

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 54

2001

Suivi agropédologique et bioclimatiques des
mandariniers de la station de Ouénarou,
sur sols ferrallitiques ferritiques du Sud
de la Nouvelle-Calédonie

2- Interprétation et discussion des résultats

Marcel SICOT

Convention Province Sud/IRD
N° 406-PVF/DDR
Notifiée le 26 décembre 2000

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 54

2001

Suivi agropédologique et bioclimatiques des
mandariniers de la station de Ouénarou,
sur sols ferrallitiques ferritiques du Sud
de la Nouvelle-Calédonie

2- Interprétation et discussions des résultats

* Marcel SICOT

Avec la collaboration de :

* Édouard OUCKEWEN

* Léon TAPUTUARAT

* William NIGOT *et*

** Patrick LAUBREAU *X*

** Alain HAURY

** Raymond BARRETEAU

* IRD, Nouméa

** CREA

Convention Province Sud/IRD
N° 406-PVF/DDR
Notifiée le 26 décembre 2000



Institut de recherche
pour le développement

© IRD, Nouméa, 2000

/Sicot, M.
/Ouckewen, E.
/Taputuarai, L.
/Nigo, W.
Laubreau, P.
Haury, A.
Barreteau, R.

Suivi agropédologique et bioclimatiques des mandariniers de la station de Ouénarou, sur sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. 2- Interprétation et discussions des résultats

Nouméa : IRD. Juin 2001. 29 p.

Conventions : Sci. Vie ; Agropédol. ; 54

AGRONOMIE ; AGRUME ; BIOCLIMATOLOGIE ; BILAN HYDRIQUE ; BILAN MINERAL ;
EVAPOTRANSPIRATION REELLE ; EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ; EAU DU SOL ;
RUISSELLEMENT ; DRAINAGE ; SOL FERRALLITIQUE FERRITIQUE ; MANDARINIER /
NOUVELLE-CALEDONIE

**Suivi agropédologique et bioclimatique des mandariniers de la station de
Ouénaou, sur sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle Calédonie.**

2 – Interprétations et discussions

Sommaire

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	1
LISTE DES TABLEAUX.....	1
LISTE DES FIGURES.....	1
AVERTISSEMENT ET REMERCIEMENTS.....	2
1 – INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS OBTENUS EN 2000 ET DÉBUT 2001.....	4
1.1 - LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES.....	4
1.2 – LA PHÉNOLOGIE ET L'ÉTAT SANITAIRE DES MANDARINIERS AVANT ET APRÈS LA TAILLE	4
1.2.1 - Phénologie des mandariniers avant et après la taille.....	4
1.3 - LA BIOMASSE AÉRIENNE DES MANDARINIERS	5
1.3.1 - Le biovolume des arbres avant la taille	5
1.3.1.1- Biovolume du tronc avant la taille	5
1.3.1.2- Biovolume du feuillage avant la taille	5
1.3.2 - La biomasse des mandariniers avant la taille	7
1.3.2.1- Biométrie des échantillons de branches au moment de la taille.....	7
1.3.2.2 - Biomasse du tronc des mandariniers.....	7
1.3.2.3 - Biomasse du feuillage des mandariniers.....	8
1.3.3 - Corrélations de croissance et de développement entre organes.....	9
1.3.3.1- les allométries à la taille.....	9
1.3.3.2 – Estimation du rendement potentiel en biomasse aérienne après la taille.....	10
1.4 - LES ÉLÉMENTS DU BILAN HYDRIQUES	11
1.4.1 -La pluviométrie et l'irrigation.....	11
1.4.1.1- La pluviométrie.....	11
1.4.1.2- L'irrigation.....	11
1.4.2 - Le ruissellement	11
1.4.4 - Le drainage.....	13
1.4.5 – L'évapotranspiration	15
1.5 - LES ÉLÉMENTS DU BILAN MINÉRAL	17
1.5.1- Composition chimique de la solution du sol.....	18
2 – DISCUSSION	22
2.1 – LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	22
2.2 – LA PHÉNOLOGIE DES MANDARINIERS	24
2.3 – LA BIOMASSE DES MANDARINIERS	26
2.4 – LES ÉLÉMENTS DU BILAN HYDRIQUE	27
2.5 – LES ÉLÉMENTS DU BILAN MINÉRAL	28
CONCLUSION.....	29

Liste des tableaux et figures

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Variation des dimensions et du volume du tronc des mandariniers à la taille
- Tableau 2 : Distribution des formes représentatives des mandariniers à la taille
- Tableau 3 : Paramètres moyens du feuillage des mandariniers
- Tableau 4 : Données d'estimation avant la taille du biovolume aérien des mandariniers suivant la forme et le mode de calcul
- Tableau 5 : Données biométriques des échantillons de branches
- Tableau 6 : Biomasse du tronc des mandariniers
- Tableau 7 : Paramètres moyens du feuillage des mandariniers
- Tableau 8 : Tableau synoptique de la biomasse aérienne des mandariniers avant la taille
- Tableau 9 : Allométries relatives aux branches sélectionnées pour l'estimation de la biomasse aérienne.
- Tableau 10 : Allométries relatives à la biomasse aérienne (tronc /frondaison)
- Tableau 11 : Estimation de la production potentielle de matière sèche en biomasse aérienne au 29/05/01
- Tableau 12 : Détention hydrique des flaques d'eau d'interligne en bas de parcelle
- Tableau 13 : Exemples de variations spatio-temporelles du drainage dans les six sites de mesures
- Tableau 14 : La dispersion des eaux collectées sous lysimètres au 9/01/01.
- Tableau 15 : Evolution de l'évapotranspiration moyenne du sol du 24/01/01 au 2/05/01
- Tableau 16 : Données moyennes de pH et concentrations en anions de la solution du sol
- Tableau 17 : Données moyennes de concentrations en cations majeurs de la solution du sol
- Tableau 18 : Données moyennes de concentrations en cations mineurs de la solution du sol
- Tableau 19 : Données moyennes du fractionnement du chrome désorbé

