production à la pluviométrie, en supposant les autres pluies normales.

#### III.2.1.2. Distributions décadaires et productions :

Nous cherchons les corrélations entre la quantité de pluies qui tombe chaque décade et la production de pomme de terre. Nous allons prendre une à une les 3 districts dans la région d'Itasy.

a) Arivonimamo :

MOIS	Décade	r	Observations
OCT	O3	-0.455	Les 2 variables varient dans les sens contraires
NOV	N1	0.178	Les 2 variables varient dans le même sens
	N2	-0.025	Variable presque indépendantes
	N3	0.239	Les 2 variables varient dans le même sens
DEC	D1	-0.004	Variable presque indépendantes
	D2	0.055	Variable presque indépendantes
	D3	-0.088	Variable presque indépendantes
JAN	J1	0.367	Les 2 variables varient dans le même sens
	J2	0.396	Les 2 variables varient dans le même sens
	J3	0.294	Les 2 variables varient dans le même sens
FEV	F1	-0.301	Les 2 variables varient dans les sens contraires
	F2	0.039	Variable presque indépendantes
	F3	0.303	Les 2 variables varient dans le même sens
MAR	M1	0.012	Variable presque indépendantes
	M2	0.506	Les 2 variables varient dans le même sens
	M3	0.085	Variable presque indépendantes

Tableau8 : coefficients de corrélation obtenus pour le district d'Arivonimamo

N'observant que les valeurs numériques du coefficient de corrélations  $r$ , on peut tirer comme conclusion les propos tenus dans la colonne observation.

Utilisant le tableau dans l'Annexe VII concernant la limite d'acceptation du coefficient de corrélation linéaire  $r$ , pour  $n=15$ ,  $v = n-2 = 13$ , la valeur du coefficient de corrélation  $r$  est jugée significative d'une corrélation dans la population si  $|r| > 0.5139$ .

Aucun des coefficients de corrélation qui relie la quantité de pluie durant chaque décade à la production ne satisfait pas à cette condition. Toutes les valeurs de  $r$  sont donc douteuses. On ne peut donc rien conclure. Les interprétations simples des valeurs de  $r$  permettent de dire en supposant les autres pluies décadaires normales que:

- une pluie excessive pendant la 3<sup>ème</sup> décade d'octobre ferait diminuer la production.
- Une pluie à la 2<sup>ème</sup> décade de mars satisfait le besoin en eau de la pomme de terre et donne une bonne récolte.
-

b) Miarinarivo :

MOIS	Décade	r	Observations
OCT	O3	0.190	Les 2 variables varient dans le même sens
NOV	N1	0.085	Variables presque indépendantes
	N2	-0.115	Les 2 variables varient en sens contraires
	N3	-0.111	Les 2 variables varient en sens contraires
DEC	D1	-0.167	Les 2 variables varient en sens contraires
	D2	-0.426	Les 2 variables varient en sens contraires
	D3	0.290	Les 2 variables varient dans le même sens
JAN	J1	-0.311	Les 2 variables varient en sens contraires
	J2	-0.068	Variables presque indépendantes
	J3	0.108	Les 2 variables varient dans le même sens
FEV	F1	0.046	Variables presque indépendantes
	F2	0.084	Variables presque indépendantes
	F3	<b>0.573</b>	Les 2 variables varient dans le même sens
MAR	M1	-0.011	Variables presque indépendantes
	M2	0.138	Les 2 variables varient dans le même sens
	M3	0.353	Les 2 variables varient dans le même sens

Tableau9 : coefficients de corrélation obtenus pour le district de Miarinarivo

La valeur du coefficient de corrélation  $r$  est jugée significative si  $|r| > 0,5139$  selon la limite d'acceptation du coefficient de corrélation linéaire dans l'Annexe VII. Par conséquent, la valeur du coefficient de corrélation  $r$  est significative pour la 3<sup>ème</sup> décade de Février.

Pour la corrélation entre la quantité de pluies qui tombe pendant la 3<sup>ème</sup> décade de Février et la production, on a  $r = 0,573$ . Une pluie excessive pendant la floraison satisfait le besoin en eau de la pomme de terre et donne une bonne récolte.

D'après le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation entre la production et la quantité de pluie tombée pendant la 3<sup>ème</sup> décade de février soit compris entre 0.03 et 0.86.

L'équation de la droite de régression pour  $r = 0,573$  a pour expression  $y = 5,149 x + 1717$ .

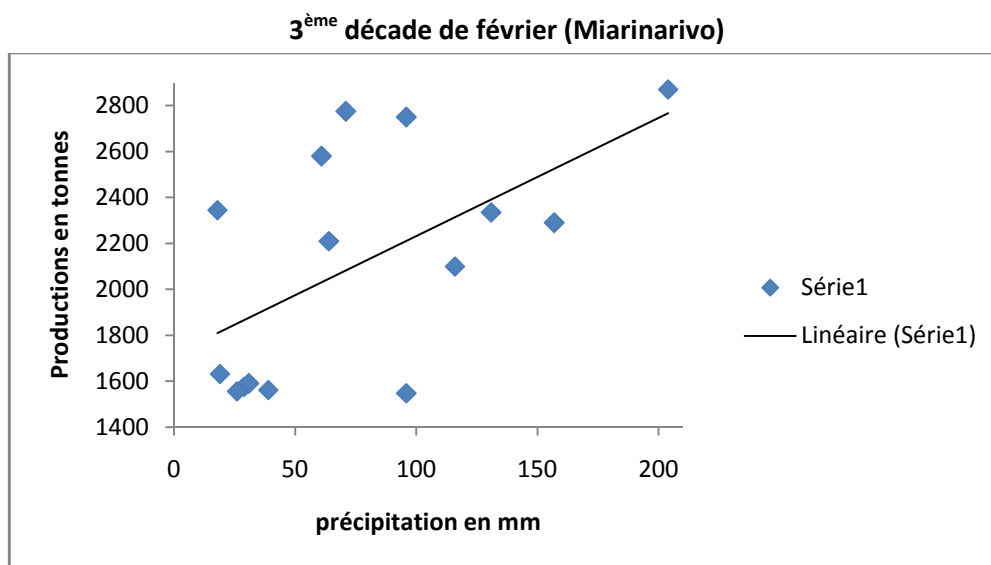


Figure20 : courbe de régression production et pluie

En conclusion, on peut affirmer que la production de la pomme de terre est en forte liaison avec la quantité de pluies qui tombe pendant la 3<sup>ème</sup> décade de février pour le district de Miarinarivo.

Pour les autres décades, les valeurs du coefficient de corrélation n'étant pas significatives, on ne peut rien affirmer. Nous nous permettons quand même de faire les interprétations suivantes (en supposant les autres pluies décadaires normales) :

- Une pluie excessive pendant la 2<sup>ème</sup> décade de décembre correspondant au début de la floraison ferait diminuer la production.
- Les quantités de pluies obtenues pendant les autres décades ont une faible corrélation avec la production

c) Soavinandrina :

MOIS	Décade	r	Observations
OCT	O3	-0.103	Variables presque indépendantes
NOV	N1	-0.044	Variables presque indépendantes
	N2	0.285	Les 2 variables varient dans le même sens
	N3	0.136	Les 2 variables varient dans le même sens
DEC	D1	0.162	Les 2 variables varient dans le même sens
	D2	-0.380	Les 2 variables varient en sens contraire
	D3	0.119	Variable presque indépendantes
JAN	J1	-0.142	Les 2 variables varient en sens contraires
	J2	-0.190	Les 2 variables varient en sens contraires
	J3	-0.148	Les 2 variables varient en sens contraires
FEV	F1	<b>0.549</b>	Les 2 variables varient dans le même sens
	F2	0.382	Les 2 variables varient dans le même sens
	F3	-0.026	Variables presque indépendantes
MAR	M1	-0.474	Les 2 variables varient en sens contraires
	M2	-0.444	Les 2 variables varient en sens contraires
	M3	-0.022	Variables presque indépendantes

Tableau10 : coefficients de corrélation obtenus pour le district de Soavinandrina.

La valeur du coefficient  $r = 0.549$  de la 1<sup>ère</sup> décade de février est jugée significative. La pluie excessive pendant cette période donnerait une bonne récolte. Les autres valeurs sont douteuses.

Selon le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 pour que le coefficient de corrélation soit compris entre -0.01 et 0.85.

L'équation de la droite de régression pour  $r = 0.549$  a pour expression :  
 $y = 19,36 x + 1460$ .

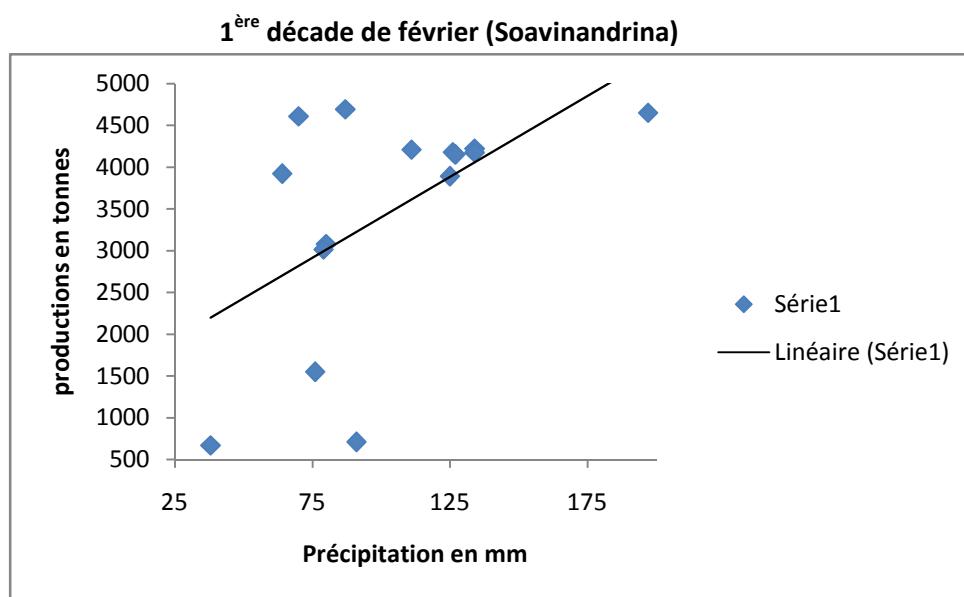


Figure21 : droite de régression production et pluie.

On peut dire que la production de la pomme de terre est en forte liaison avec la quantité de pluie qui tombe pendant la 1<sup>ère</sup> décade de février (floraison).

Pour les autres décades, les valeurs du coefficient de corrélation n'étant pas significatives. Si on estime que les autres pluies décadaires soient normales, on peut affirmer que :

- Les quantités de pluie obtenues pendant la 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> décade mars seraient défavorables à la production.
- Des pluies excessives pendant la 2<sup>ème</sup> décade février donneraient une bonne production.
- Les quantités de pluies obtenues pendant la 3<sup>ème</sup> décade de février, mars et la 1<sup>ère</sup> décade de novembre n'influent pas directement sur la production de la pomme de terre.

En conclusion, on peut affirmer qu'un bon coefficient de corrélation se trouve à la 1<sup>ère</sup> et 3<sup>ème</sup> décade de février dans les districts de Miarynarivo et Soavinandrina, qui correspondent à la période de floraison. Une quantité de pluie suffisante à cette période donne une bonne récolte. Tandis que, un excès de pluies à la floraison est défavorable à la production.

### III.2.1.3- Distribution mensuelles et production :

On cherche des corrélations entre la quantité de pluie qui tombe pendant chaque mois (variable x) et la production de la pomme de terre correspondante (variable y). On suppose que les autres pluies mensuelles soient normales.

#### a) Arivonimamo :

MOIS	r	Observations
OCT	-0.278	Les 2 variables varient en sens contraires
NOV	0.227	Les 2 variables varient dans le même sens
DEC	-0.043	Variables presque indépendantes
JAN	0.437	Les 2 variables varient dans le même sens
FEV	0.021	Variables presque indépendantes
MAR	0.385	Les 2 variables varient dans le même sens

Tableau11 : coefficients de corrélation obtenus pour le district d'Arivonimamo

#### b) Miarinarivo :

MOIS	r	Observation
OCT	-0.122	Les 2 variables varient en sens contraires
NOV	-0.061	Variables presque indépendantes
DEC	-0.080	Variables presque indépendantes
JAN	-0.096	Variables presque indépendantes
FEV	0.393	Les 2 variables varient dans le même sens
MAR	0.181	Les 2 variables varient dans le même sens

Tableau12 : coefficients de corrélation obtenus pour le district de Miarinarivo

#### c) Soavinandrina :

MOIS	r	Observation
OCT	-0.413	Les 2 variables varient en sens contraires
NOV	0.163	Les 2 variables varient dans le même sens
DEC	0.001	Variables presque indépendantes
JAN	-0.202	Les 2 variables varient en sens contraires
FEV	0.412	Les 2 variables varient dans le même sens
MAR	-0.515	Les 2 variables varient en sens contraires

Tableau13 : coefficients de corrélation obtenus pour le district de Soavinandrina

Interprétations :

a) Arivonimamo :

- La quantité de pluie obtenue pendant le mois de décembre et février n'influe pas directement sur la production.
- Les quantités de pluies tombées pendant le mois d'octobre, novembre, mars ont une faible corrélation avec la production.
- une pluie excessive en janvier serait favorable à la production.

b) Miarinarivo :

- Toutes les quantités des pluies qui tombent dans chaque mois ont une faible corrélation avec la production; seule la pluie du mois de février donnerait une bonne récolte. Elle satisfait le besoin en eau de la pomme de terre.

c) Soavinandrina :

- La pluie obtenue du mois de décembre n'influe pas directement sur la production.
- La quantité de pluie qui tombe pendant le mois de novembre et janvier a une faible corrélation avec la production.
- Les pluies excessives en mois d'octobre et mars sont défavorables pour la récolte.
- La quantité de pluie du mois de février est favorable à la production.

Nous pouvons affirmer d'après les valeurs des coefficients de corrélations que seul le mois de Mars à Soavinandrina possède une valeur significative,  $r = -0,515$ . Une pluie excessive pendant cette période est défavorable à la production de pomme de terre.

D'après le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 pour que le coefficient de corrélation soit compris entre -0.83 et 0.05.

L'équation de la droite de régression pour  $r = -0,515$  a pour expression  
 $y = -7,460x + 5111$ .

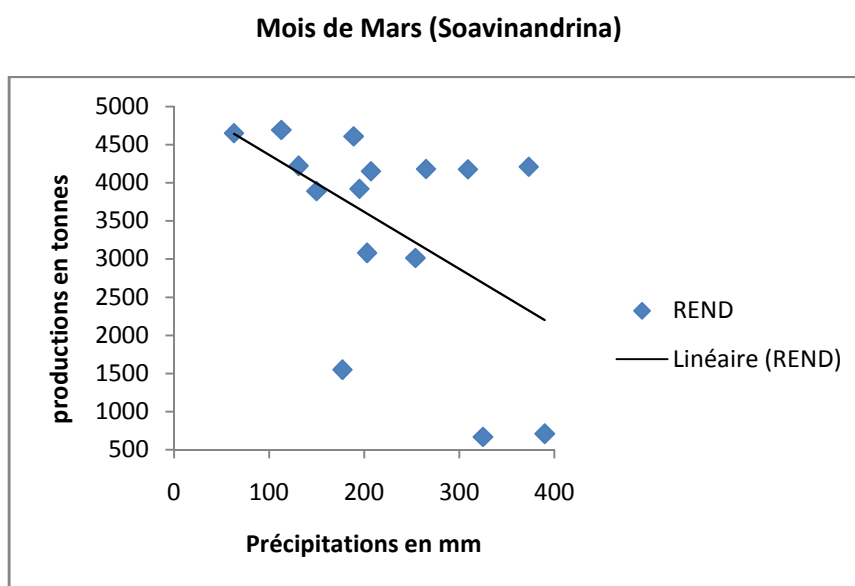


Figure 22: droite de régression production et pluie

On peut affirmer que la production de la pomme de terre est en forte liaison avec la quantité de pluies qui tombe pendant le mois de mars pour le district de Soavinandrina.

En conclusion, on pourrait expliquer que des grandes pluies sont favorables à la production pour certains mois et sont défavorables pour d'autre.

#### III.2.1.4. Distribution annuelles de pluies et production :

L'étude est basée sur le total des pluies cumulées d'octobre à mars pour chaque campagne agricole. Les nuages des points (pluies brutes et productions), sont donnés sur les figures qui suivent.

a) Arivonimamo :

L'équation de la droite de régression pour  $r = 0,400$  a pour expression  
 $y = 2,2759 x + 16092$ .

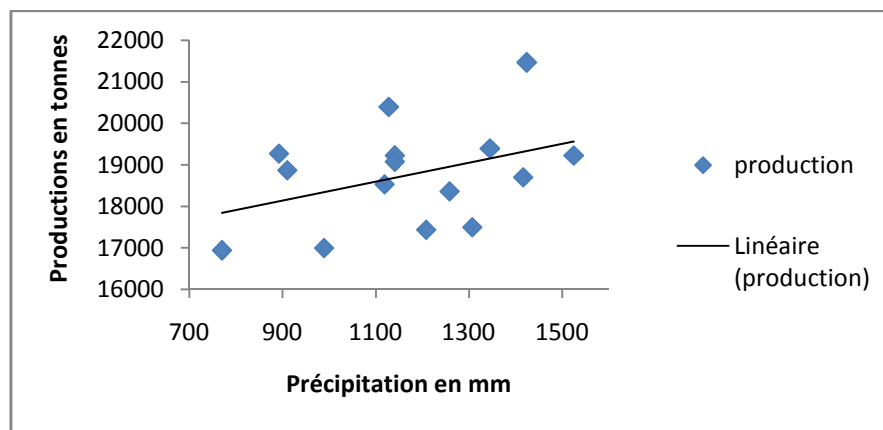


Figure23 : droite de régression (pluie brute-production) Arivonimamo.

b) Miarinarivo :

L'équation de la droite de régression pour  $r = 0,157$  a pour expression  
 $y = 0,3538 x + 1659,5$ .

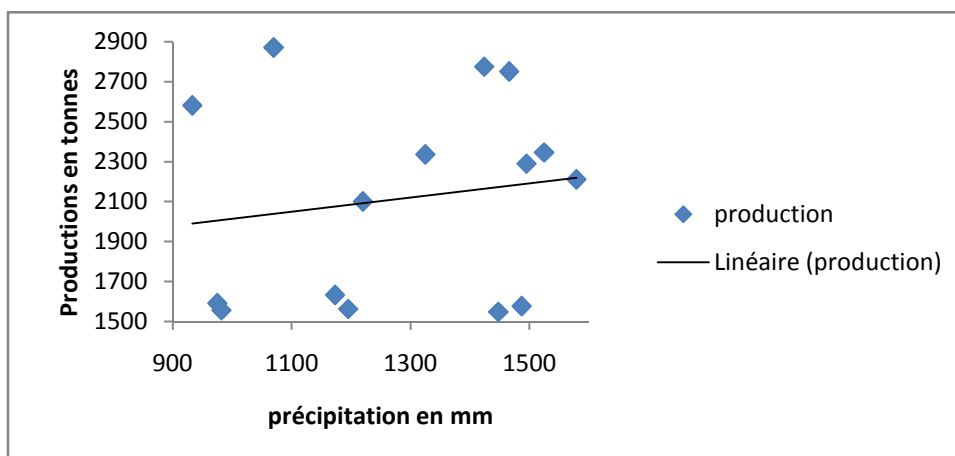


Figure24 : droite de régression (pluie brute-production) Miarinarivo.

c) Soavinandrina :

L'équation de la droite de régression pour  $r = -0,132$  a pour expression  
 $y = -0,851 x + 4594$ .

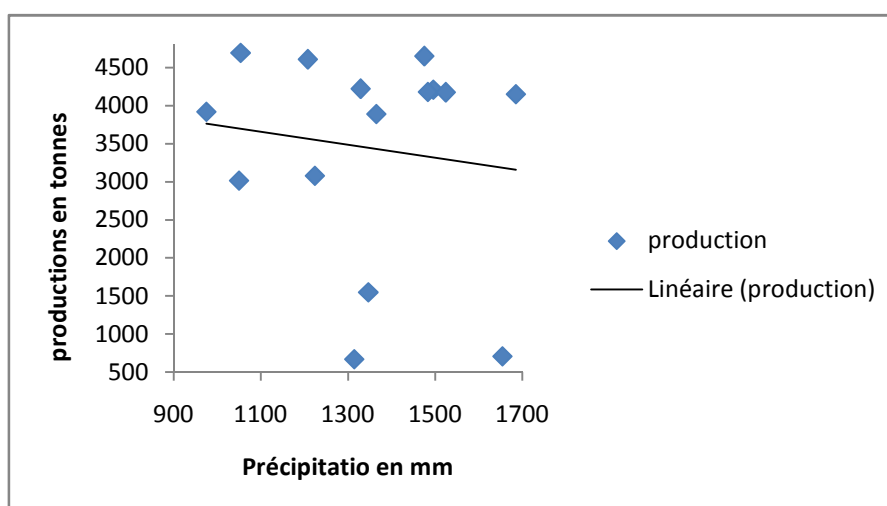


Figure25 : droite de régression (pluie brute-production) Soavinandrina.

Les figures 23, 24 et 25 ci-dessus nous permettent de dire que les coefficients de corrélations  $r$  des droites de régression entre la pluie brute cumulée et la production ne sont pas satisfaisants pour faire une prévision de production. Ainsi nous allons parler de la pluie efficace.

III.2.1.4.1. Analyse de régression entre pluie efficace et production :

Avec EXCEL nous pouvons avoir les nuages des points entre la pluie efficace et la production. Ceux-ci sont représentés par les figures 26, 27 et 28 ci-dessous.

a) Arivonimamo :

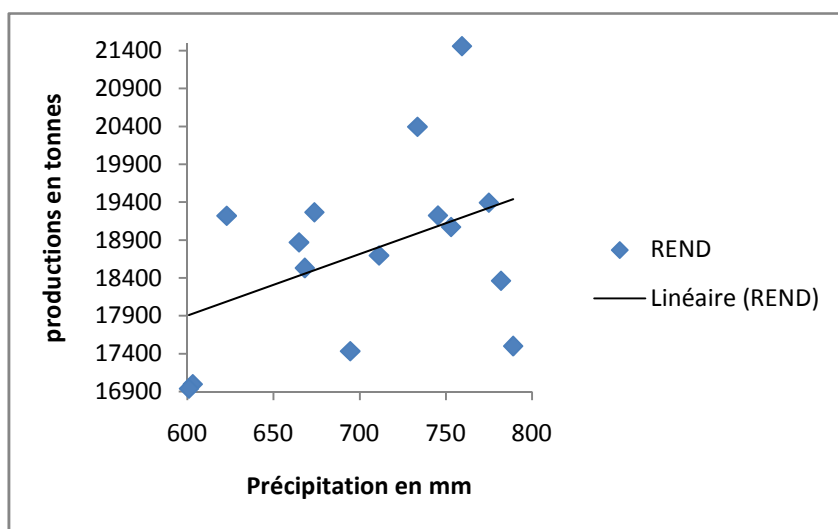


Figure26: courbe de régression (pluie efficace-rendement) Arivonimamo.

D'après la droite de régression, on a un coefficient de corrélation  $r = 0,423$  et son équation est :  $y = 8,1183 x + 13034$ .

b) Miarinarivo :

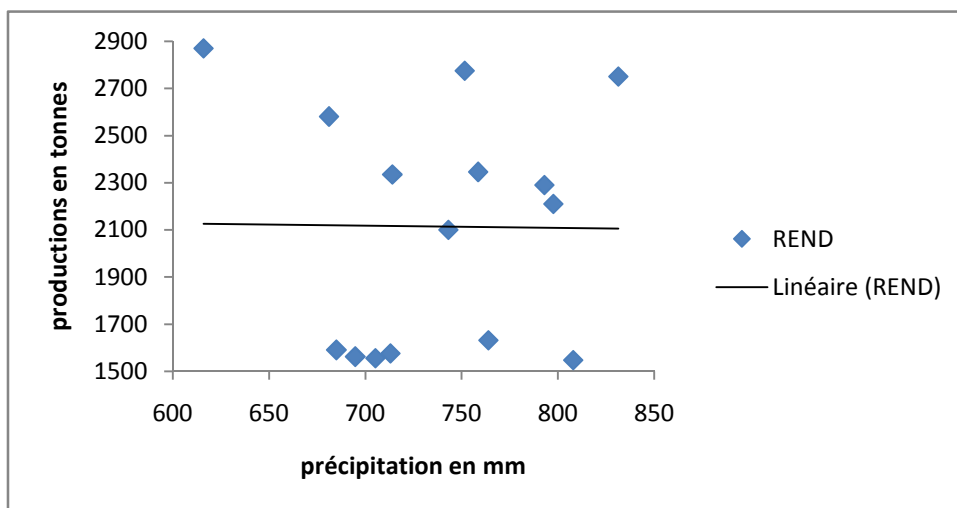


Figure27: droite de régression (pluie efficace et production) Miarinarivo.

D'après la droite de régression, on a un coefficient de corrélation  $r = -0,01$  et son équation est :  $y = -0,093 x + 2183$ .

c) Soavinandrina :

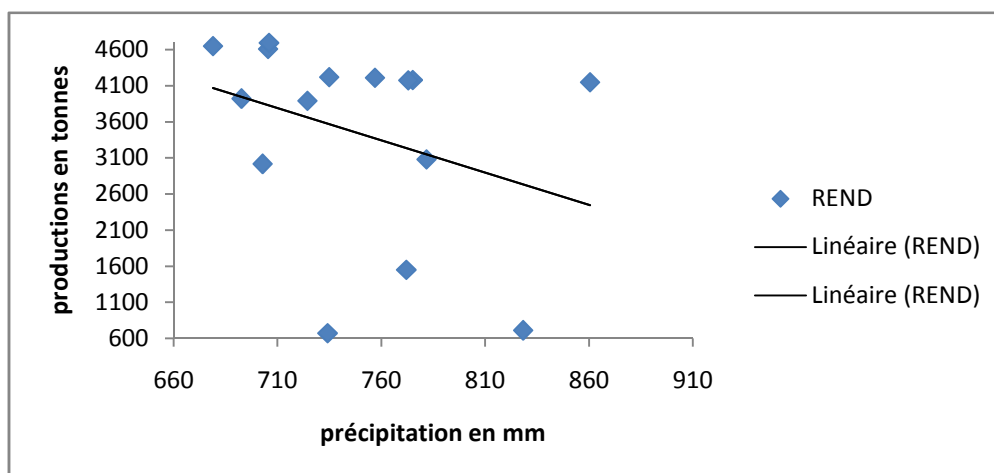


Figure28: droite de régression (pluie efficace-production) Soavinandrina.

D'après la droite de régression, on a un coefficient de corrélation  $r = -0,331$  et son équation est :  $y = -8,9522x + 10148$ .

La pluie efficace n'est pas en forte liaison avec le rendement bien qu'elle représente la précipitation totale disponible pour la culture. Elle ne satisfait donc pas le besoin en eau de la pomme de terre. Ceci nous conduit à utiliser la pluie filtrée<sup>12</sup>.

III.2.1.4.2 Corrélation entre pluie annuelle filtrée et production filtrées :

■ filtrage des données pluviométriques:

Le filtrage des données pluviométriques permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique. Toutefois, on dispose d'un certain nombre de méthodes statistiques simples pour déceler ces variations et lisser les irrégularités touchant des courtes périodes.

Une méthode utilisée pour lisser les variations touchant de courtes périodes dans des séries chronologiques de données météorologiques consiste fréquemment à remplacer la ligne représentant les observations initiales par la courbe de meilleur ajustement selon les méthodes de régression.

A l'aide de la courbe de régression nous pourrions déduire de la pluie, la pluie filtrée ou lissée.

■ Filtrage des données de la production :

Le filtrage de la production est nécessaire dans le cas où la production observée n'est pas expliquée par les paramètres utilisés pour la régression. Une déviation surprenante de la production représentée par la Figure 11 de la page 23 n'est certainement pas due uniquement aux facteurs météorologiques. Le filtre est inutile si on ne trouve pas des variations brusques

Tendances polynomiale

La tendance n'est pas forcément linéaire. Dans notre cas, le changement inattendu, qui se présente dans les périodes de 1999 à 2002 et de 2005 à 2010 pour le district de Miarinarivo et 2003, 2004, 2005 pour le district de Soavinandrina, se traduit mieux par une tendance polynômiale, où la courbe est infléchie. Pour Arivonimamo, on ne trouve pas des variations brusques de la production représentée par la figure 10 de la page 23, donc il est inutile de prendre la tendance de production de ce district.

Plus précisément, le filtre de la courbe de meilleur ajustement selon les méthodes de régression est une méthode de lissage utilisée pour tolérer des inflexions lentes de la tendance. A l'aide de la courbe de régression, on déduit la production filtrée à partir de la production observée.

Les graphes de lissage des séries chronologiques pour chaque district sont représentés ci-dessous :

a) Arivonimamo :

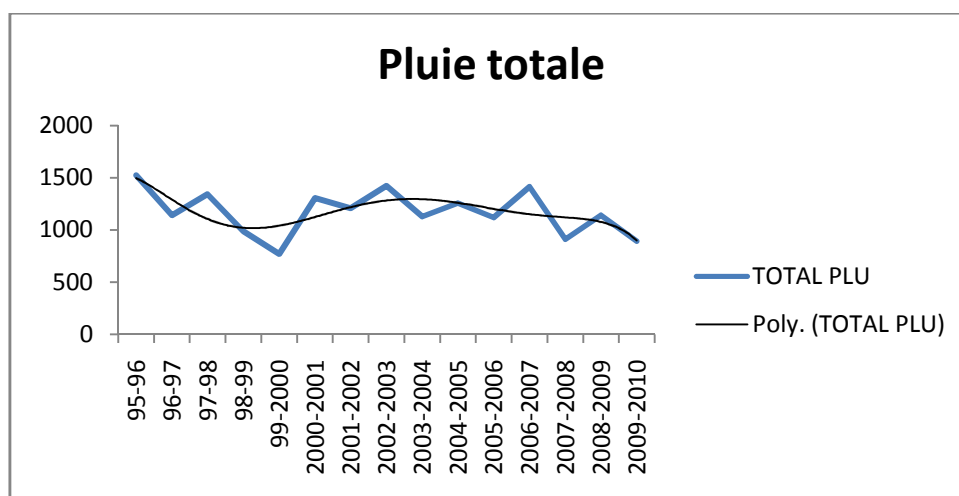


Figure29 : courbe de lissage de la pluie d'Arivonimamo.

D'après la courbe de lissage de la pluie pour Arivonimamo, on a un coefficient de détermination  $R^2 = 0,445$  et l'équation de la courbe de régression est :

$$y = -0,012x^6 + 0,572x^5 - 10,21x^4 + 82,61x^3 - 277,7x^2 + 184,8x + 1515$$

a) Miarinarivo :

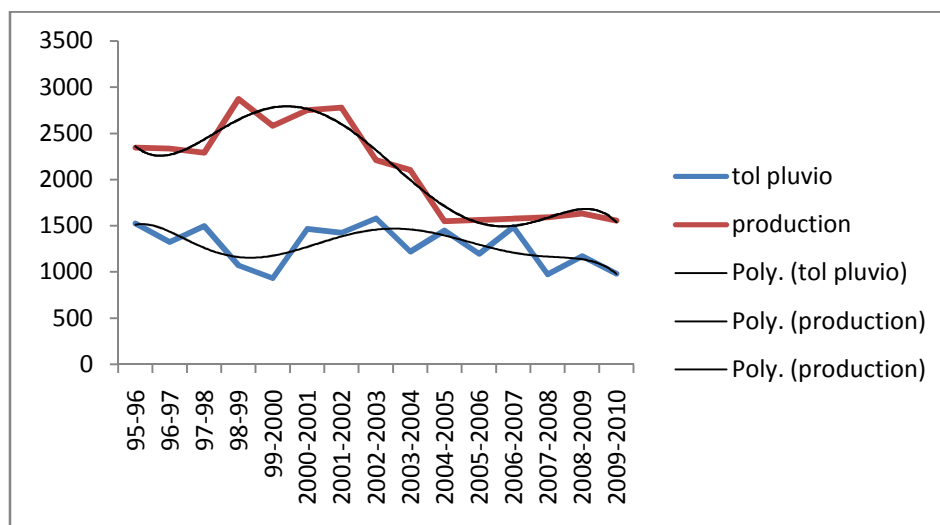


Figure30: courbe de lissage de la pluie et de la production à Miarinarivo

Pour Miarinarivo, le coefficient de détermination de la pluie filtrée est  $R^2 = 0,459$  et son équation est :

$$y = -0,017x^6 + 0,863x^5 - 16,05x^4 + 139,6x^3 - 559,1x^2 + 840,7x + 1102 .$$

Pour le filtrée de production, on a  $R^2 = 0,941$  et son équation est :

$$y = -0,004x^6 + 0,028x^5 + 3,242x^4 - 67,12x^3 + 447,6x^2 - 1012,1x + 2987$$

**b) Soavinandrina :**

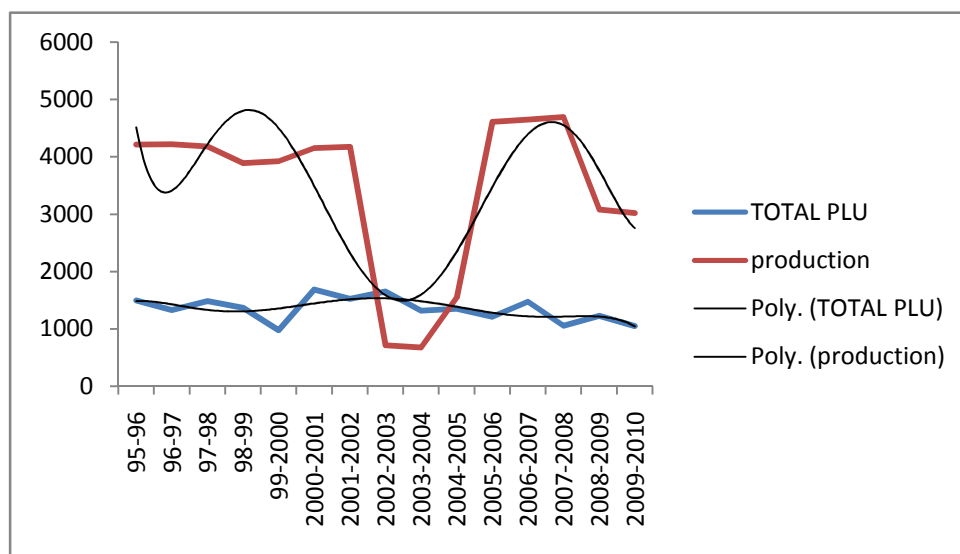


Figure 31 : Courbe de lissage de la pluie et de la production de Soavinandrina.