Liste des figures

- Figure 1: Distribution spatiale du poids frais de la biomasse aérienne dans la parcelle
- Figure 2: Profil racinaire d'après le comptage du nombre de racines

Avertissement et remerciements

Le cadre expérimental, les méthodes d'observation et de mesure ainsi que les données collectées en 2001 et début 2002 dans le contexte de la convention n° 406-PVF/DDR, ont été décrits et exposés dans le rapport n° 1 intitulé « Méthodologie et résultats ».

Dans ce présent rapport n° 2 intitulé « Interprétations et discussions », l'interprétation des principaux faits et résultats y fait suite. On examinera successivement et dans le contexte de leurs variations spatio-temporelles, les faits et données afférents au dispositif expérimental, aux paramètres météorologiques, à la phénologie des mandariniers après la taille, à la biomasse aérienne, ainsi qu'aux éléments du bilan hydrique et minéral.

Les discussions seront axées sur les mêmes points. Des données indispensables à la connaissance des faits et processus, étant actuellement indisponibles ou fragmentaires ces discussions ne seront qu'amorcées.

Ces premiers rapports résument l'état de travaux menés par le laboratoire d'Agropédologie du Centre IRD de Nouméa (M. Sicot, Carine Graff, E. Ouckewen, L. Taputuari et W. Nigote).

Ces travaux sont rendus possibles sur le terrain, grâce à la collaboration du CREA : de ses Directeurs MM P. Laubreau et A. Haury et techniciens R. Barreteau... en charge de la conduite de l'expérimentation.

Nous n'oublions pas notre étroite collaboration avec Météo-France qui, par l'intermédiaire de L. Maîtreperrière, S. Lacroix et F. Lavaud, pallie l'absence de la station météorologique commandée en nous fournissant les données météorologiques.

Ces travaux ont aussi bénéficié de collaborations et d'appuis extérieurs au territoire. Il s'agit du Centre de Pédologie Biologique du CNRS à Vandœuvre-les-Nancy France, avec T. Becquer et J.-M. Portal, du laboratoire d'étude des transferts en Hydrologie et Environnement du CNRS à Grenoble France, avec J.P. Laurent et du laboratoire de géologie de l'Ecole Normale Supérieure de Paris France, avec J.-P. Pozzi.

Les analyses chimiques courantes ont été exécutées par le laboratoire commun d'analyse chimique de l'IRD dirigé par J.L. Duprey et son adjointe P. Moulin. D'autres analyses ont été traitées par J. Moulin.

Ces rapports ont été multigraphiés par le Service de reprographie de l'IRD (J.P Mermoud et N. Galaud)

Que toutes ces personnes œuvrant séparément pour la recherche, la mise en valeur et la conservation du patrimoine écologique, la Direction du Développement Rural, promoteur de ces Travaux, les responsables du parc de la Rivière bleue, les forestiers et la Direction de l'IRD, soient ici remerciés pour l'aide spontanée et efficace qui nous a été accordée.

**Suivi agropédologique et bioclimatique des mandariniers de
la station de Ouénarou, sur sols ferrallitiques ferritiques du
Sud de la Nouvelle Calédonie**

2 – Interprétations et discussions

1 – Interprétation des résultats obtenus en 2000 et début 2001

1.1 - Les données météorologiques

Il y a peu à dire sur les relevés de la station météorologique qui sont pour le moment, peu nombreux et fragmentaires pour cause de pannes d'appareillages ou de récupération.

Les données pluviométriques complétées par celles du poste forestier à l'entrée du Parc de la Rivière bleue, ont néanmoins été comparées aux relevés du pluviomètre totalisateur de la parcelle. Les données conjointes des deux chroniques sont regroupées au tableau 7 et illustrées à la figure 3 (rap. 1). Elles présentent des disparités hebdomadaires dues d'abord aux divergences des moments de prélèvement. Mais l'écart final de 196 mm sur les totaux au 9/05/01, est provoqué par les estimations. Compte tenu des durées relativement courtes des incidents au parc météo, cet écart est suffisamment important pour indiquer l'existence de microclimats. Sur la distance de 3,200km séparant les deux stations, ces microclimats différencient des valeurs inférieures de la pluviométrie au site de la parcelle.

L'impossibilité d'estimer ou de comparer les autres paramètres climatiques souligne l'indigence des données disponibles et le besoin d'une station synoptique accessible dans la région.

1.2 – La Phénologie et l'état sanitaire des mandariniers avant et après la taille

1.2.1 - Phénologie des mandariniers avant et après la taille

L'exposé des résultats phénologiques a tourné court, quant à l'évolution et à la diversification des phases phénologiques des mandariniers. Au moment de la taille, ceux-ci étaient en phases imbriquées de floraison et fructification (cf. photos 17 et 19). La floraison s'étalait des boutons floraux (nouaison) aux fleurs pollinisées desséchées et la fructification était au stade de chute d'une partie des fruits néo-formés pour la régulation du nombre de fruits, régulation nécessaire à l'équilibre physiologique de la plante. Après destruction des appareils végétatifs et reproducteurs par la taille, la plante a régressé, retournant à une phase juvénile pour la reconstruction exclusive de l'appareil végétatif. Près d'un an après la taille, la formation de rameaux fructifères à partir de rameaux végétatifs n'a pas débuté. La reconstruction de l'appareil qui se poursuit, a donné lieu à une phase explosive de développement se traduisant encore par des cycles successifs de ramifications et d'élongations de rameaux et de gourmands végétatifs.