Pour Miarinarivo, le coefficient de détermination du pluie filtrée est  $R^2 = 0,410$  et son équation est

$$y = -0,015x^6 + 0,733x^5 - 12,86x^4 + 104,2x^3 - 384,4x^2 + 537,5x + 1235 .$$

Pour le filtrée de production, on a  $R^2 = 0,626$  et son équation est :

$$y = 0,168x^6 - 8,591x^5 + 166,0x^4 - 1516,1x^3 + 6626,1x^2 - 12605x + 11852$$

■ Analyse de régression :

Auparavant, on a vu que la droite de régression entre la précipitation annuelle et la production n'est pas envisageable pour faire une prévision de production de la pomme de terre, nous avons intérêt à lisser les données de précipitation brute et de production.

a) Arivonimamo :

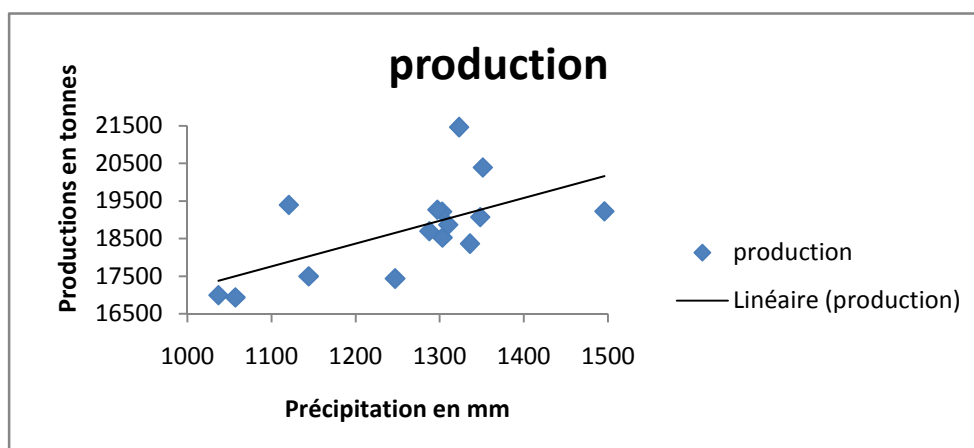


Figure 32 : droite de régression (pluie brute filtré et production) pour Arivonimamo.

La corrélation entre la pluie cumulée filtrée et production est significative, avec  $r = 0.609$  et  $y = 6,068 x + 11087$ . Il y a 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation soit compris entre 0.08 et 0.87.

D'après cette droite de régression, on peut dire que la production croît avec la pluviométrie. Le maximum de la production 21 461 tonne correspond à une quantité de pluie 1323.08 mm. Cette quantité de pluie est prise dans la condition de la précipitation normale de 1171.53mm.

b) Miarinarivo :

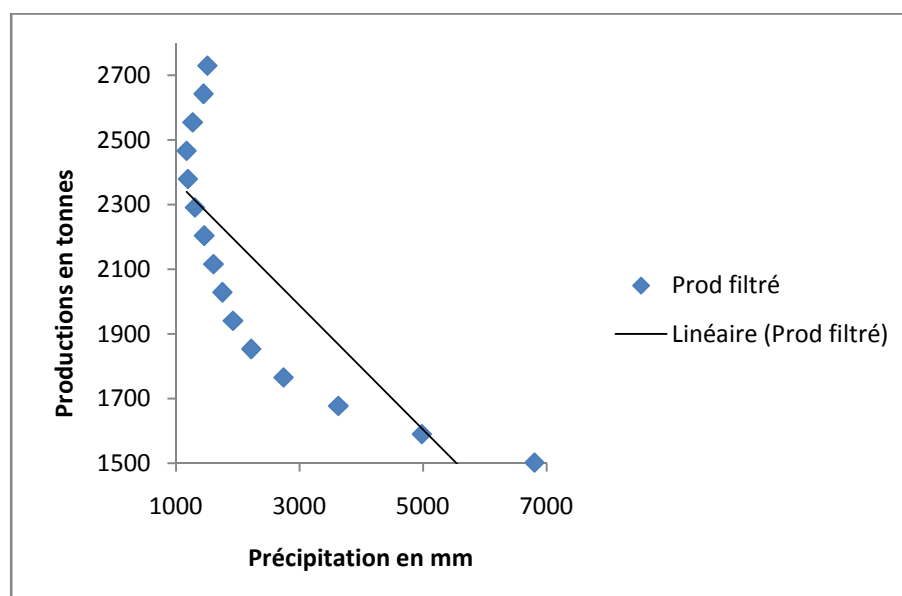


Figure33 : droite de régression (pluie brute filtré et production filtré) pour Miarinarivo.

Pour la corrélation entre la pluie cumulée filtrée et production filtrée, on a  $r = -0.795$  et son équation est :  $y = -0,1922x + 2564,3$ . Par conséquent, la valeur de coefficient de corrélation  $r$  est jugée significative. Selon le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a donc 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation soit compris entre -0.94 et -0.43.

Selon la droite de régression, la production décroît linéairement avec la pluviométrie. Le maximum de la production 2729.34 tonne correspond à une cumule de pluie annuelle de 1509.705mm qui est comprise dans la condition de la pluie normale de 1286.46mm de précipitations annuelles, ceci est consigné dans la Partie III-I.3.2.

c) Soavinandrina :

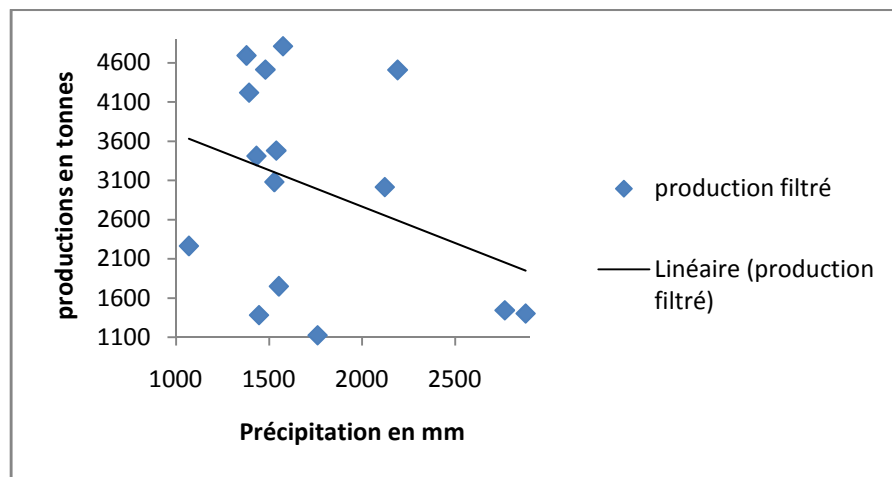


Figure34: droite de régression (pluie brute et production filtré) pour Soavinandrina.

On peut constater dans la figure ci-dessus que le coefficient de corrélation  $r = -0,356$  n'est pas satisfaisant pour nous permettre de faire une prévision de production.

En conclusion, l'allure de la droite de régression et les nuages des points nous permettent d'affirmer que les valeurs extrêmes des précipitations sont défavorables à la production de la pomme de terre.

Dans les districts étudiés, les pluies sont irrégulières et à caractères aléatoires. Ce qui fait que les exigences de la plante ne sont pas toujours remplies: les besoins en eau de certains stades phénologiques sont satisfaits tandis que d'autre ne le sont pas.

On peut affirmer aussi que la pluviométrie n'est pas le seul facteur expliquant la production. Ce qui nous oblige à analyser l'indice de végétation normalisé (NDVI).

### **III.2.2. NDVI et production de la pomme de terre :**

Le NDVI moyen décadaire est extrait d'images NOAA GAC à l'aide de WinDisp 5.1. Ce programme développé par la FAO permet de calculer des statistiques de données sur des superficies définies par les limites administratives.

Dans notre étude nous utilisons le NDVI cumulé pour les différents stades de développement phénologiques de la pomme de terre (Levée, Tubérisation, Floraison, Déclin des organes végétatifs) et le NDVI cumulé à chaque saison agricole<sup>19</sup>. Les images décadaires à insérer dans le programme doivent dater de la 3<sup>ème</sup> décennie d'octobre jusqu'à la troisième décennie du mois de mars de la prochaine année, selon le calendrier cultural.

En effet, Il est facile de comprendre l'indice de végétation normalisé lorsque les caractéristiques de l'absorption et de la réflexion du rayonnement par les feuilles vertes sont étudiées. La chlorophylle de la plante absorbe la majorité de la radiation dans la partie visible du spectre, principalement la partie rouge entre 0,6 à 0,7 mm. Elle est très réfléchissante dans la région proche de l'infrarouge. Grâce à cette propriété de la végétation verte, le NDVI est un indicateur direct de l'activité photosynthétique de la plante. Par conséquent, les paramètres tels que le stress hydrique peuvent être contrôlés avec succès par l'analyse des valeurs de NDVI.

#### **III.2.2.1-Principe et méthode :**

On cherche des corrélations entre l'indice de végétation normalisé que nous appelons variable X et la production de la pomme de terre au moment de la récolte que nous appelons variable Y. On utilise les mêmes méthodes que dans la partie III-III.2.1.1. de la page 38.

#### **III.2.2.2. Distribution par phases végétatifs et production :**

Le tableau 14 ci-dessous montre les valeurs des coefficients de corrélation entre le NDVI moyen cumulé à chaque phase végétative et la production de pomme de terre pour les 3 districts de la région d'Itasy.

Phase phenologique Districts	Levée	Tubérisation	Floraison	Déclin des organes végétatifs
<b>Arivonimamo</b>	-0.243	-0.243	0.315	0.198
<b>Miarinarivo</b>	-0.193	-0.248	-0.370	-0.184
<b>Soavinandrina</b>	0.146	-0.127	-0.463	0.144

Tableau14 : corrélation entre le NDVI et Production.

Touts les valeurs des coefficients de corrélations entre le NDVIa cumulé à chaque phase végétative et la production ne sont pas significatives. Pourtant une bonne corrélation est remarquable pendant la phase de floraison pour les trois districts avec  $|r| > 0.3$ .

### III.2.2.3. Corrélation entre les donnés du NDVI sortie du Windisp 5.1 et la production :

L'étude est basée sur le coefficient de corrélation entre les donnés du NDVI à la sortie de WinDisp 5.1 à chaque saison agricole et la production de la pomme de terre.

Les valeurs de coefficient sont représentées sur le tableau 15 ci-dessous :

Donnés NDVI Districts	NDVIa	NDVIx	NDVIIn	dmax	dmin	NDVIxi	Ecart	Pente
<b>Arivonimamo</b>	<b>0.683</b>	0.054	0.063	0.246	-0.161	0.020	0.015	0.10
<b>Miarinarivo</b>	-0.328	-0.347	-0.328	0.284	0.083	-0.126	-0.019	0.063
<b>Soavinandrina</b>	-0.409	0.325	0.118	-0.414	0.286	-0.031	0.397	0.164

Tableau15 : corrélation entre les donnés NDVI sortie de WinDisp et Production.

Rappelons que la valeur du coefficient de corrélation  $r$  est jugée significative pour  $|r| > 0.5139$ . Par conséquent, la valeur du coefficient de corrélation  $r = 0.683$  avec  $y = 10933x + 14306$  entre le NDVIa et production de la pomme de terre dans le district d'Arivonimamo est significative. Les autres valeurs sont douteuses. Ceci indique que la végétation est restée stable durant la période 1995-2010 et n'a pas connu de stress notable au cours de sa phase de croissance.

D'après le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation entre la production et le NDVIa d'Arivonimamo soit compris entre 0.21 et 0.90.

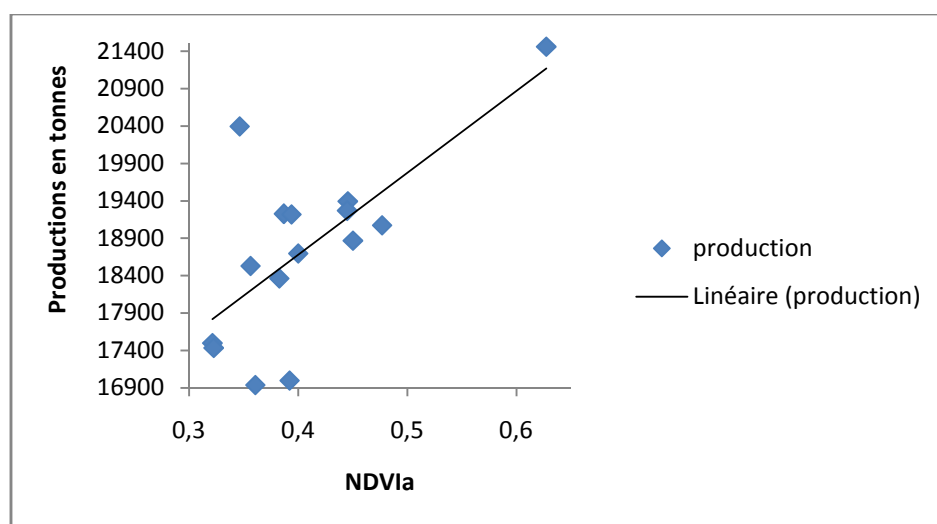


Figure35: Droite de régression entre NDVIa et Production.

Selon la droite de régression, la production croît linéairement avec le NDVIa. Un maximum de production 21 461 tonnes correspond à la valeur de NDVIa la plus élevée pendant les 15 années d'études qui est égale à 0.627.

#### III.2.2.4. Corrélation entre les données du NDVI sortie du Windisp 5.1 et la production filtrée:

Voici sur le tableau 16 ci-dessous les valeurs des coefficients de corrélation entre les données du NDVI sorties de WinDisp à chaque saison agricole et la production de pomme de terre filtrée pour les districts de Miarinarivo et Soavinandrina.

Donnés NDVI Districts	NDVIa	NDVIx	NDVIn	dmax	dmin	NDVIxi	Ecart	Pente
Miarinarivo	-0.170	-0.248	-0.178	0.389	0.178	-0.083	-0.094	0.260
Soavinandrina	0.009	<b>0.653</b>	0.444	-0.396	<b>0.528</b>	0.433	0.381	0.391

Tableau16 : Résultats des coefficients de corrélations entre les données de NDVI et la production filtrée

- La valeur du coefficient de corrélation  $r = 0.653$  avec son équation  $y = 11711x - 4551,7$  entre le NDVIx et production filtrée de la pomme de terre dans le district de Soavinandrina est significative. Le NDVIx contribue positivement à la production de la pomme de terre. Cette situation s'explique par le fait que la teinte verte sombre de la végétation augmente la production.

D'après le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation entre la production filtrée et le NDVIx de Soavinandrina soit compris entre 0.16 et 0.89.

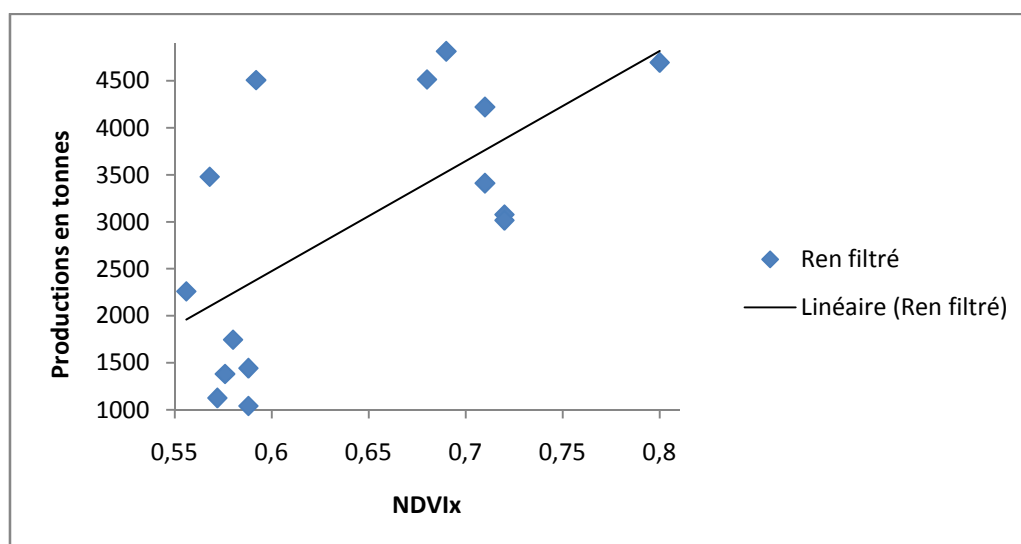


Figure36: Droite de régression entre NDVIx et Production filtré.

Selon la droite de régression, la production croît linéairement avec le NDVIx. Un maximum de production de 4 811,96 tonnes correspond à la valeur de NDVIx 0,69.



- On a aussi un coefficient de corrélation significatif entre le numéro de la décade correspondant à la valeur minimale du NDVI ( $d_{min}$ ) et la production filtrée, avec  $r = 0.528$  et  $y = 296,19x + 2153$ . La date du minimum  $d_{min}$  qui correspond au numéro de la décade dans le cycle végétatif, contribue positivement à la production de la pomme de terre. Cette situation s'explique par le fait que la pousse est dans sa bonne condition.

D'après le test de STUDENT et le test de FISHER dans l'Annexe VI, il y a 95 chances sur 100 que le coefficient de corrélation entre la production filtrée et le  $d_{min}$  de Soavinandrina soit compris entre -0.04 et 0.84.

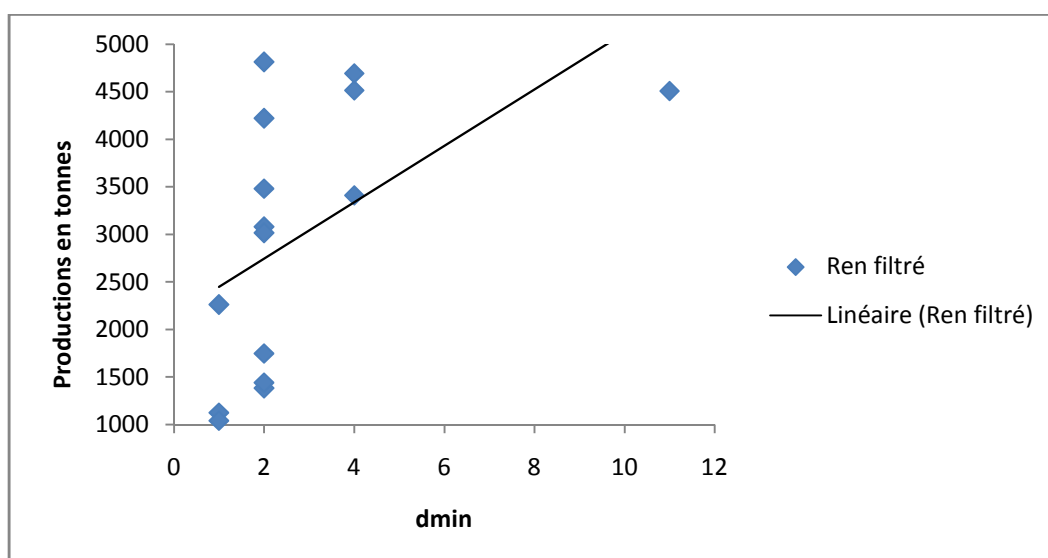


Figure37: Droite de régression entre  $d_{min}$  et Production filtré.

:

Selon la droite de régression, la production croît linéairement avec le  $d_{min}$ . Le maximum de production de 4 811,96 tonnes correspond au numéro de la décade à laquelle la valeur du NDVI est minimale au cours du cycle. Cette valeur est égale à 2.

### **III.2.3. Modèle de prévision de la production de pomme de terre et discussion :**

#### **III.2.3.1 Sets de calibration :**

Le set de calibre comprend :

- Les variables dépendantes : les productions réelles et les productions filtrées de la pomme de terre ;
- Les variables indépendantes :
  - Les données de précipitation (partie II-II.1.1.1; page 18) ;
  - Les données de NDVI (partie II-II.1.1.2; page 19).

#### **III.2.3.2.Choix du meilleur modèle :**

Ce choix est guidé par les critères suivants :

- Nous sélectionnons les variables indépendantes les plus corrélées à la production, notamment avec un coefficient de corrélation **|r|** supérieur à 0.5139 ;
- Les variables ayant un sens d'un point de vue agronomique;
- Le test de significativité : Il s'agit de déterminer la valeur p (p-value) de chaque variable pertinente c'est-à-dire d'évaluer si les résultats de l'essai sont obtenus seulement par hasard.

De façon purement arbitraire, nous considérons en général comme « statistiquement significatives » les valeurs de p inférieures à 1 chance sur 20. Autrement dit la probabilité (p) qu'une valeur soit due au hasard et ne dépasse pas 5% (**p-value < 0.05**).

Nous parlons de valeurs « hautement significatives » si les valeurs de p sont inférieures à 1 chance sur 100 (**p-value<0.01**). Cette significativité doit être prépondérante dans notre étude si nous voulons que les productions prévues ne soient pas trop biaisées ;

- La validation croisée, nous testons la capacité du modèle à prédire la production c'est-à-dire de calculer le  $R^2$  entre les valeurs prédites et les valeurs observées. La valeur prédite est la valeur obtenue par le modèle pour une observation contenue dans l'échantillon de validation. La validation croisée permet de tester la capacité d'un modèle à prévoir la production. Le modèle présentant le  $R^2$  croisé le plus élevé est choisi.

### III.2.3.3. Prévisions de la production au niveau des districts :

#### a) Arivonimamo :

Après avoir procédé la régression, les modèles pour le district d'Arivonimamo ont été calibrés avec deux différentes variables: la pluie annuelle filtrée et NDVIa. Les modèles qui satisfont à notre méthode de validation sont présentés dans le tableau 17 suivant.

MODELE	VARIABLE PREDICTIVE	r	p-value	R <sup>2</sup> croisée
Yréel	Pluie annuelle filtrée	0.609	0.0158	0.371
Yréel	NDVIa	0.683	0.005	0.467

Tableau 17 : Résultats globaux des modèles de production pour Arivonimamo

Le modèle qui a NDVIa comme variable indépendante est préférable dans l'explication de la production dans le district d'Arivonimamo car son coefficient de corrélation r est le plus élevé.

La figure 38 suivante montre la représentation graphique de productions annuelles et le NDVIa où l'axe de Yréel est l'axe principal se trouvant à gauche de la figure.

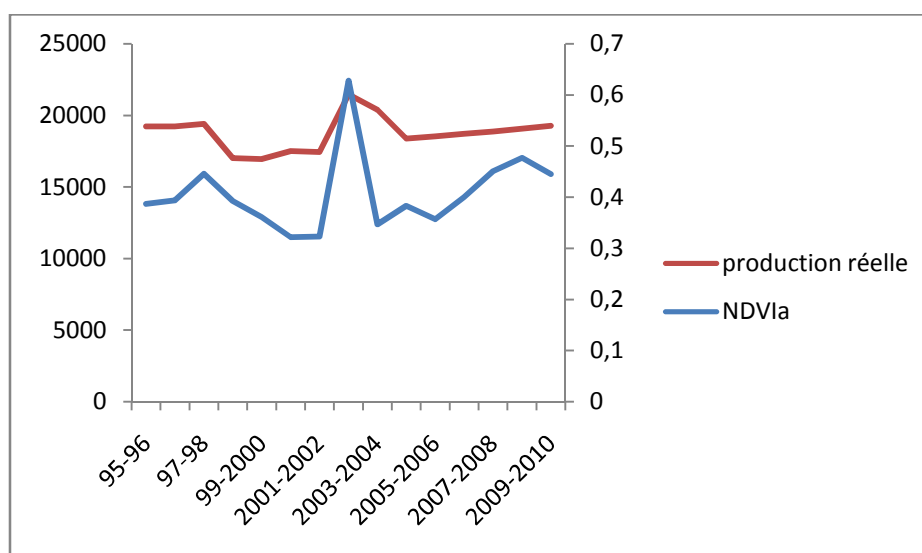


Figure38 : courbe de la production annuelle de pomme de terre et NDVIa à Arivonimamo.

On constate que :

- L'allure des deux courbes est identique ;
- La production de la pomme de terre à Arivonimamo suit le NDVI moyen au cours du cycle végétatif ;
- Un maximum de production correspond au maximum du NDVIa. Ce qui implique que la plante de la pomme de terre évolue en même temps que l'ensemble de la biomasse par une activité photosynthétique harmonique. Dans la réalité, la teinte verte sombre de la végétation affichée par ce NDVI indique un bon ensoleillement de l'endroit de plantation.

L'équation qui résume le modèle de prévision de la production de pomme de terre obtenue par l'analyse de régression dans la partie III-III.2.2.3. page 57 est la suivante :

$$Y_{\text{arivonimamo}} = 10\,933 \text{ NDVIa} + 14\,306$$

La figure 39 suivante montre les résultats entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Arivonimamo.

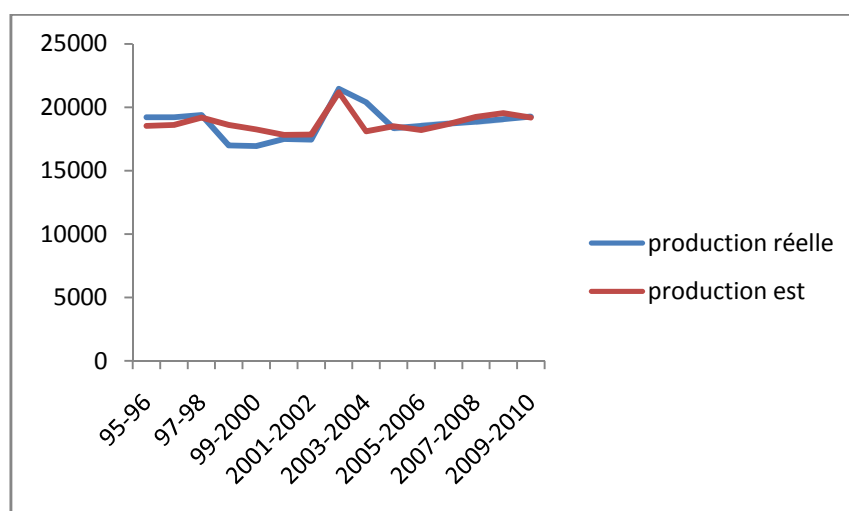


Figure39 : courbe de production de la pomme de terre réelle et estimée pour Arivonimamo.

Les résultats sont encourageants, d'autant plus qu'Arivonimamo est le district le plus productif de la pomme de terre dans la région d'Itasy. Les deux courbes sont quasi-identiques. En plus de la significativité que donne la valeur de p dans le Tableau 17 page 62 qui est ici minime et de la différence entre la production moyenne réelle et estimée qui est très faible et tend vers la valeur nulle (0,0004%), on voit bien que dans l'ensemble ces

différences restent relativement faibles (inférieure à 10%) durant la période considérée (tableau18).

Seules les années 1999 et 2004 représentent des écarts considérables proches de 10% :

- La faible production en 1999 est due à l'insuffisance d'eau suite à la faible précipitation.
- La forte production en 2004 est expliquée par une pluie normale durant cette période

Pour ce district le modèle de prévision de production proposé permet de trouver des bonnes estimations.

ANNEE	Production réelle (tonne)	Production estimée (tonne)	Différence(%)
95-96	19225	18535,7	3,5
96-97	19220	18610,8	3,1
97-98	19395	19178,0	1,1
98-99	17000	18593,1	-9,3
99-2000	16940	18250	-7,7
2000-2001	17500	17821	-1,8
2001-2002	17435	17834,6	-2,2
2002-2003	21461	21166,4	1,3
2003-2004	20395	18091,5	9,9
2004-2005	18 363	18490,6	-0,6
2005-2006	18 530	18200,8	1,7
2006-2007	18 699	18679,2	0,1
2007-2008	18 869	19229	-1,9
2008-2009	19073	19519,6	-2,3
2009-2010	19268	19171,1	0,5
<b>Moyenne</b>	<b>18758,2</b>	<b>18758,1</b>	<b>0,0004</b>

Tableau18 : Différence entre production réelle et estimée

b) Miarinarivo :

Le modèle pour Miarinarivo est résumé dans le tableau 19 suivant :

MODELE	VARIABLE PREDICTIVE	r	p-value	R <sup>2</sup> croisée
<b>Yfiltrée</b>	Pluie annuelle filtrée	-0.795	0.0004	0.452

Tableau19 : Résultats globaux des modèles de production pour Miarinarivo

Notons que la variable qui explique mieux la production de la pomme de terre à Miarinarivo est la pluie annuelle filtrée car son coefficient de corrélation est le plus élevé. Ce résultat peut être interprété par le fait que les grandes pluies sont défavorables à la production de la pomme de terre selon la droite de régression dans la figure 34 de la page 53.

Le modèle de prévision de la production de la pomme de terre dans le district de Miarinarivo obtenue par l'analyse de régression dans la partie III-III.2.1.4.2 de la page 54 est donné par l'équation :

$$Y_{\text{miarinarivo}} = -0,192 \text{ Pluie annuelle filtrée} + 2564$$

La figure 40 suivante montre les résultats entre la production de la pomme de terre réelle et celle estimée pour Miarinarivo.

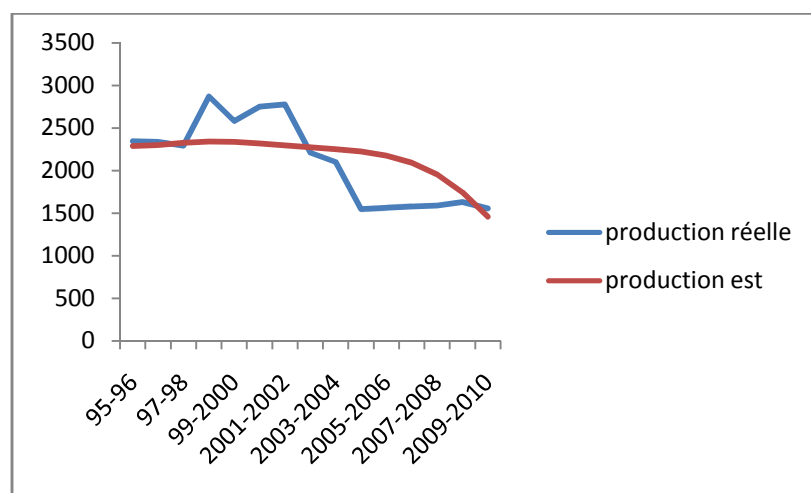


Figure 40 : courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Miarinarivo.

Tout comme pour le district d'Arivonimamo, Miarinarivo donne un excellent résultat, en vue de la significativité que donne la valeur de p (Tableau 19) qui est ici minime et tend vers la valeur nulle. La différence entre la production moyenne réelle et celle estimée est faible (-2.119%). Les années 1999 à 2002 et 2005 à 2008 ont rencontrées des écarts significatifs. Ces écarts peuvent s'interpréter de manières différentes :

- 1999: nous constatons une anomalie négative de précipitations en 1999, mais d'après l'enquête sur terrain, les paysans utilisent le système d'irrigation pour augmenter leur production.

- 2000 : L'anomalie est constatée pendant la période de novembre à janvier, mais le besoin en eau de la pomme de terre est régularisé par la présence du cyclone tropical ELINE en février 2000 alimentant une pluviosité supérieure à la normale.
- 2001 et 2002 : Nous constatons premièrement une anomalie pluviométrique positive générale en 2001 et 2002, caractérisée par un cumul supérieur à la normale de 1286.46 mm de précipitations annuelles. Ces précipitations sont les plus constatées pendant la période de Décembre à mars, donc approximativement durant la phase de floraison.
- 2005 et 2006 : la présence du mildiou selon la DRDR de la région d'Itasy pendant la phase de la floraison du Décembre ou la précipitation est excédentaire (Maladies fongiques ; partie I-I.2.6.3) y provoque la baisse de la production pour ces périodes.
- 2007-2008 : Les années 2007 et 2008 sont portées à une forte anomalie négative respectivement de 954mm et 975mm de précipitations annuelles.

Le tableau 20 suivant montre l'écart entre la production réelle et estimée

ANNEE	Production réelle (tonne)	Production estimée (tonne)	Différence(%)
95-96	2345	2289	2,3
96-97	2335	2299,2	1,5
97-98	2290	2326,2	-1,6
98-99	2870	2341,8	18,4
99-2000	2580	2338,6	9,3
2000-2001	2750	2320,9	15,6
2001-2002	2775	2297	17,2
2002-2003	2210	2273,2	-2,8
2003-2004	2100	2250,9	-7,2
2004-2005	1 548	2223,6	-43,6
2005-2006	1 562	2178	-39,4
2006-2007	1 576	2095,3	-32,9
2007-2008	1 591	1955,9	-22,9
2008-2009	1632	1744,4	-6,9
2009-2010	1556	1458	6,3
<b>Moyenne</b>	<b>2114,6</b>	<b>2159,5</b>	<b>-2,1</b>

Tableau20 : Différence entre production réelle et estimée

### C) Soavinandrina :

Après avoir procédé la régression, Les modèles pour le district de Soavinandrina ont été calibrés avec deux différentes variables, dont le NDVIx et Dmin. Les modèles qui satisfont notre méthode de validation sont présentés dans le tableau 21 suivant.

MODELE	VARIABLE PREDICTIVE	r	p-value	R <sup>2</sup> croisée
Yfiltrée	NDVIx	0.653	0.013	0.325
Yfiltrée	Dmin	0.528	0.0427	0.258

Tableau 21 : Résultats globaux des modèles de production pour Soavinandrina.

Le modèle dont le NDVIx est leur variable indépendante est préférable dans l'explication de la production dans le district de Soavinandrina car son coefficient de corrélation est le plus significatif.

La figure 41 suivante montre la représentation graphique de productions annuelles filtrée et le NDVIx où l'axe de Yfiltrée est l'axe principal se trouvant à gauche de la figure.