1.2.2 – L'état sanitaire des mandariniers avant et après la taille

Les mandariniers et la production de mandarines ont paru être en bon état sanitaire lors des examens effectués avant la taille. Le choc physiologique provoqué par celle-ci a été bien encaissé car très rapidement, l'activité a repris avec les ramifications et formations de gourmands.

En revanche, on a pu noter une grande sensibilité de la plante après la taille, à diverses maladies fongiques et attaques parasitaires : fourmis, pucerons, cochenilles, ... Les feuilles et jeunes pousses en ont souvent pâti avant éradication par des traitements phytosanitaires (cf. annexe 2). Un premier dispositif de suivi de la croissance a été complètement détruit à cette occasion. La recrudescence périodique de ces attaques oblige à une surveillance continue et à des interventions rapides pour limiter les dégâts.

1.3 - La biomasse aérienne des mandariniers

1.3.1 - Le biovolume des arbres avant la taille

Chaque arbre présente au regard, son feuillage et la partie visible du tronc à la base du feuillage.

1.3.1.1- Biovolume du tronc avant la taille

En absence de tailles de formation et d'entretien, le tronc est demeuré tronconique. Les statistiques élémentaires des paramètres dimensionnelles avant la taille, calculées à partir des données du tableau 1 du premier rapport, sont reportées au tableau 1 ci-après. On note que si la forme est homogène, les dimensions et le volume du tronc le sont moins. Les 11% de valeur du coefficient de variation (CV) de la circonférence terrière sont acceptables. Mais la variabilité augmentée par la greffe au niveau de la circonférence en haut du tronc (CV \cong 17 et 25 %) est encore plus élevée pour le volume, paramètre plus intégrateur.

Tableau 1: Variation des dimensions et du volume du tronc des mandariniers à la taille

Statistique	Hauteur	Péri. bas	Péri.haut	Volume
	cm	cm	cm	dm ³
Moyenne	34,9	48,4	36,2	5,0
Ecart-type	8,8	5,3	6,3	1,6
Lim. inf.	17,3	37,8	23,6	1,8
Lim. sup.	52,6	59,0	48,7	8,3
Mini	20,0	37,0	24,5	2,6
Maxi	65,5	61,0	51,0	10,6
CV %	25,2	11,0	17,4	32,0

Légende : Haut : hauteur du tronc, Péri. : périmètre ou circonférence (cm) ; bas : à la base du tronc ; haut : au sommet du tronc sous les premières branches, volume : volume du tronc sous le feuillage (dm³), Mini, Maxi : valeurs minimales et maximales rencontrées
Limite inf, : moyenne - t x écart-type ; Limite sup, : moyenne + t x écart-type

1.3.1.2- Biovolume du feuillage avant la taille

Contrairement au tronc, le feuillage s'est fortement diversifié en différentes formes géométriques : cylindre, sphère, cône tronqué, ellipsoïde... (Cf. tableau 2) à partir de paramètres de forme : hauteur, diamètre sur ligne et inter-ligne, relativement stables (Cf. tableau 3)

Tableau 2 : Distribution des formes représentatives des mandariniers à la taille

Forme	Cylindre	sphère	Cône tronqué	Ellipsoïde
Nombre obs.	35	13	6	10
Fréquence (%)	54,7	20,3	9,4	15,6

Tableau 3 : Paramètres moyens du feuillage des mandariniers

Statistique	Hauteur	Diam.Lig.	Diam.Int.
Moyenne	292,7	337,5	307,6
Ecart-type	32,6	38,9	29,5
Lim. Inf.	227,4	259,8	248,7
Lim. Sup.	357,9	415,2	366,5
CV %	11,1	11,5	19,1

Légende : Cf. ci-dessus. Diam. Lig. : diamètre sur la ligne, Diam. Int. : diamètre inter-ligne.

Tableau 4 : Données d'estimation du biovolume aérien des mandariniers avant la taille, suivant la forme et le mode de calcul

Statist.	V1	V'1	V2	V3	V4	Moy..	ET	CV %
Moyen.	25,0	16,5	32,4	42,8	29,7	29,3	9,9	33,8
ET	4,7	3,3	1,9	3,0	4,5	2,2	1,8	10,1
Lim. inf.	15,6	9,9	28,5	36,8	20,8	25,0	6,3	25,2
Lim. sup	34,5	23,1	36,2	48,8	38,7	33,6	13,4	39,9
CV %	18,8	20,0	5,9	7,0	15,2	7,5	18,2	

Légende : V1 : Modèle sphérique (rayon=moyenne diam. Lig et diam. Int), V'1 : idem (rayon=hauteur feuillage), V2 : Mod. Cylindrique, V3 : mod. Ellipsoïdal, V4 : mod. Tronconique, Moy. : moyenne des modèles. ET : écart-type des mesures, Limite inf. : moyenne - t x écart-type ; Limite sup. : moyenne + t x écart-type.