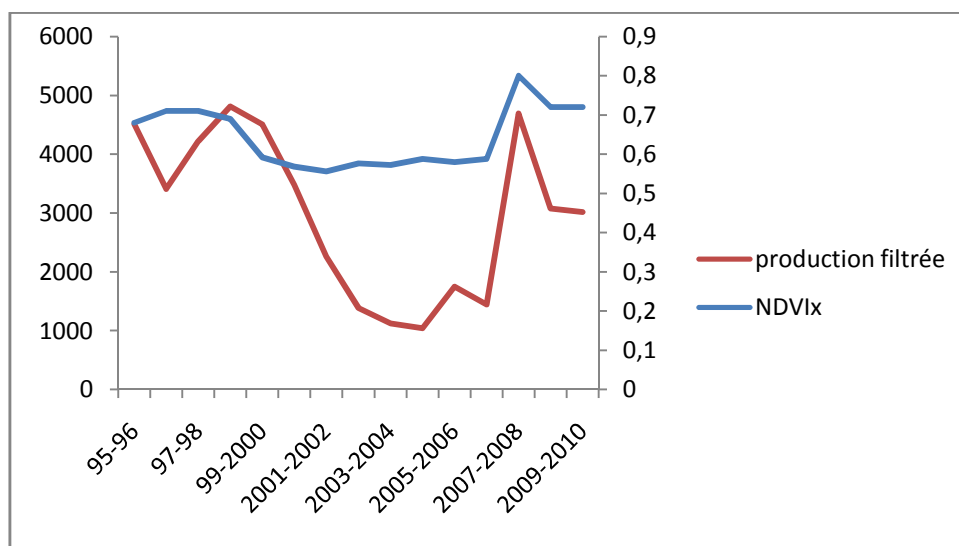


Figure41 : courbe entre la production de la pomme de terre filtrée et le NDVIx à Soavinandrina.

L'analyse de l'allure des deux courbes montre une même variation sauf en 1997. A cette année, la valeur maximale du NDVI au cours du cycle (NDVix) a eu lieu à la fin de la saison agricole ce qui a entraîné la baisse de production. Par contre en 2008, le NDVix a eu lieu à la 8<sup>ème</sup> décennie de la saison agricole qui correspond au début de la floraison et attribut une bonne récolte.

Le modèle de prévision de la production de la pomme de terre dans le district de Soavinandriana obtenue par l'analyse de régression dans la partie III-III.2.2.4 de la page 59 est donné par l'équation :

$$Y_{\text{soavinandrina}} = 11711\text{NDVix} - 4551$$

La figure 42 suivante montre les résultats entre la production de la pomme de terre réelle et celle estimée pour Soavinandriana.

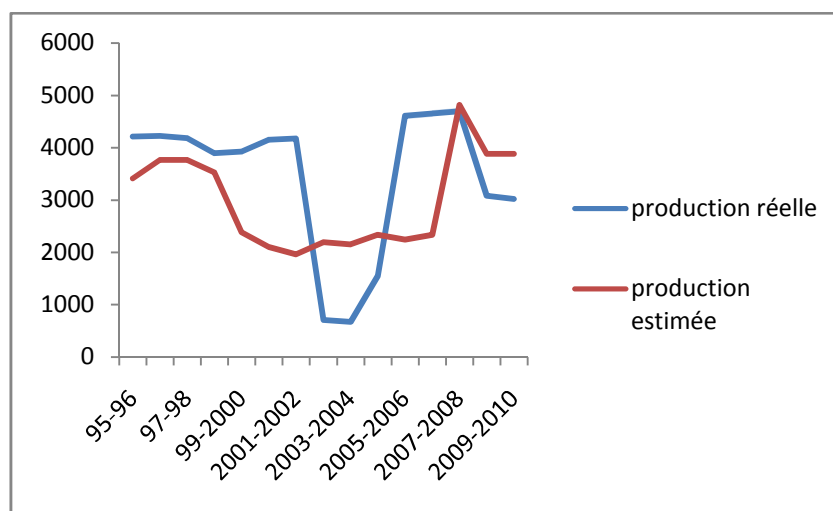


Figure 42 : courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Soavinandriana.

Toutefois, l'utilisation de ce modèle pour prévoir n'est pas profitable à cause d'une volatilité trop remarquable due à la chute de la production dans l'année 2003 à 2005.

La différence entre la production réelle moyenne et estimée est de l'ordre de 13.47%. Mais la valeur de p est de 0.013, ce qui veut dire que le résultat n'est pas obtenu seulement par hasard.

Selon le service du ministère de l'agriculture, la subite décroissance du rendement en 2003 à 2005 est due à l'application des techniques agro-écologiques à Madagascar depuis 2003, financés par l'AFD, le MAEP, CIRAD, avec l'intervention de plusieurs Organismes et Institutions tels que TAFA, FOFIFA, FIFAMANOR, etc....Les techniques culturales appliquées ne sont pas fiables (non utilisation des engrais chimique pour avoir de bonne qualité).

Si on enlève cette anomalie de production nous avons obtenu un coefficient de corrélation  $r = 0,671$  et son équation de prévision est :  $Y_{soavinandrina} = 8074NDVI_x - 1893$ . la valeur de  $p(0,009)$  qui est ici minime montre la significativité du résultat. La figure 43 suivante montre les résultats entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Soavinandrina.

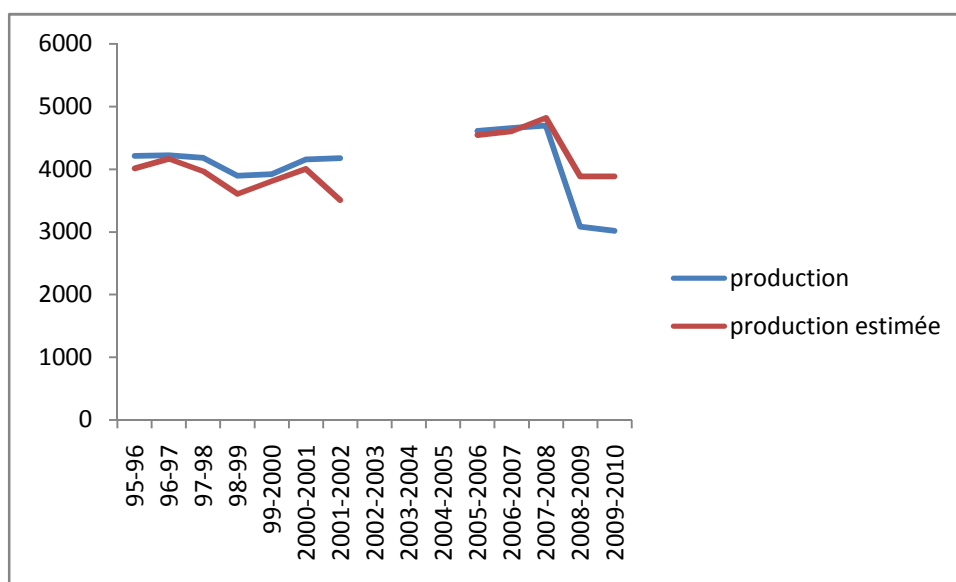


Figure 43 : courbe entre la production de la pomme de terre réelle et estimée pour Soavinandrina .

Les résultats sont encourageants avec un coefficient de détermination croisée  $R^2 = 0,375$ . les deux courbes sont quasi-identiques ; seuls les années 2002, 2009 et 2010 ont rencontrées des écarts significatifs. Ces écarts peuvent s'interpréter de manières différentes :

- 2002 : Nous constatons une anomalie de précipitation positive. Ces précipitations sont constatées pendant la phase de floraison. La quantité de pluie obtenue pendant cette période satisfait le besoin en eau de la pomme de terre et donne une bonne production.
- 2009 et 2010 : la chute de la production est due à une anomalie négative de précipitation.

### **III.2.4. Etude économique sur la culture de la pomme de terre :**

Vue la place de la pomme de terre à Madagascar qui tient la quatrième place après le riz, le manioc, la patate douce; Nous avons intérêt à faire l'étude économique de la pomme de terre.

#### **III.2.4.1 Devis estimatif pour la culture de la pomme de terre :**

##### **III.2.4.1.1. Devis sur les matériels utilisés( en ariary) :**

matériel	Unité	Quantité/A	Prix unitaire	Montant/A	Montant/Ha
Fumier	kg	400kg/A	20	8.000	800.000
NPK 11-22-16	kg	3kg/A	2.000	6.000	600.000
Semences	kg	28kg/A	500	14.000	1.400.000
Urée	kg	1kg/A	1.700	1.700	170.000
<b>TOTAL</b>	<b>2.970.000</b>				

*Tableau 22 : devis estimatif sur les matériels utilisés.*

##### **III.2.4.1.2. Devis sur les traitements contre les maladies et les ennemis (en ariary) :**

Ennemis	Unité	Quantité/ha	Montant/Ha
<b>Bactérie (Mortak 1,8% EC 18g/l)</b>	g/l	500g/ha *3fois	34.500
<b>Maladie (dithane M45 80%)</b>	Kg	2.5kg/ha*4fois	110.000
<b>TOTAL</b>	<b>144.500</b>		

*Tableau23 : devis estimatif sur les traitements.*

**III.2.4.1.3. Devis sur les mains d'œuvres (en ariary) :**

Main d'œuvre		Prix d'une personne	Nombre de personne par Ha	Prix total/Ha
Préparation du sol	Labour	4.000	6	24.000
	Sillonage	2.000	20	40.000
	Pour mettre les semences et le NPK dans les sillons (plantation)	2.000	20	40.000
Entretiens	buttage*2	2.000	20	80.000
	feuillage	2.000	30	60.000
Récolte	Enlèvements des tubercules	2.000	40	80.000
TOTAL	324.000			

Tableau24 : devis estimatif sur les mains d'œuvre.

**III.2.4.1.4. Détails du devis estimatif (les prix sont en ariary) :**

N°	DESIGNATION	MONTANT
1	Matériels utilisés	2.970.000
2	Traitements	144.500
4	Mains d'œuvres	324.000
5	Imprévues	1.000.000
TOTAL		Ar 4.438.500

Tableau25 : devis estimatif total.

**LE DEVIS ESTIMATIF TOTAL DE CE PROJET EST ARRETE A LA SOMME DE ARIARY QUATRE MILLIONS QUATRE CENT TRENTE HUIT MILLE CINQ CENT.**

### III.2.4.2. Rentabilités :

Actuellement, Madagascar entre dans l'exportation de la pomme de terre. Pour cela nous allons prendre la comparaison des prix sur le marché international qui est de l'ordre de 0.71 Euro le Kilogramme.

Le cours de l'euro par rapport à l'ariary est de :

$$1\text{€} = 2.717 \text{ Ar}$$

D'où, le prix de la pomme de terre qui nous intéresse est de :

$$0.71 * 2.717 \text{ Ar} = 1.929 \text{ Ar}$$

- Rendement de la pomme de terre utilisé pour le calcul

Notre étude contribue à la prévision de la production, nous avons pris le rendement moyen estimé pendant les 15 années d'études dans la région d'Itasy sur la production estimée dans les districts d'Arivonimamo et Miarinarivo. Soavinandrina n'est pas pris en compte à cause de l'ampleur de l'écart entre la production moyenne réelle et estimée. On va voir tout cela sur le tableau26 suivant :

	<b>Production moyenne estimée (tonne)</b>	<b>Superficie moyenne cultivée (ha)</b>	<b>Rendement moyenne estimé(t/ha)</b>
<b>Arivonimamo</b>	18758,1258	3110,7272	6,03014171
<b>Miarinarivo</b>	2159,4879	608,5454	3,54860606
<b>MOYENNE</b>	<b>4,79 tonne/Hectare</b>		

Tableau26 : Rendement moyenne estimé en 1995-2010 pour la région d'Itasy.

D'après les calculs effectués, le rendement moyen est de 4,79 tonnes/Hectare. Alors le prix total du rendement de la pomme de terre pour une saison agricole est de 9.240.246 Ariary.

- Bénéfice :

On a un bénéfice :

$$\text{BENEFICE} = \text{PRIX TOTAL DU RENDEMENT} - \text{DEVIS ESTIMATIF TOTAL}$$

$$\text{BENEFICE} = 9.240.246 \text{ Ar} - 4.438.500 \text{ Ar} = 4.801.746 \text{ Ar}$$

- Délai de récupération du capital investie (DRCI) :

$$\text{DRCI} = \text{INVESTISSEMENT INITIAL} / \text{BENEFICE}$$

$$= 4.438.500 / 4.801.746 \text{ Ar} = 0,924$$

La capitale investie est récupérée en une seule saison agricole.

- Taux moyen de rendement (TMR) :

$$\text{TMR} = (\text{BENEFICE} / \text{INVESTISSEMENT INITIAL}) * 100$$

$$= (4.801.746 \text{ Ar} / 4.438.500 \text{ Ar}) * 100 = 108,18\%$$

Après calcul, le projet dégage un délai de récupération du capital investie de 1 an et un taux moyen de rendement de 108,18%. Alors le projet est rentable.

## CONCLUSION

L'utilisation des données satellitaires de Rainfall Estimates (RFE) et Normalized Vegetation Index (NDVI) nous a permis de suivre des campagnes agricoles, et de caler les différents modèles de prévisions de production de pomme de terre, afin d'étudier son économie. C'est un modèle polyvalent et robuste qui est susceptible d'être utilisé dans des conditions environnementales variées.

Après avoir fait l'analyse de régression entre les données météorologiques de la télédétection et la production de pomme de terre, on a constaté que la pluie est l'un des facteurs climatiques limitant de la culture de pomme de terre et que des extrêmes pluviométriques sont défavorables à la production. La pomme de terre n'arrive pas à satisfaire son besoin en eau quand la pluie est déficitaire tandis qu'un excès de pluie pourrait entraîner des dégâts sur la plante.

Le NDVI en particulier reflète étroitement l'état des cultures et a notamment permis de développer des modèles statistiques précis de prédiction des productions de pomme de terre au niveau des trois districts de la région de l'Itasy à savoir Arivonimamo, Miarinarivo, Soavinandriana. La meilleure prédiction, basée sur le NDVI moyen (NDVIa), est caractérisée par un coefficient de corrélation  $r = 0,683$  et conduit à un écart entre la production réelle et la production estimée de 0,00042% à Arivonimamo. La zone la plus productive est celle d'Arivonimamo où le rendement est de 6,03 t/ha, ensuite celle de Soavinandriana avec 3,73 t/ha et celle de Miarinarivo avec 3,47 t/ha. La plus faible production correspond à la présence du mildiou pendant la phase de floraison du Décembre où la précipitation est très abondante.

Ces résultats sont satisfaisants. Ils peuvent être appliqués à la prévision des productions agricoles. En notre faveur, nous avons exploité, au maximum, en concordant nos actions à ces caractères météorologiques le fait de:

- Profiter les conditions climatiques favorables, en jouant sur la date de semis pour limiter les dégâts relatifs aux besoins en eau de la plante pendant ses différentes phases de développement, afin de définir le calendrier agricole;
- Analyser les conditions climatiques favorables aux développements des ennemis et des maladies afin de les traiter ou de réduire l'investissement nécessaire.

D'autres facteurs d'ordre technique ou socio-économique peuvent intervenir et limitent l'influence des facteurs agrométéorologiques sur ses productions. Ils pourront contribuer à l'amélioration des outils de prévision des productions agricoles mais il reste encore du travail à accomplir n'en parlant que l'effet de la variabilité climatique ou du changement climatique, qui peut affecter les productions.

## BIBLIOGRAPHIE

-[1] **AAC 2000**, Les pommes de terre : « Situation et tendances de la production canadienne en 1999-2000 ». Agriculture et Agroalimentaire Canada, [Available online from [http://www.agr.gc.ca/misb/hort/potato\\_fr.html](http://www.agr.gc.ca/misb/hort/potato_fr.html)].

[2] **Amani Louis KOUADIO**, «Prévision de la production nationale d'arachide au Sénégal à partir du modèle agrométéorologique AMS et du NDVI», mémoire de fin d'Études, Université de Liège. 2007.

[3] **Benoît DUCHEMIN**, « Introduction aux calculs de besoin en eau et de l'évapotranspiration de cultures selon la méthode FAO Allen et al. 98 », Université Cadi Ayyad.

[4] **BLANCHET, LEGENDRE et al**, « Forward selection of explanatory variables », Ecology. 2008.

[5] **CIP Terre 1999** La pomme de terre: « Une production en pleine croissance ». Centre International de la Pomme de terre, [Available online from <http://www.cipotato.org/Market/Potatofacts/pommepdf/pomeprod.pdf>].

[6] **Eastern and Southern Africa Partnership Programme, diagnostic environnemental et recherches appliqués pour le développement en milieu rural**, « analyse de la dégradation du bassin versant et proposition d'alternatives pour limiter l'érosion dans la grappe lac Itasy », mai 2005.

[7] **FAO 2004** « Faostat databases » [Available online from <http://apps.fao.org/faostat/default.jsp>].

[8] **GUERI LUS Pierre-Mary**, «Contribution à la réflexion sur la manière de documentation de AgrometShell (AMS) pour servir dans le suivi et la prévention », mémoire de fin d'études, Université de Liège. 2004-2005.

[9] **Harvey Motulsky**, « The InStat guide to choosing and interpreting statistical tests », 1990-2003.

[10] **J.VIALAR**, « Calcul des Probabilités et statistique », Tome I, II, III.1956.

[11] **J. WELLENS**, « Élaboration d'un modèle de prévision des rendements cotonniers dans la province du Houet », Université de Liège. 2006.