Sur cette base les paramètres du feuillage ont été mesurés et le volume calculé. Au tableau 4 sont résumées les données moyennes d'estimation du volume du feuillage en fonction des dimensions du végétal, du modèle de forme et de calcul. Compte tenu de l'hétérogénéité du matériel, l'estimation du volume du feuillage peut être relativement précise suivant le modèle de forme sélectionné (CV =5,9 et 7% en modèles cylindriques et ellipsoïdaux). Mais les biais d'estimation résultant d'un mauvais choix du modèle de calcul du volume, peut conduire à des erreurs d'estimation élevées (CV =33,8 % et erreur relative = coefficient de Student x écart-type/ moyenne = t x ET/ moyenne = 93 % en moyenne). Ces erreurs sont

inadmissibles, compte tenu de la précision potentielle des calculs. D'où l'importance de la détermination de la forme du feuillage sur le terrain, pour une définition précise du et des calculs.

1.3.2 - La biomasse des mandariniers avant la taille

On rappelle que la biomasse aérienne des arbres a été estimée à partir de données biométriques collectées sur l'échantillon d'une branche sélectionnée (branche entière ou portion de la tige principale) par arbre étudié

1.3.2.1- Biométrie des échantillons de branches au moment de la taille

Tableau 5 : Données biométriques des échantillons de branches

Statist.	Long.	Périm.	Volume	PF	PS	PSF	PST	MS	F/F+T
	cm	cm	dm ³	kg	kg	kg	kg	%	%
Moyenne	266,3	16,0	1,9	10,1	4,7	1,2	3,4	46,1	37,7
ET	38,5	3,8	1,1	6,0	2,8	0,7	2,2	4,0	7,6
Lim. inf.	189,3	8,4	-0,2	-1,8	-1,0	-0,2	-0,9	38,1	22,6
Lim. sup.	343,3	23,7	4,1	22,1	10,3	2,6	7,8	54,2	52,9
Mini	203,0	9,5	0,6	2,8	1,4	0,4	1,0	38,4	19,2
Maxi	373,0	29,0	6,4	32,4	15,8	4,0	11,8	56,1	63,2
CV %	14,5	23,8	57,9	59,4	59,6	58,3	64,7	8,7	20,2

Légende : Long. : longueur de la branche; Périm. : circonférence au point d'attache; PF : poids frais de la branche; PS : poids sec... ; PSF. : poids sec des feuilles de la branche ; PST : poids sec des rameaux de la branche; MS : taux global de matière sèche des feuilles et des rameaux : F/F+T : rapport feuilles sur poids sec total.

Le tableau 5 donne les statistiques élémentaires des données du tableau 3, du rapport 1, concernant la branche sélectionnée. Il permet de noter l'importante hétérogénéité des paramètres et l'augmentation de la variabilité des mesures avec le nombre de dimensions du paramètre considéré : une dimension CV \cong 15 %, deux CV \cong 25 % et trois CV \cong 60-65 %. La variabilité des CV des rapports adimensionnels est à soulignée : MS CV < 10 %, rapport matière sèche des feuilles / poids sec total \cong 20 %.

1.3.2.2 - Biomasse du tronc des mandariniers

Tableau 6 : Biomasse du tronc des mandariniers

N° Site	Haut.	Péri bas	Péri haut	Vol tronc	Dens moy	Biom.
	cm	cm	cm	Dm ³		kg
Moyenne	34,8	48,3	36,2	5,0	0,81	4,0
E T	8,9	5,1	6,3	1,6	0,06	1,3
CV %	25,6	10,5	17,4	31,7	7,0	31,5

Légende ; Haut : hauteur du tronc, Péri., périmètre ou circonférence (cm) ; bas : à la base du tronc ; haut : au sommet du tronc au-dessus de la greffe, volume : volume du tronc sous le feuillage (dm³), Densité : densité en matière sèche du tronc, Biom. : biomasse en matière sèche du tronc (kg).

1.3.2.3 - Biomasse du feuillage des mandariniers

Tableau 7 : Paramètres moyens du feuillage des mandariniers

Stat.	Vol F	Nb bcht	Nb bchp	BAMF	BAMS	Dn. MF	Dn.MS	PSF/PSFT
	m ³			kg	kg	kg/m ³	kg/m ³	%
Moy	23,6	9,3	3,8	75,6	35,1	3,3	1,5	37,7
ET	6,7	2,4	0,8	22,5	11,8	0,7	0,3	7,6
Lim. inf.	10,2	4,5	2,3	30,6	11,5	1,9	0,8	22,6
Lim. sp.	37,0	14,2	5,4	120,6	58,7	4,7	2,2	52,9
Mini	8,3	6,0	3,0	28,2	13,3	1,7	0,8	19,2
Maxi	47,5	18,0	6,0	129,8	64,2	4,7	2,3	63,2
CV %	28,4	26,1	20,4	29,8	33,6	21,2	20,0	20,2

Légende : Vol F : volume du feuillage, Nb bcht et Nb bchp : Nombres de branches totales avant la taille et restées en place après, ADN. MF ou MF : densité en matière fraîche ou sèche du feuillage ; PSF/PSFT : rapport poids sec feuilles sur poids sec tiges

Les mêmes remarques faites à l'égard de la biométrie des échantillons de branche sont applicables à celles du tronc et du feuillage : augmentation de l'hétérogénéité du matériel avec le nombre de dimensions du paramètre considéré et variabilité du CV des rapports adimensionnels. Mais les valeurs sont plus faibles et le CV n'avoisine que 30 % pour les paramètres à trois dimensions.