[12] **Kashyap, P. S., and Panda, R. K**, «Effect of irrigation scheduling on potato crop parameters under water stressed conditions». Agricultural Water Management, Vol. 59, No. 1, 2003.

[13] **MENARD S**, « Impact des variations climatiques sur la production agricole ». Mémoire de fin d'études. Fondation Universitaire de Luxembourg. Arlon, 2002.

[14] **Ministère de l'Agriculture**, *Monographies régionales* des 18 D. (I). R.D.R. 2003.

[15] **OMM**, «Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology», proceedings workshop, India. Juillet 2003.

[16] **PJ Sellers**, « réflectance de la couverture végétale, la photosynthèse et la transpiration », International Journal of Remote Sensing, 1985.

[17] **Programme régional de développement rural**. « Itasy vonona ka tsy maintsy mandroso »

[18] **Riad BALAGHI**, « Approche informationnelle du risque de sécheresse ». Aridoculture-SAADA.

[19] **Riad BALAGHI**, « La prévision des récoltes ». Aridoculture-SAADA. 2009.

**[20] Riad BALAGHI et NARCISO**, « Des précipitations prolongées et supérieures à la normale ont permis une campagne agricole exceptionnelle » Bulletin-rapport. Maroc. Mai 2009.

**[21] RRSU-SADC**, « Rainfall, Vegetation and Crop Monitoring », Regional Food Security Program.  
Growing Season Status. 2001-2002 Issue.

**[22] SADC EARLY WARNING SYSTEMS FOR FOOD SECURITY**, Manual of Agrometeorology Tools, SADCFAO.1995.

**[23] S.AIVAZIAN**, « Etude statistique de dépendances ». 1978.

**[24] SERGE OLIVIER KOTCHI** « détection du stress hydrique par thermographie infrarouge application à la culture de la pomme de terre » mémoire de fin d'études, Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences.

**[25] Sonia ANDRIANARIVRELO** (consultante agro-economiste) « Analyse de la filière pomme de terre région Itasy ».

**[26] Statistiques Agricoles**, *Annuaire* 2003 à 2008.

**[27] W.A. HODGSON, D.D. POND** (Station de recherches, Fredericton) et **J. MUNRO** (Division de la protection des végétaux, Ottawa), « maladies et ennemis de la pomme de terre » Ministère de l'agriculture du Canada publication 1492 révisée 1975.

**[28] Wikipédia Encyclopédie**, « La pomme de terre », « NDVI ». <http://www.wikipédia.fr>

# ANNEXE

## ANNEXE I

### Pluies décadaire, pluies mensuelles et pluies cumulées obtenue par le produit RFE de 1995 à 2010 pour la région d'Itasy.

#### ARIVONIMAMO :

#### Pluie décadaire :

ANNEE	03-oct	01-nov	02-nov	03-nov	1dec	2dec	3dec	01-janv
95-96	8	13	36	80	83	97	175	113
96-97	16	7	34	6	26	92	161	43
97-98	28	7	55	86	51	37	137	92
98-99	27	2	36	14	80	77	184	104
99-2000	81	52	38	18	55	74	8	21
2000-2001	101	115	26	85	80	71	97	61
2001-2002	29	9	45	18	56	16	226	73
2002-2003	22	102	36	24	74	62	124	148
2003-2004	2	41	32	88	68	105	97	87
2004-2005	39	43	56	55	45	180	173	93
2005-2006	2	1	78	81	144	139	172	20
2006-2007	15	27	67	48	178	37	58	189
2007-2008	38	42	50	88	14	43	121	15
2008-2009	87	32	109	101	39	116	38	119
2009-2010	30	16	1	44	127	67	13	80

ANNEE	02-janv	03-janv	01-févr	02-févr	03-févr	01-mars	02-mars	03-mars
95-96	106	235	156	22	32	81	208	80
96-97	117	152	106	163	114	43	29	32
97-98	96	144	76	102	151	167	47	69
98-99	79	138	69	14	6	43	80	36
99-2000	23	79	61	6	55	180	6	13
2000-2001	185	173	104	17	88	41	25	38
2001-2002	51	82	121	210	68	95	82	27
2002-2003	200	191	26	49	72	80	186	28
2003-2004	76	122	28	46	131	144	57	4
2004-2005	21	94	109	18	94	163	40	35
2005-2006	19	144	37	80	24	132	37	9
2006-2007	214	161	192	123	19	15	67	6
2007-2008	90	104	69	131	16	20	45	24
2008-2009	84	87	82	31	21	47	102	46
2009-2010	121	40	43	53	27	108	77	45

### Pluie mensuelle et pluie brute :

ANNEE	OCT	NOV	DEC	JANV	FEVR	MARS	Pluie total
95-96	11	129	355	454	210	369	1525
96-97	21	47	279	312	383	104	1141
97-98	53	148	225	332	329	283	1345
98-99	48	52	341	321	89	159	989
99-2000	83	108	137	123	122	199	770
2000-2001	129	226	248	419	209	104	1307
2001-2002	38	72	298	206	399	204	1208
2002-2003	46	162	260	539	147	294	1424
2003-2004	35	161	270	285	205	205	1128
2004-2005	83	154	398	208	221	238	1258
2005-2006	13	160	455	183	141	178	1119
2006-2007	36	142	273	564	334	88	1416
2007-2008	58	180	178	209	216	89	910
2008-2009	91	242	193	290	134	195	1141
2009-2010	106	61	207	241	123	230	892

### MIARINARIVO :

#### Pluie décadaire :

ANNEE	03-oct	01-nov	02-nov	03-nov	1dec	2dec	3dec	01-janv
95-96	13	17	67	100	60	103	191	121
96-97	35	18	69	37	35	84	162	68
97-98	29	2	69	98	61	39	141	91
98-99	27	5	37	39	98	68	204	5
99-2000	70	65	46	15	86	96	22	65
2000-2001	96	111	47	132	101	72	131	50
2001-2002	28	19	62	31	75	40	224	95
2002-2003	33	86	47	45	56	64	147	146
2003-2004	7	36	30	69	95	99	96	91
2004-2005	31	47	53	73	70	221	218	121
2005-2006	4	2	76	82	155	151	195	35
2006-2007	13	60	74	41	174	52	72	195
2007-2008	28	38	47	93	18	51	124	15
2008-2009	100	46	92	88	49	129	39	124
2009-2010	40	21	6	33	109	72	37	89

ANNEE	02-janv	03-janv	01-févr	02-févr	03-févr	01-mars	02-mars	03-mars
95-96	118	227	128	20	18	69	203	70
96-97	128	173	122	140	131	62	43	18
97-98	142	182	87	90	157	176	55	76
98-99	37	39	98	68	204	15	83	43
99-2000	36	93	71	38	61	147	2	20
2000-2001	172	172	93	35	96	39	60	59
2001-2002	76	99	131	192	71	118	105	58
2002-2003	213	220	45	50	64	105	217	41
2003-2004	84	163	37	69	116	148	70	10
2004-2005	42	104	109	17	96	169	55	22
2005-2006	33	124	50	74	39	123	35	17
2006-2007	214	171	215	117	29	14	43	3
2007-2008	90	102	78	153	31	19	65	23
2008-2009	88	94	77	26	19	57	102	43
2009-2010	154	47	54	64	26	83	77	70

Pluie mensuelle et pluie brute :

ANNEE	OCT	NOV	DEC	JANV	FEVR	MARS	tol pluvio
95-96	16	184	354	466	166	342	1525
96-97	39	124	281	369	393	123	1325
97-98	44	169	241	415	334	307	1495
98-99	45	81	370	81	370	141	1070
99-2000	70	126	204	194	170	169	933
2000-2001	118	290	304	394	224	158	1466
2001-2002	33	112	339	270	394	281	1424
2002-2003	62	178	267	579	159	363	1579
2003-2004	39	135	290	338	222	228	1220
2004-2005	71	173	509	267	222	246	1448
2005-2006	22	160	501	192	163	175	1195
2006-2007	36	175	298	580	361	60	1487
2007-2008	50	178	193	207	262	107	975
2008-2009	105	226	217	306	122	202	1173
2009-2010	123	60	218	290	144	230	982

# SOAVINANDRIANA :

## Pluie décadaire :

ANNEE	03-oct	01-nov	02-nov	03-nov	1dec	2dec	3dec	01-janv
95-96	31	24	55	80	47	75	204	94
96-97	28	29	90	50	45	70	162	88
97-98	29	0	53	73	69	49	99	77
98-99	34	9	34	51	95	83	180	153
99-2000	57	47	72	10	111	91	19	67
2000-2001	70	109	90	168	114	69	159	66
2001-2002	17	18	88	41	77	84	227	90
2002-2003	52	65	70	24	36	72	116	135
2003-2004	9	19	22	62	95	106	85	80
2004-2005	25	19	50	91	86	186	232	136
2005-2006	8	3	57	72	120	140	178	45
2006-2007	8	46	57	26	150	65	78	239
2007-2008	25	38	41	101	19	65	135	39
2008-2009	106	28	72	101	50	135	46	110
2009-2010	44	21	7	34	87	73	41	96

ANNEE	02-janv	03-janv	01-févr	02-févr	03-févr	01-mars	02-mars	03-mars
95-96	136	219	111	30	17	74	222	77
96-97	130	146	134	110	116	91	32	8
97-98	183	174	126	98	188	149	51	65
98-99	112	212	125	52	75	40	55	55
99-2000	31	98	64	50	63	151	11	33
2000-2001	162	201	127	58	85	60	71	76
2001-2002	79	78	134	176	106	129	102	78
2002-2003	242	214	91	78	69	119	195	76
2003-2004	99	195	38	78	101	178	119	28
2004-2005	88	103	76	9	69	114	56	7
2005-2006	70	113	70	83	60	125	31	33
2006-2007	196	193	197	120	37	33	28	2
2007-2008	92	101	87	160	38	27	58	28
2008-2009	92	139	80	37	25	81	84	38
2009-2010	164	47	79	71	32	77	91	86

Pluie mensuelle et pluie brute :

ANNEE	OCT	NOV	DEC	JAN	FEVR	MARS	TOTAL PLU
95-96	32	159	326	449	158	373	1496
96-97	35	169	277	364	360	131	1329
97-98	51	126	217	434	412	265	1483
98-99	51	94	358	477	252	150	1365
99-2000	57	129	221	196	177	195	975
2000-2001	96	367	342	429	270	207	1685
2001-2002	26	147	388	247	416	309	1524
2002-2003	81	159	224	591	238	390	1654
2003-2004	35	103	286	374	217	325	1314
2004-2005	90	160	504	327	154	177	1347
2005-2006	16	132	438	228	213	189	1208
2006-2007	18	129	293	628	354	63	1475
2007-2008	47	180	219	232	285	113	1054
2008-2009	115	201	231	341	142	203	1224
2009-2010	88	62	201	307	182	254	1050

## ANNEXE II

### Données de NDVI sortie de WINDISP.

#### Arivonimamo :

ANNEE	NDVIa	NDVIx	NDVIn	ecart	dmax	dmin	NDVIxi	pent
95-96	0,386875	0,6	0,14	0,46	14	4	0,29	0,42
96-97	0,39375	0,58	0,21	0,37	15	5	0,3	0,42
97-98	0,445625	0,63	0,29	0,34	16	2	0,35	0,42
98-99	0,392125	0,61	0,26	0,35	13	3	0,39	0,42
99-2000	0,36075	0,5	0,172	0,328	8	11	0,28	0,292
2000-2001	0,3215	0,46	0,12	0,34	12	2	0,172	0,32
2001-2002	0,32275	0,468	0,136	0,332	14	1	0,244	0,32
2002-2003	0,6275	0,48	0,172	0,308	14	3	0,26	0,316
2003-2004	0,34625	0,48	0,152	0,328	12	3	0,24	0,316
2004-2005	0,38275	0,54	0,248	0,292	15	2	0,3	0,32
2005-2006	0,35625	0,488	0,196	0,292	13	2	0,208	0,324
2006-2007	0,4	0,708	0,168	0,54	8	1	0,212	0,324
2007-2008	0,45028571	0,592	0,236	0,356	9	10	0,424	0,3
2008-2009	0,476875	0,65	0,25	0,4	13	3	0,32	0,42
2009-2010	0,445	0,64	0,3	0,34	10	3	0,39	0,42

#### Miarinarivo :

ANNEE	NDVIa	NDVIx	NDVIn	ecart	dmax	dmin	NDVIxi	pent
95-96	0,4275	0,61	0,18	0,43	14	4	0,29	0,43
96-97	0,43875	0,66	0,24	0,42	16	4	0,29	0,43
97-98	0,475	0,66	0,3	0,36	15	3	0,34	0,42
98-99	0,428125	0,65	0,31	0,34	15	3	0,42	0,42
99-2000	0,383	0,564	0,144	0,42	7	10	0,268	0,288
2000-2001	0,3755	0,524	0,108	0,416	14	1	0,18	0,328
2001-2002	0,36575	0,544	0,144	0,4	15	1	0,24	0,324
2002-2003	0,35825	0,54	0,164	0,376	16	2	0,24	0,324
2003-2004	0,3755	0,536	0,156	0,38	15	1	0,224	0,324
2004-2005	0,41425	0,564	0,264	0,3	15	2	0,336	0,32
2005-2006	0,36975	0,532	0,184	0,348	13	2	0,2	0,328
2006-2007	0,38725	0,64	0,156	0,484	11	1	0,208	0,324
2007-2008	0,48157143	0,696	0,304	0,392	9	8	0,408	0,308
2008-2009	0,505813	0,68	0,27	0,41	13	1	0,31	0,42
2009-2010	0,454167	0,73	0,29	0,44	11	3	0,39	0,43

Soavinandriana :

ANNEE	NDVIa	NDVIx	NDVIn	ecart	dmax	dmin	NDVIxi	pent
95-96	0,46	0,68	0,2	0,48	14	4	0,28	0,43
96-97	0,455	0,71	0,24	0,47	15	4	0,28	0,43
97-98	0,496875	0,71	0,31	0,4	15	2	0,35	0,42
98-99	0,440875	0,69	0,29	0,4	15	2	0,38	0,42
99-2000	0,38675	0,592	0,152	0,44	7	11	0,22	0,284
2000-2001	0,3725	0,568	0,108	0,46	14	2	0,156	0,332
2001-2002	0,3665	0,556	0,12	0,436	14	1	0,208	0,328
2002-2003	0,38075	0,576	0,168	0,408	15	2	0,268	0,324
2003-2004	0,644	0,572	0,144	0,428	16	1	0,216	0,328
2004-2005	0,435	0,588	0,268	0,32	15	1	0,34	0,32
2005-2006	0,391	0,58	0,184	0,396	13	2	0,204	0,332
2006-2007	0,37175	0,588	0,144	0,444	12	2	0,184	0,328
2007-2008	0,47885714	0,8	0,372	0,428	8	4	0,412	0,312
2008-2009	0,519375	0,72	0,26	0,46	14	2	0,29	0,43
2009-2010	0,49	0,72	0,29	0,43	11	2	0,36	0,43

### ANNEXE III

Production de la pomme de terre et Superficie emballée par la pomme de terre, dans la région de l'Itasy de 1995 à 2010.

	<b>ARIVONIMAMO</b>		<b>MIARINARIVO</b>		<b>SOAVINANDRINA</b>	
ANNEE	<b>production (tonnes)</b>	Superficies (ha)	<b>production (tonnes)</b>	Superficies (ha)	<b>production (tonnes)</b>	Superficies (ha)
1995-1996	19225	2700	2345	500	4210	745
1996-1997	19220	2690	2335	500	4220	740
1997-1998	19395	2715	2290	490	4180	730
1998-1999	17000	2730	2870	495	3890	735
1999-2000	16940	2720	2580	500	3920	740
2000-2001	17500	2710	2750	505	4150	745
2001-2002	17435	2700	2775	510	4175	750
2002-2003	21461		2210		709	
2003-2004	20395		2100		670	
2004-2005	18 363	3813	1 548	799	1 548	1238
2005-2006	18 530	3850	1 562	805	4 608	1250
2006-2007	18 699	3780	1 576	790	4 650	1230
2007-2008	18 869	3810	1 591	800	4 693	1240
2008-2009	19073		1632		3079	
2009-2010	19268		1556		3015	

## ANNEXE IV

### Pluie filtrée et production filtrée.

	ARIVONIMAMO		MIARINARIVO		SOAVINANDRINA	
ANNEE	pluie filtrée	Production filtrée	pluie filtrée	Production filtrée	pluie filtrée	Production filtrée
95-96	1495,714	19625,098	1509,705	2729,34	1481,158	4514,578
96-97	1302,944	19172,472	1444,656	2641,68	1432,013	3409,872
97-98	1120,61	14463,442	1272,333	2554,02	1392,438	4220,102
98-99	1036,792	11580,808	1173,216	2466,36	1574,533	4811,968
99-2000	1057,25	12086,25	1193,625	2378,7	2191,358	4508,25
2000-2001	1144,304	15019,288	1306,32	2291,04	1539,133	3480,368
2001-2002	1247,074	18462,802	1458,861	2203,38	1068,638	2261,902
2002-2003	1323,08	20675,112	1609,728	2115,72	1445,355	1383,072
2003-2004	1351,202	20788,618	1752,201	2028,06	1760,158	1126,178
2004-2005	1336	19075	1926	1940,4	2877,733	1402
2005-2006	1303,394	16776,978	2216,685	1852,74	1552,38	1747,158
2006-2007	1287,704	15506,632	2742,816	1765,08	2767,013	1442,432
2007-2008	1310,05	16210,282	3630,873	1677,42	1378,36	4 693
2008-2009	1348,112	17699,928	4977,936	1589,76	1528,21	3082,09
2009-2010	1297,25	14751,25	6802,125	1502,1	2122,01	3018,15

## ANNEXE V :

### Pluie efficace

Dans son sens le plus simple la pluie efficace veut dire pluie « utile » ou utilisable. La pluie n'est pas nécessairement utile ou désirable au moment où elle est reçue. Une partie de cette pluie peut être gaspillée tandis qu'une autre peut être même destructible.