Tableau 8 : Tableau synoptique de la biomasse aérienne des mandariniers avant la taille

Matière sèche par niveau		Arbre	Parcelle	Hectare	Précision
Feuillage	Feuilles	13,2 lg	0,85 t	3,16 t	
	Tiges	21,9 kg	1,40 t	5,21 t	
	Total	35,1 kg	2,25 t	8,37 t	8,4 %
Tronc		4,0 kg	0,26 t	0,95 t	8,1 %
Total		39,1 kg	2,51 t	9,32 t	8,4 %

Le tableau 8 résume les données d'estimation et de fractionnement de la biomasse aérienne sur pied des mandariniers au moment de la taille : 9,3 t/ha de matière sèche en biomasse totale fractionnée en 3,16 t/ha de feuilles, 5,21 t/ha de tiges et 0,95 t/ha de tronc. La précision sur ces évaluations moyennes (\bar{X}) est calculée par l'indice de précision P qui se formule en %

$$\text{par : } P = 100 \times \frac{t_{xET}}{Xx\sqrt{n}}$$

avec : n = nombre de mesures et t : variable de Student à $ddl = n-1$ de grés de liberté.

Les valeurs obtenues, voisines de 8 %, sont très bonnes compte tenu de la dispersion des données (CV>30 %). Cela tient au nombre de mesures effectuées ($n = 64$) qui influence t et \sqrt{n} .

1.3.3 - Corrélations de croissance et de développement entre organes

1.3.3.1- les allométries à la taille

De nombreux rapports exprimant des relations entre paramètres morphologiques de divers organes (rapports allométriques) témoignent de l'organisation de la croissance et du développement biologique des mandariniers. Ils sont regroupés au tableau 9 pour tout ce qui a trait aux branches sélectionnées et au tableau 10 pour la partie aérienne de la plante entière. Le nombre de couple est $n = 63$.

Tableau 9 : Allométries relatives aux branches sélectionnées pour l'estimation de la biomasse aérienne.

Param. ind.	Param. dép.	a	b	R ²	Sign. Stat.
Longueur de la branche	Péri. base	1,997	234,0	0,04	NS
	Vol. br prc.	16,23	234,9	0,21	NS
	PF. total	1,624	250,1	0,06	NS
	PSF	0,003	0,496	0,02	NS
	PST	0,012	0,047	0,04	NS
	PS total	0,015	0,543	0,03	NS
Circonférence basale de la branche	PF. total	1,394	-12,21	0,83	HS
	PSF	0,157	-1,26	0,79	HS
	PST	0,51	-4,73	0,85	HS
	PS total	0,665	-6,0	0,84	HS
Volume de la tige de la branche	PF. total	0,492	0,717	0,82	HS
	PSF	0,060	0,138	0,79	HS
	PST	0,510	4,73	0,85	HS
	PS total	0,239	0,085	0,86	HS

Légende : PF et PS : poids frais et poids sec, F et T : feuilles et tiges, vol br prc. : volume du brin maître Param. ind. et dép. : paramètre indépendant et dépendant (Cf. unité ci-dessus), a et b : pente et ordonnée à l'origine de la droite de régression : $Y(param.ind.) = ax(param.dép.) + b$, NS et HS : non significatif 5 % et hautement significatif à 1%.

Tableau 10 : Allométries relatives à la biomasse aérienne (tronc /frondaison)

Param. Ind.	Param. dép.	a	b	R ²	Sign. Stat.
Hauteur du tronc	BV	-0,212	39,8	0,02	NS
	PF BM	-0,127	44,4	0,10	NS
	PS BM	-,263	44,1	0,12	NS
	PSF/PSFT	0,276	24,5	0,15	NS
Circonférence basale du tronc	BV	0,860	-18,0	0,44	HS
	PF BM	3,786	-107,3	0,73	HS
	PS BM	1,969	-60,0	0,72	HS

	PSF/PSFT	-0,70	71,5	0,22	NS
Circonférence sous greffe du tronc	BV	0,592	2,15	0,32	HS
	PF BM	3,091	-36,3	0,74	HS
	PS BM	1,60	-22,8	0,73	HS
	PSF/PSFT	-0,790	66,2	0,43	HS
Diamètre sur ligne feuillage	BV	0,158	-25,1	0,47	HS
	PF BM	0,531	-87,6	0,45	HS
	PS BM	0,276	-49,8	0,44	HS
	PSF/PSFT	-313,4	392,6	0,18	NS
Diamètre inter-ligne feuillage	BV	0,103	-11,1	0,35	HS
	PF BM	0,498	-92,5	0,70	HS
	PS BM	0,252	-50,0	0,65	HS
	PSF/PSFT	0,097	-0,44	0,23	NS
Moyenne diamètres lignes et inter-lignes	BV	0,152	-25,4	0,48	HS
	PF BM	0,631	-127,8	0,71	HS
	PS BM	0,322	-68,9	0,68	HS
	PSF/PSFT	-0,131	80,1	0,27	NS
Param. Ind.	Param. dép.	a	b	R ²	Sign. Stat.
PS BM	PF BM	0,468	-0,063	0,98	HS
PS feuilles	PS tiges	0,304	0,190	0,89	HS
	PS total	0,239	0,117	0,94	HS

Légende : BV et BM : biovolume et biomasse aériens, PF : poids frais, PS : poids sec, PSF : poids sec des feuilles de la biomasse aérienne, F : feuilles, T : tiges. (Cf. unité ci-dessus).

L'examen des données de ces tableaux montre qu'il n'y a aucune relation significative entre les longueurs (données d'une dimension) et les données de dimensions supérieures (volume, poids frais et poids sec), ce qui se traduit par une relative indépendance de la production de biovolume et de biomasse à l'égard de la croissance en longueur. Les relations sont en revanche très hautement significatives (probabilités supérieures à 99%) entre la croissance en épaisseur et ces mêmes productions. Quant aux relations entre paramètres de mêmes dimensions (poids frais/poids sec, rapports feuilles/tiges...) elles sont quasiment rigides.

1.3.3.2 – Estimation du rendement potentiel en biomasse aérienne après la taille

Ces corrélations empiriques permettent à partir de mesures biométriques non destructives, d'estimer la croissance et le développement de la plante en valeurs absolues ou relatives et plus particulièrement, la production de biovolume et de biomasse. On a :

$Q(\text{par.calculé}) = a.X(\text{par.mesuré}) + b$ en valeur absolue

$\Delta Q(\text{par.calculé}) = a.\Delta X(\text{par.mesuré})$ en accroissement

ce qui permet d'estimer la production après la taille.

A titre d'exemple, les calculs effectués pour l'estimation de la production de matière sèche du feuillage des mandariniers de la taille au 29/05/01, sont développés au tableau 11. On utilise la circonférence basale du tronc, un des paramètres biométriques les plus stables (CV = 10,5 %). L'accroissement de biomasse du tronc est aussi estimé, ainsi que le fractionnement de la biomasse aérienne totale.

Tableau 11 : Estimation de la production potentielle de matière sèche en biomasse aérienne au 29/05/01

Fractionnement	N°	PB1(cm)	PB2 (cm)	ΔQ (kg)	Parc. (t)	(t/ha)
Feuillage	Moyenne	48,3	54,9	13,0	0,83	3,10
	ET	5,1	5,4	4,3		
	CV %	10,5	9,9	33,2		
	Mini	37,0	43,0	11,8	0,76	2,83
	Maxi	59,5	72,2	25,0	1,60	5,95
	Linf	38,2	44,0	11,4	0,73	2,72
	Lsup	58,5	65,7	14,2	0,91	3,39
Tronc	Donnée moyenne			1,00	0,06	0,24
Total	Donnée moyenne			14,0	0,90	3,34

Légende : PB1 et PB2 : circonférence basale du tronc avant et après la taille ; accroissement potentiel de biomasse (ΔQ) : en kg par arbre, en t sur la parcelle (Parc.) et en t par hectare (t/ha).

En tenant compte de l'enlèvement des gourmands, les mandariniers ont produit de la taille au 29/05/01, c'est à dire en onze mois, 3,34 t/ha de matière sèche totale en biomasse aérienne fractionnée en : 1,17 t/ha de feuilles, 1,93 t de tiges et 0,24 t/ha d'accroissement du tronc. Plus du tiers de la biomasse initiale (37 %) a déjà été récupérée pour 25 % d'accroissement (en masse) du tronc.

1.4 - Les éléments du bilan hydriques

1.4.1 -La pluviométrie et l'irrigation

1.4.1.1- La pluviométrie

L'écart systématique entre les relevés des deux stations, oblige à n'utiliser que les données du pluviomètre totalisateur ou de la station météo au poste des entrées du bilan hydrique.

1.4.1.2- L'irrigation

Durant les investigations en 2000 et 2001, le système d'irrigation qui a fonctionné jusqu'au 10/01/01 a ensuite été arrêté pour cause de détérioration irrémédiable du bassin d'alimentation. Outre le fait que les apports n'ont pu être contrôlés, le système d'irrigation pose le problème de la répartition de cette eau dans la parcelle. La dose journalière de 4 mm d'eau par goutteur correspond théoriquement à une répartition moyenne $I_m = 2,86$ mm sur une aire de $0,4 \times 3,5 = 1,4$ m² dévolu au goutteur. Mais, cela suppose une diffusion totale de l'eau sur toute cette surface. Or, les observations sur le terrain et les essais d'humectation par capillarité effectués au moment de l'étalonnage des humidimètres (photo 14), montrent que dans ce sol, la diffusion hydrique se situe en deçà de 20 cm. Il s'ensuit que l'irrigation peut être considérée comme ponctuelle et que c'est une hauteur journalière de $I_p = 31,8$ mm qui est apportée sur un cercle d'aire maximale de 0,126 m². D'où les chroniques de données hebdomadaires : $P+I_m$, $P+I_p$ et hebdomadaires cumulées $(P+I_m)_c$ et $(P+I_p)_c$ complémentaires à P et P_c , reportées au tableau 8 du rapport 1.

1.4.2 - Le ruissellement

Les deux séries de mesures bathymétriques données en exemple aux tableaux 12 du rapport 1, montrent que le ruissellement est un phénomène ponctuel dans le temps et relativement bien localisé dans l'espace. Les flaques d'eau les plus importantes (n° 3 et 4) sont les plus fréquentes. Elles apparaissent avant les autres dont la présence est plus précaire et aléatoire. Il s'ensuit une importante hétérogénéité spatiale.

En interprétant, il semble que dans le réseau de chenaux qu'utilisent les eaux de ruissellement superficiel, il y en ait de plus fonctionnels que d'autres et que ceux-ci contribuent à l'édification des flaques d'eau les plus fréquentes en bas de parcelle. Ces chenaux primordiaux sont accessoirement complétés par d'autres de fonctionnement plus ou moins fugace, selon l'importance et les modalités momentanées du ruissellement.

Ceci dit, le phénomène est négligeable à l'échelle parcellaire. En effet, dans les deux exemples précités, le ruissellement moyen sur la parcelle est de 0,4 et 0,3 mm pour 163 et 67 mm de pluie tombée durant les semaines concernées, soit respectivement 0,18 et 0,45 % de la pluviométrie.