La pluie peut s'évaporer dans l'atmosphère, être interceptée par la végétation ou atteindre le sol sur lequel elle peut ruisseler à la surface ou s'infiltrer. La pluie qui s'infiltrer peut atteindre l'eau souterraine et être perdue comme écoulement souterrain. Ainsi une partie de la pluie sera perdue par ruissellement de surface et par percolation en dessous de la zone racinaire et ne sera disponible pour l'évaporation.

Le ruissellement dépendra de l'intensité et de la durée de pluie, de sa périodicité (en rapport aux pluies précédentes), des caractéristiques du sol (texture, structure), de la pente du terrain et du couvert végétal.

La percolation profonde dépend de la teneur initiale en humidité du sol, de la capacité de rétention de l'eau du sol (type du sol) et de la profondeur de la zone racinaire (type de la culture).

La pluie efficace peut être définie comme étant la fraction de la pluie qui est effectivement interceptée par la végétation ou stockée dans la zone racinaire et utilisée par le système plante-sol pour l'évaporation.

Celle-ci est une définition purement technique : en pratique, la pluie sera efficace lorsqu'une ou plusieurs apports d'irrigation peuvent être évités. Aussi la pluie reçue par un terrain en jachère sera seulement considérée comme efficace si elle est stockée dans le sol pour être utilisée par la prochaine culture.

Pour le fermier, une pluie qui ruisselle hors de son champ n'est pas efficace, bien qu'elle peut être efficace pour son voisin qui reçoit ce ruissellement ou pour des fermiers qui sont plus loin et qui peuvent réutiliser l'eau pour le projet d'irrigation en faisant une déviation à partir d'une rivière.

En outre, la diminution du rayonnement et de la température et au-delà de l'évapotranspiration doit être également considérée comme étant un effet utile de la pluie.

Ainsi, il est toujours important de considérer dans quelle situation et à partir de quel point de vue l'efficacité de la pluie est considérée. Pour des buts agricoles, la pluie peut être considérée comme efficace dans la mesure où elle satisfait les besoins en eau pour la préparation du sol, la consommation par la culture, les besoins de lessivage des sels et/ou les besoins de percolation (comme le riz ou les étangs des poissons).

Bien que le ruissellement et la percolation profonde peuvent être mesurés, il n'est pas pratique de le faire pour toutes les stations météorologiques ou périmètres irrigués étant donné que ces mesures sont compliquées, prennent du temps et coûtent cher.

Par conséquent, on utilise des formules empiriques, développées et testées sous certaines situations contrôlées. Comme les conditions sous lesquelles ces formules ont été développées peuvent différer d'une manière significative des conditions d'application, les résultats peuvent ne pas être toujours satisfaisants.

Beaucoup de formules empiriques ont été développées pour l'estimation de la pluie efficace. La plupart de ces formules tiennent compte de la pluie totale et de la consommation ou de l'évaporation (potentielle).

Une de ces formules, développée par Renfro se présente comme suit :

$$P_{eff.SC} = E * P_{tot.SC} + A$$

$P_{eff.SC}$  = pluie efficace sur la saison de croissance

$E$  = rapport utilisation de l'eau sur  $P_{tot.SC}$

$P_{tot.SC}$  = pluie totale sur la saison de croissance

$A$  = application moyenne de l'irrigation.

Le Soil conservation service of the US Département of Agriculture (USDA SCS) a développé une procédure pour l'estimation de la pluie efficace comme étant une fonction du rapport évapotranspiration/pluie en faisant le traitement des données pluviométrique et de l'humidité de sol recueilli sur une période de 50 années dans 22 stations expérimentales.

Le programme CROPWAT de la FAO utilise les relations empiriques suivantes :

- Pourcentage fixé de la pluie

La pluie efficace ( $P_{eff}$ ) est calculée comme étant un pourcentage fixé ( $a$ ) de la pluie totale ( $P_{tot}$ )

$$P_{eff} = a * P_{tot} \quad \text{Pour } a = 0,7 \text{ à } 0,9$$

Cette méthode est plutôt grossière et les résultats ne seront pas satisfaisants, étant donné que cette méthode n'est pas tenu compte de l'influence de la hauteur de la pluie.

- Formule empirique

La formule suivante suppose une relation linéaire entre  $P_{eff}$  et  $P_{tot}$  pour deux gammes de pluie (faible et forte).

$$P_{eff} = a * P_{tot} + b \quad \text{pour } P_{tot} < Z \text{ [mm]}$$

$$P_{eff} = c * P_{tot} + d \quad \text{pour } P_{tot} > Z \text{ [mm]}$$

Les valeurs de  $Z$  et des coefficients  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  peuvent être déterminées à partir des mesures ou une analyse des enregistrements climatiques locaux permettent une estimation de la pluie efficace. Les coefficients utilisés sont trouvés par corrélation et sont déterminés par des facteurs climatiques et pédologiques.

- Pluie faible

FAO a déterminé les coefficients de la formule linéaire empirique pour les différents climats aride et sub-humide, mais basés sur une analyse de la pluie faible (80% de probabilité de dépassement) et des estimations des pertes par ruissellement et par percolation

$$P_{eff} = 0,6 * P_{tot} + 10 \quad \text{pour } P_{tot} < 70 \text{ [mm]}.$$

$$P_{eff} = 0,8 * P_{tot} - 24 \quad \text{pour } P_{tot} > 70 \text{ [mm]}$$

- Méthode de USDA SCS

L'US Département of Agriculture's Soil conservation Service a développé les formules empiriques suivantes :

$$P_{eff} = P_{tot}(125 - 0,2P_{tot})/125 \quad \text{pour } P_{tot} < 250 \text{ [mm]} \quad \text{et}$$

$$P_{eff} = 125 - 0,1P_{tot} \quad \text{pour } P_{tot} > 250 \text{ [mm]}$$

<b>ARIVONIMAMO</b>	<b>PLUIE EFFICACE</b>						
<b>ANNEE</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	<b>JAN</b>	<b>FEVR</b>	<b>MARS</b>	<b>TOTAL</b>
95-96	10,8	102,4	160,5	170,4	139,4	161,9	745,4
96-97	20,3	43,5	152,9	156,2	163,3	86,7	622,9
97-98	48,5	113	144	158,2	157,9	153,3	774,9
98-99	44,3	47,7	159,1	157,1	76,3	118,6	603,1
99-2000	72	89,3	107	98,8	98,2	135,6	600,9
2000-2001	102,4	144,3	149,6	166,9	139,1	86,7	789
2001-2002	35,7	63,7	154,8	138,1	164,9	137,4	694,6
2002-2003	42,6	120	151	178,9	112,4	154,4	759,3
2003-2004	33	119,5	152	153,5	137,8	137,8	733,6
2004-2005	72	116,1	164,8	138,8	142,9	147,4	782
2005-2006	12,7	119	170,5	129,4	109,2	127,3	668,1
2006-2007	33,9	109,7	152,3	181,4	158,4	75,6	711,3
2007-2008	52,6	128,2	127,3	139,1	141,4	76,3	664,9
2008-2009	77,8	148,3	133,4	154	105,3	134,2	753
2009-2010	88	55	138,4	148,1	98,8	145,4	673,7

<b>MIARINARIVO</b>	<b>PLUIE EFFICACE</b>							
<b>ANNEE</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	<b>JAN</b>	<b>FEVR</b>	<b>MARS</b>	<b>TOTAL</b>	<b>REND</b>
95-96	15,6	129,8	160,4	171,6	121,9	159,2	758,5	2345
96-97	36,6	99,4	153,1	161,9	164,3	98,8	714,1	2335
97-98	40,9	123,3	148,1	166,5	158,4	155,7	792,9	2290
98-99	41,8	70,5	162	70,5	162	109,2	616	2870
99-2000	62,2	100,6	137,4	133,8	123,8	123,3	681,1	2580
2000-2001	95,7	154	155,4	164,4	143,7	118,1	831,3	2750
2001-2002	31,3	91,9	158,9	152	164,4	153,1	751,6	2775
2002-2003	55,8	127,3	151,7	182,9	118,6	161,3	797,6	2210
2003-2004	36,6	105,8	154	158,8	143,1	144,8	743,1	2100
2004-2005	62,9	125,1	175,9	151,7	143,1	149,2	807,9	1 548
2005-2006	21,2	119	175,1	133	120,5	126	694,8	1 562
2006-2007	33,9	126	154,8	183	161,1	54,2	713	1 576
2007-2008	46	127,3	133,4	138,4	151,2	88,7	685	1 591
2008-2009	87,4	144,3	141,7	155,6	98,2	136,7	763,9	1632
2009-2010	98,8	54,2	142	154	110,8	145,4	705,2	1556

<b>SOAVINANDRINA</b>	<b>PLUIE EFFICACE</b>						
<b>ANNEE</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>	<b>JAN</b>	<b>FEVR</b>	<b>MARS</b>	<b>TOTAL</b>
95-96	30,4	118,6	157,6	169,9	118,1	162,3	756,9
96-97	33	123,3	152,7	161,4	161	103,5	734,9
97-98	46,8	100,6	141,7	168,4	166,2	151,5	775,2
98-99	46,8	79,9	160,8	172,7	150,2	114	724,4
99-2000	51,8	102,4	142,9	134,5	126,9	134,2	692,7
2000-2001	81,3	161,7	159,2	167,9	152	138,4	860,5
2001-2002	24,9	112,4	163,8	149,4	166,6	155,9	773
2002-2003	70,5	118,6	143,7	184,1	147,4	164	828,3
2003-2004	33	86	153,6	162,4	141,7	157,5	734,2
2004-2005	77	119	175,4	157,7	116,1	126,9	772,1
2005-2006	15,6	104,1	168,8	144,8	140,4	131,8	705,5
2006-2007	17,5	102,4	154,3	187,8	160,4	56,6	679
2007-2008	43,5	128,2	142,3	145,9	153,5	92,6	706
2008-2009	93,8	136,4	145,6	159,1	109,7	137,1	781,7
2009-2010	75,6	55,8	136,4	155,7	129	150,4	702,9

## ANNEXE VI

### Teste de STUDENTE et Teste de FISHER.

#### Test de STUDENT :

La question de la signification d'un coefficient de corrélation  $r$  se pose de la façon suivante : quelle est la probabilité d'obtenir un échantillon de  $n$  membres où le coefficient de corrélation a la valeur  $r$ , à partir d'une population où le coefficient de corrélation est nul ? (on suppose l'échantillonnage fait au hasard). Si cette probabilité est petite, nous considérons que la corrélation est significative, puisqu'il y a peu de chances d'obtenir un tel échantillon à partir d'une population où la corrélation est nulle ; c'est-à-dire que l'échantillon provient très vraisemblablement d'une population où existe une corrélation.

Posons :

$$\frac{r}{\sqrt{1-r^2}}\sqrt{n-2}$$

$$V = n - 2$$

La loi de distribution du paramètre  $t$  est la loi de STUDENT à  $v = n - 2$  d.d.l (degré de liberté). Ainsi la probabilité cherchée est la probabilité  $P_{to} < 0,05$  (ce qui revient à dire qu'il y a moins de 5 chances sur 100 d'obtenir un échantillon de  $n$  membres ayant un coefficient de corrélation égal à  $r$  ç partir d'une population où le coefficient de corrélation est nul), l'échantillon est avec une probabilité supérieure à 0,95, extrait d'une population où existe une corrélation.

On peut appliquer directement ce teste d'après les valeurs de  $r$  et de  $v$  à l'aide d'une table appropriée.

#### Test de FISHER :

La question de la signification du coefficient de corrélation d'un petit échantillon peut aussi se poser ainsi : quelle est la probabilité d'extraire d'une population dont le coefficient de corrélation est  $r_1$  un échantillon de  $n$  membres dont le coefficient de corrélation est  $r$ ?

Posons :

$$z = \frac{1}{2} \text{Log} \frac{1+r}{1-r}$$

$$k = \frac{1}{2} \text{Log} \frac{1+r_1}{1-r_1}$$

Z est distribué, quelle que soit la valeur de  $r_1$ , suivant une loi de GAUSS de moyenne k et d'écart-type  $S_z \frac{1}{\sqrt{n-3}}$ .

Par conséquent, si l'échantillon provient d'une population où le coefficient de corrélation à la valeur  $r_1$ , il y a 95 chances sur 100 que  $|z - k| < 2S_z$ .

On en déduit donc :

$$P_r \left\{ \left| \text{Log} \frac{1+r}{1-r} - \text{Log} \frac{1+r_1}{1+r_1} \right| < \frac{4}{\sqrt{n-3}} \right\} = 0,95$$

Après démonstration, on a :

$$P_r \left\{ \frac{\frac{1+r}{1-r} e^{-\frac{4}{\sqrt{n-3}}} - 1}{\frac{1+r}{1-r} e^{-\frac{4}{\sqrt{n-3}}} + 1} < r_1 < \frac{\frac{1+r}{1-r} e^{\frac{4}{\sqrt{n-3}}} - 1}{\frac{1+r}{1-r} e^{\frac{4}{\sqrt{n-3}}} + 1} \right\} = 0,95$$

Etant donné un échantillon de n membres dont le coefficient de corrélation est r, il y a 95 chances sur 100 pour que le coefficient de corrélation de la population de la population soit comprise entre :

$$\frac{\frac{1+r}{1-r} e^{-\frac{4}{\sqrt{n-3}}} - 1}{\frac{1+r}{1-r} e^{-\frac{4}{\sqrt{n-3}}} + 1} \quad \text{et} \quad \frac{\frac{1+r}{1-r} e^{\frac{4}{\sqrt{n-3}}} - 1}{\frac{1+r}{1-r} e^{\frac{4}{\sqrt{n-3}}} + 1}$$

## ANNEXE VII :

### Limite d'acceptation du coefficient de corrélation linéaire $r$ lorsque $r_1 = 0$

Cette table donne, en fonction d'un paramètre  $\nu$  et du risque  $\alpha$  de 1<sup>ère</sup> espèce, la limite d'acceptation de l'hypothèse  $r_1 = 0$  (contre l'hypothèse  $r_1 \neq 0$ ) de la valeur absolue  $|r|$  du coefficient de corrélation linéaire calculé sur un échantillon de taille  $n$ .

- 1) Pour une population normale à 2 variable :  $\nu = 2$
- 2) Pour une population normale à  $k$  variable, cette table pourra s'appliquer aussi au coefficient de corrélation partielle d'ordre  $s$ , où  $s$  des  $(k - 2)$  autres variables sont fixées :

Dans ce cas on prendra :  $\nu = n - 2 - k$ .

	0,10	0,05	0,02	0,01
$\nu$				
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,5932	0,6411
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368

25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

## ANNEXE VIII

### Généralité sur la culture de la pomme de terre

#### *I. GENERALITE :*

##### **1.1- Choix du sol :**

- Eviter les sols trop pauvres, de mauvaise structure
- Eviter les sols qui drainent mal
- Eviter les terrains à forte pente (pente tolérable : <5%)
- Eviter les terrains à précédent cultural : famille de solanacées (tomate, tabac, ananamy...)

#### *II. TECHNIQUES CULTURALES*

##### **2.1- Préparation du sol :**

- Labourer le sol à 20 cm de profondeur
- Pulvérisage au moment favorable pour favoriser l'émiettement du sol.
- Nivellement pendant pulvérisage pour éviter toute stagnature d'eau durant le cycle.
- Pulvérisage + affinage assez profond (15 cm) pour faciliter la confection des billons.
- Construire des canaux de drainage ou de protection dans le cas des terrains à faible pente.

##### **2.2- Fertilisation et amendement :**

- Fumier :
  - sol volcanique : 5 - 10 T/ha
  - autres types de sol : 10 - 20 T/ha
- Dolomie :
  - sol volcanique : 0 kg/ha
  - autres types de sol : 500kg/ha si à la volée et 250kg/ha si localisée.
- NPK et urée :
  - Sol volcanique récent : 400 kg/ha NPK 11 22 16 + 75 kg/ha d'urée.
  - Sol volcanique ancien : 360 kg/ha NPK 11 22 16 + 90 kg/ha urée.
  - sol ferralitique : 300 kg/ha NPK 11 22 16 + 90 kg/ha urée.
- Localiser les engrais minéraux et organiques sur les lignes de plantation.

##### **2.3- Préparation des semences :**

- Choisir de grosses tubercules (30 à 50 g) en bon état sanitaire et provenant des organismes producteurs de semences
- Pas trop vieilles (réserves épuisées) ni trop jeunes (non prégermées).