1.4.3 - L'eau du sol

Deux chroniques de profils hydriques sont consignées aux tableaux 10 et 11 et illustrées aux figures 4 et 5 du rapport 1. Les premiers profils effectués à l'humidimètre « TRASE » (fig. 4), montrent qu'à une ou deux exceptions près, concernant des relevés effectués sans doute en périodes de ressuyage, l'humidité est relativement constante, voisine de 40 %. L'évolution générale des profils suivants exécutés à l'humidimètre « TRIME » (fig. 5 graphique de l'humidité moyenne), présente des périodes de dessèchement en surface et d'humidification en profondeur. Cette humidification confine à l'engorgement en fin de chronique. L'observation détaillée des six sites étudiés, met en évidence une discrimination entre sites dits « secs » et sites dits « humides ». Dans le site 35 représentatif du premier cas, le processus susmentionné apparaît atténué. Le dessèchement est relativement faible en surface, ainsi que l'accumulation en profondeur. Dans le site 134, humide, les humidités sont plus élevées et augmentent suivant un fort gradient dans le sens de la profondeur, allant jusqu'à l'eau libre en fin de chronique.

L'interprétation de ces faits met en cause le positionnement des sites de mesure ainsi les entrées d'eau dans le profil. Dans le premier cas, les sondes de mesure sont implantées en zone de diffusion de l'eau d'irrigation et les profils relevés en période d'irrigation sont vraisemblablement à la capacité au champ, d'où la constance des taux d'humidité et la quasi-rectitude des profils hydriques. Dans le second cas, le tube d'accès de la sonde TDR est quoique peu éloigné, extérieur à cette zone de diffusion et en plein hivernage. Les apports d'eau bien qu'abondantes, sont néanmoins erratiques. Des épisodes secs permettent l'évapotranspiration et la redistribution de l'eau vers la profondeur. Interviennent alors, des caractéristiques physiques propres au sol dont, la compacité en mentionnée par Quantin *et al.* (*loc. cit.*) et E. Bourdon, T. Becquer, S. Edighofer et B. Bonzon, 1994 : Evaluation de la compacité des sols ferrallitiques ferritiques (ferrallisol) de Nouvelle Calédonie, ORSTOM, rapp. Multigr. 35p. Il en résulte des engorgements temporaires cartographiés par ces derniers et des écoulements souterrains que nous avons décelés (cf. photo 8).

Notons en terminant, que les taux d'humidité sont généralement élevés. Mais, en absence de données de pF et compte tenu de la minéralogie du sol, on ne peut pour le moment, quantifier le degré d'utilité de toute cette eau, pour la plante.

1.4.4 - Le drainage

Tableau 13 : Exemples de variations spatio-temporelles du drainage dans les six sites de mesures

Date :	N° arbre	Mesure (l)	Dr (mm)	Drc. (mm)
15/11/04	35	3,35	29,5	29,54
	44	5,05	44,5	44,53
	77	2,55	22,5	22,48
	134	6,11	53,9	53,87
	149	4,42	39,0	38,97
	164	3,50	30,9	30,86
	Moyenne:	4,16	36,71	36,71
	Ecart-type:	1,29	11,39	11,39
	Limite inf	0,84	7,43	7,43
	Limite sup	7,48	65,99	65,99
	CV%	31,0	31,0	31,0
25/01/05	35	0,120	1,1	1030,94
Date :	N° arbre	Mesure (l)	Dr (mm)	Drc. (mm)
	44	0,010	0,1	1116,33
	77	0,100	0,9	813,32
	134	0,000	0,0	880,51
	149	0,000	0,0	912,69
	164	0,000	0,0	875,48
	Moyenne:	0,038	0,34	938,21
	Ecart-type:	0,056	0,49	112,99
	Limite inf	-0,074	-0,93	712,23
	Limite sup	0,150	1,61	1164,20
	CV%	146,1	146,1	12,0
01/02/05	35	41,300	364,2	1395,10
	44	37,000	326,2	1442,58
	77	33,700	297,1	1110,47
	134	29,600	261,0	1141,51
	149	29,200	257,5	1170,16
	164	30,700	270,7	1146,18
	Moyenne:	33,583	296,12	1234,33
	Ecart-type:	4,788	42,22	144,95
	Limite inf	24,007	187,62	944,42
	Limite sup	43,159	404,62	1524,24
	CV%	14,3	14,3	11,7
03/05/05	35	0,950	8,4	2158,25
	44	0,000	0,0	1933,89
	77	0,000	0,0	1809,60
	134	0,000	0,0	1934,11
	149	0,000	0,0	1736,42
	164	0,760	6,7	1897,87
	Moyenne:	0,285	2,51	1911,69

Ecart-type:	0,446	3,93	143,61
Limite sup	1,176	12,61	2198,91
CV%	156,3	156,3	7,5

Légende : Mesure : quantité d'eau moyenne collectée dans les six lysimètres, Dr et Drc : drainage ponctuelle moyenne et cumul.

Le drainage appelle les mêmes considérations faites à propos de l'irrigation. Le phénomène sous goutteur est différent du reste de la parcelle. En période d'irrigation, il se fait en des volumes de diffusion enveloppés par des cylindres de 20 cm de rayon et sous des flux d'eau 10 fois plus élevés que ceux escomptés par expérimentateur.