- Prégermer les tubercules sur des clayettes disposées dans un local aéré, frais et lumineux pour obtenir des semences présentant des germes trapus, colores et courts (1,5 a 2 cm).
- Durée : environ 2 mois.
- Calibre : 28 et 55 mm.
- Dose : 2t -2,5 T/ha.

### *III. PLANTATION*

#### **3.1- Plantation :**

En billons pour faciliter le drainage et le développement des tubercules :

- distance entre les billons : 65 à 70 cm.
- distance entre les tubercules sur billons : 30 cm pour les tubercules 28 -55 mm, 35 - 40 cm pour les tubercules de 45 - 55 mm.
- Profondeur : environ 10 cm.
- Mélanger bien le NPK ou la dolomie avec le sol avant de mettre les tubercules et les germes dirigés vers le haut.
- Couvrir les tubercules: 5 à 7 cm de sol.
- Densité moyenne de plantation : 44 000 plants soit 2t/ha.

#### **3.2- Entretien :**

- Premier buttage : stade 15-20 cm de hauteur (2 semaine après la levée), avec apport d'urée.
- Deuxième buttage : stade de feuillage, 50% de la couverture du sol. organismes producteurs de semences.
- Pas trop vieilles (réserves épuisées) ni trop jeunes (non prégermées).
- Prégermer les tubercules sur des clayettes disposées dans un local aéré, frais et lumineux pour obtenir des semences présentant des germes trapus, colores et courts (1,5 a 2 cm).
- Durée : environ 2 mois.
- Calibre : 28 et 55 mm.
- Dose : 2t -2,5 T/ha.

### *IV. TRAITEMENTS CONTRE LES MALADIES ET ENNEMIS DES POMMES DE TERRE*

#### **4.1- Maladies :**

##### **Lutte :**

- Utiliser 2,5 kg/ ha de Dithane M45 pour 300l d'eau (contre le Mildiou). A appliquer 3 ou 4 fois tous les 10 jours quand la hauteur de la plante atteint 20 cm, selon les conditions climatiques et le développement de la maladie.

## 4.2- Ennemis :

### **Lutte :**

- Utiliser 500g/ha de Mortak (18 g/l). A appliquer 3 ou 4 fois.

## *V. RECOLTE ET RENDEMENT*

### 5.1- Récolte :

- Reconnaître la maturité indiquée par la partie aérienne (fanage complet des tiges et feuilles) et les tubercules (peau ferme).
- Arrachage par temps sec.
- Exposition des tubercules au soleil durant quelques heures.
- Eviter des indemnes de terre et des blessures, avant la mise en sac.

### 5.2- Rendement :

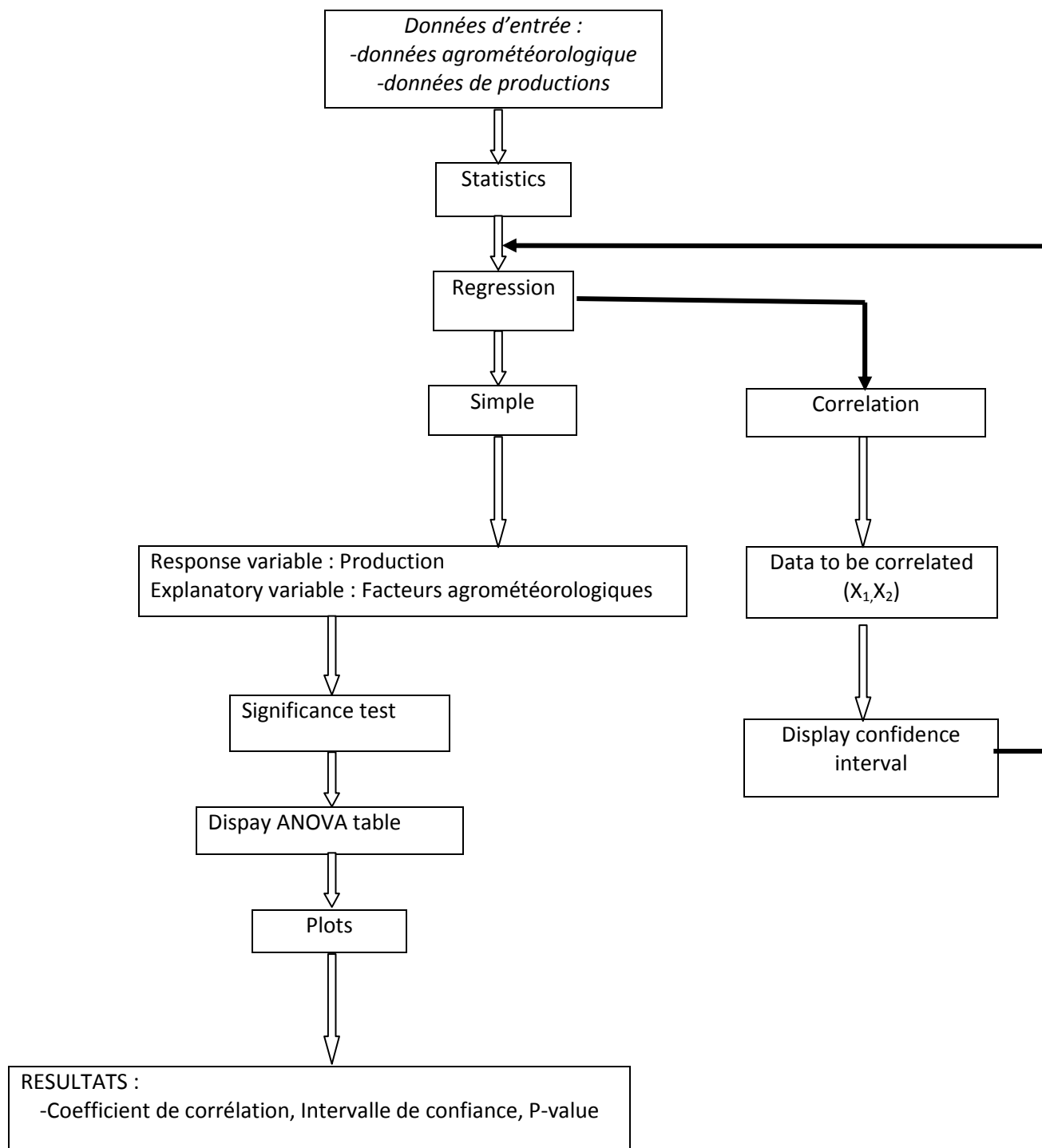
- Varie de 10 a 12 T/ha et peuvent atteindre 30 a 35 T/ha.

## *VI. CONSERVATION*

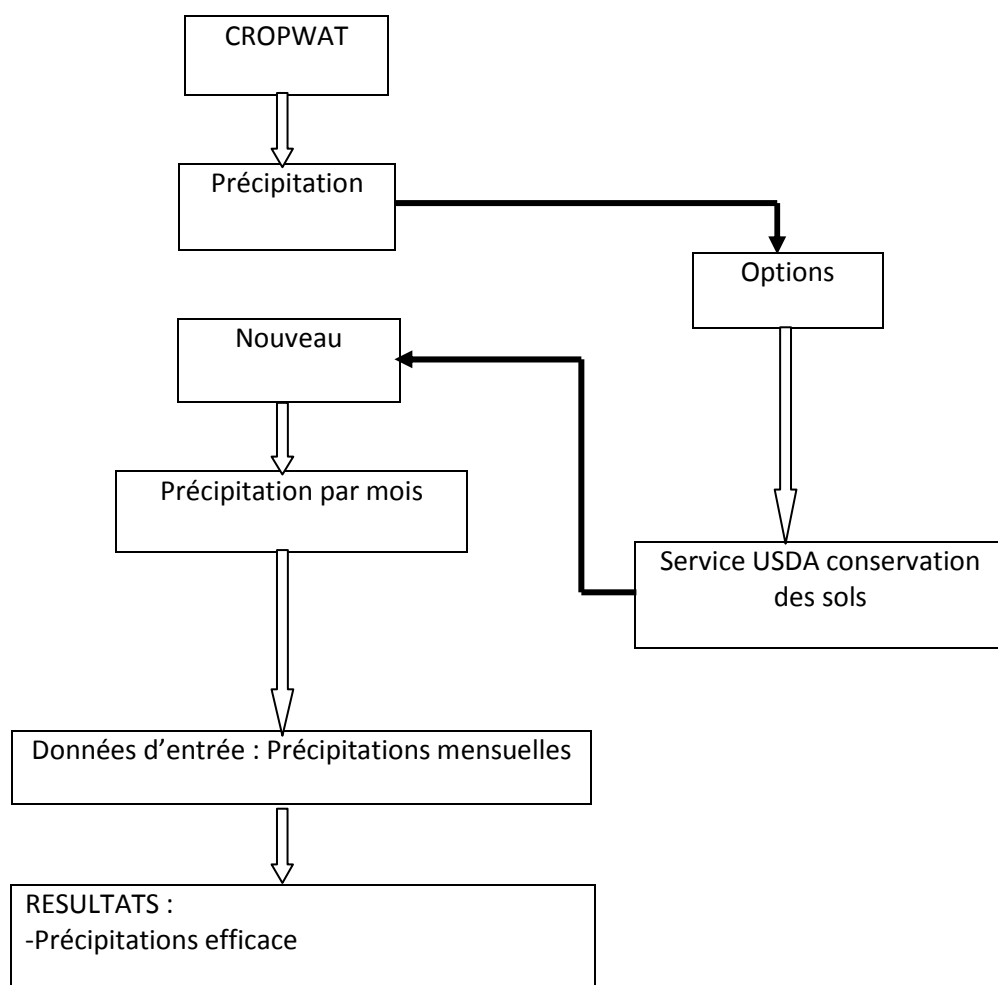
- Etaler en couche mince de 10 cm de hauteur dans un local spécial au moins 10 jours pour la cicatrisation et la fermeté de la peau.
- Local : un endroit sec, bien aéré et à l'abri de la lumière.
- Pour les conservations de longue durée, local ventilé naturellement développé par FIFAMANOR, ou chambres froides.

## ANNEXE IX

### Ordinogramme des logiciels utilisés

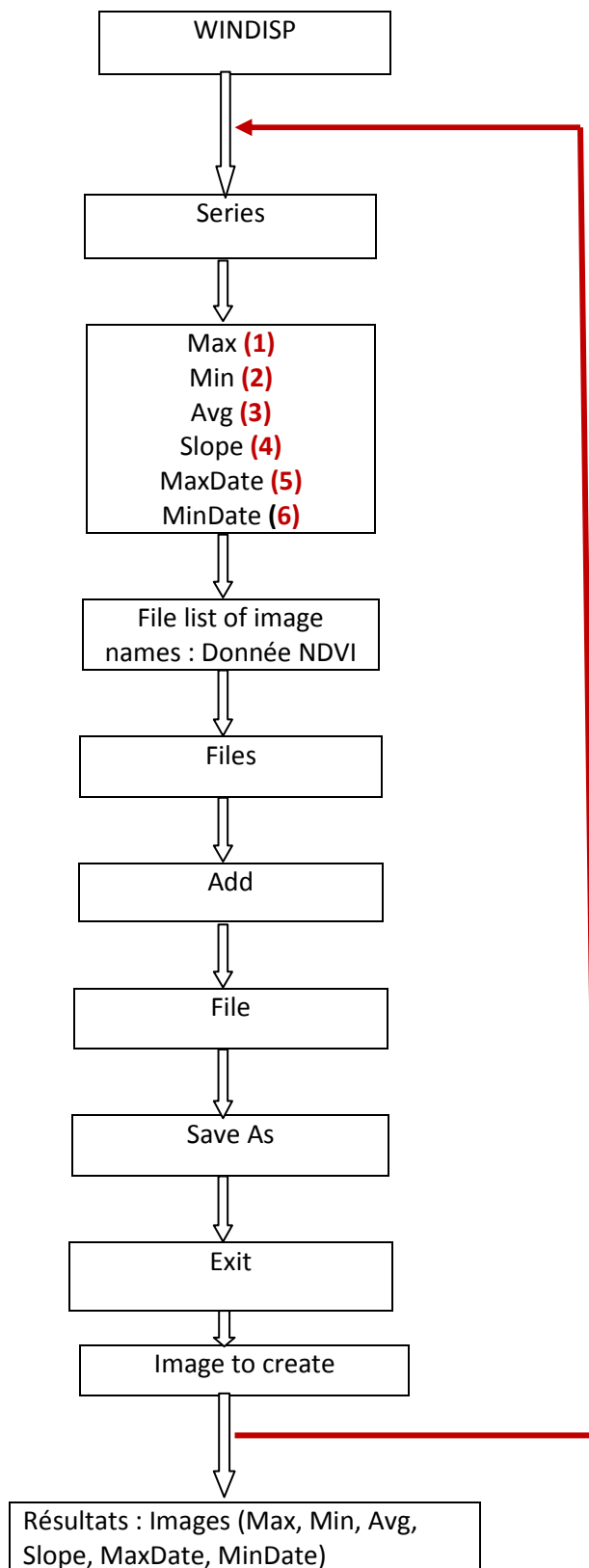


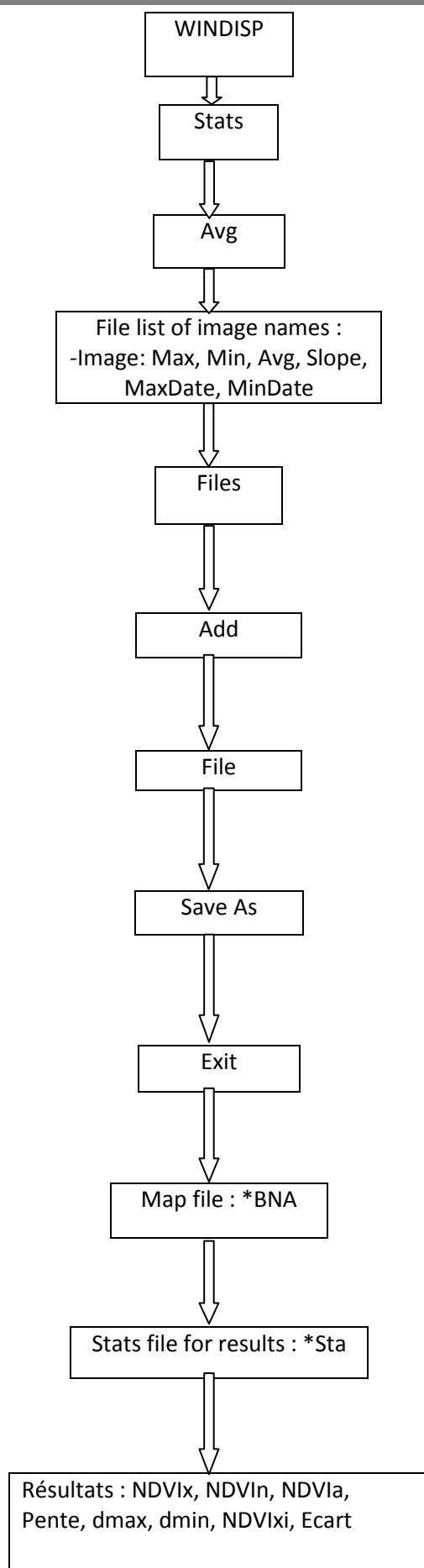
**INSTAT**



***CROPWAT 8.0***

# WINDISP





**Titre:** « Contribution à la modélisation de la prévision de production de pomme de terre dans la région d'Itasy »

**Auteur:** Naridnra Mariot RAKOTONOELISON

**Tél:** (+261) 33 13 940 46

**Nombre de page:** 78

**Nombre de figures:** 43

**Nombre de tableaux:** 26

### **RESUME**

A Madagascar, les 80% de la population sont paysannes et occupent une place importante dans l'économie. La pomme de terre est une des filières ayant une place dans l'Agriculture.

L'objectif de cette étude est de fournir une méthode de suivi et de trouver un modèle de prévision de la production de pomme de terre pour les trois districts de la région d'Itasy à partir des données observées au niveau de la production, et à partir des données météorologiques de la télédétection sortie de WINDISP (RFE, NDVI). Ces données sont traitées d'une série de logiciels : Microsoft Excel 2007, CROPWAT, WINDISP et INSTAT.

Cette étude nous permet de dire que des extrêmes pluviométriques sont défavorables à la production de la pomme de terre et montre que la relation trouvée entre la production et les variables explicatives fournit une bonne prévision de production du pomme de terre pour les trois districts de la région d'Itasy, avec un coefficient de corrélation significatif et d'écart de prédiction faible. Arivonimamo représente le meilleur modèle et se caractérise par un coefficient de corrélation  $r = 0,683$  et Ecart = 0,00042 %.

### **ABSTRACT**

In Madagascar, the 80% of the population are rural and occupy a significant place in the economy. The potato is one of the crops having a place in Agriculture.

The objective of this study is to provide a method of follow-up and to find a forecasting model of the production of potato for the three districts of the area of Itasy, starting from the data observed on the level of the production and starting from the weather data of the teledetection left WINDISP (RFE, NDVI). These data are treated one the series of software: Microsoft Excel 2007, CROPWAT, WINDISP and INSTAT.

This study enables us to say that pluviometric extremes are unfavorable with the production of potato and shows that the relation found between the production and the explanatory variables provides a good forecast of production of potato for the three districts of the area of Itasy, with a significance coefficient of correlation and a small variation of prediction. Arivonimamo represents the best model and is characterized by a coefficient of correlation  $r = 0,683$  and difference = 0,0004.