Ceci dit, les exemples du tableau 13 (extraits du tableau 12 du rapport 1), montrent que les mesures de drainage sont hétérogènes. L'hétérogénéité est d'autant plus forte que les quantités d'eau drainées sont plus faibles et inversement. Par exemple, pour une quantité moyenne de 0,285 l d'eau recueillie le 3/0/01, on a CV=156 % et pour 33,6 l d'eau, CV = 14,3 %. Les valeurs des quantités d'eau totales collectées au 9/05/01 et consignées au tableau 14, confirment les remarques précédentes avec un CV de 8,4 % pour 221 l d'eau en moyenne. Les variations de ces valeurs ne semblent pas liées à la profondeur de remaniement du sol.

Les modalités de transfert de l'eau hors des lysimètres sont à mettre en cause. Dans le sol, l'infiltration se produit à travers les vides et des pores de la matrice. La diversité dimensionnelle et la tortuosité de ceux-ci induisent une hétérogénéité du débit des flux d'eau. La longueur et la durée des trajets des flux d'infiltration sont dont dans le court terme, hétérogènes, d'une hétérogénéité qui peut masquer l'influence de l'épaisseur de la couche de sol traversée. Lorsque les pores et les vides sont remplis par d'importantes quantités d'eau, la vitesse de transit est maximale et le phénomène de percolation plus homogène. Par ailleurs, si les conditions de prélèvement et de stockage sont équivalentes, à plus ou moins long terme, à cause de la diversité des débits, les entrées d'eau finissent par parcourir un trajet déterminé, d'où l'homogénéisation des sorties d'eaux sur les longues durées.

Tableau 14 : La dispersion des eaux collectées sous lysimètres au 9/01/01.

Site	Prof cm	Mesures l
35	90	241,67
44	60	227,34
77	30	204,31
134	90	218,09
149	60	195,60
164	30	239,23
moyenne		221,04
ET		18,61
CV %		8,42
Pécision		10,45

Légende : Site : n° de référence du site d'étude, Prof : épaisseur à partir de la surface du sol de la couche labourée, Mesure : quantité d'eau recueillie au 9/01/01.

La suite des valeurs hebdomadaires cumulées du drainage (cf. tab. 12 du rap.1) a été modélisée par rapport aux entrées d'eau par pluie et irrigation (tab. 8 du rap. 1).

Globalement une fonction polynomiale du troisième degré peut être utilisée pour formuler le drainage sur l'ensemble de la chronique (fig. 6). On a :

$$Y = 5E - 08.X^3 + 0,0004.X^2 - 0,258.X + 75,8 \quad (1) \quad \text{avec } R^2 = 1,0 \text{ et } n = 25$$

Dans le détail, on peut discriminer :

1°) - la période d'irrigation pendant laquelle une équation du troisième ou du second degré en fonction de la pluie et de l'irrigation hebdomadaires, peut indifféremment représenter le drainage (cf. fig. 7). On a :

$$Y = -2E - 07.X^3 + 0,0007.X^2 - 0,5308.X + 125,6 \quad (2) \quad \text{avec } R^2 = 0,99 \text{ et } n = 9$$

$$\text{et } Y = 6E - 05.X^2 + 0,3032.X + 168,79 \quad (2') \quad \text{avec } R^2 = 0,98 \text{ et } n = 9$$

2°) - la période suivant l'irrigation où le drainage peut être formulé (après translation des axes) par l'équation du premier degré :

$$Y = 0,67X + 52,1 \quad (3) \quad \text{avec } R^2 = 0,98 \text{ et } n = 16 \text{ cf. fig. 8}$$

En notant le changement de direction dans la distribution des points à la figure 8, cette dernière équation pourrait être scindée aussi en deux équations.

La première :

$$Y_1 = 0,83X - 3,26 \quad (3') \quad (\text{après translation des axes}) \quad \text{avec } R^2 = 0,99 \text{ et } n = 7$$

quantifierait le drainage sur une période intermédiaire, entachée d'arrière effets des dernières doses d'irrigation.

La seconde :

$$Y = 0,51X - 2,1 \quad (3'') \quad (\text{après translation des axes}) \quad \text{avec } R^2 = 1,0 \text{ et } n = 9 \quad (\text{cf. 9})$$

le formulerait en queue de chronique, en absence de tout effet d'irrigation.

Mais, compte tenu de l'hétérogénéité du phénomène et du petit nombre de couple, cette opération dernière est susceptible de paraître non significative, artificielle et inopportune par rapport à l'équation (3).

Ces diverses formulations montrent que le drainage est un phénomène important et non négligeable du bilan hydrique. Plus de 50 % des pluies ou de l'eau d'irrigation est perdu par drainage.

1.4.5 – L'évapotranspiration

L'importante variabilité des valeurs instantanées de la plupart des composantes du bilan hydrique et l'homogénéité des valeurs cumulées nous amènent à utiliser ces dernières pour le calcul de l'évapotranspiration et à considérer comme en météorologie les moyennes mobiles. Un exemple de calcul de l'ETR à partir des profils hydriques relevés à l'humidimètre « TRIME » du 24/01/01 au 2/05/01, est donné au tableau 15. L'irrigation était arrêtée depuis le 11/01/01.

Tableau 15 : Evolution de l'évapotranspiration moyenne du sol du 24/01/01 au 2/05/01

Date	t	tc	P	Pc	Ip	Δpc	Sc	ΔS	ETR _h	ETR _j
	j	j	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/7j	mm/j
24/01/01			33,0	320,0	0,0	880,4	280,0			
31/01/01	7	7	247,0	567,0	0,0	1147,7	300,0	20,0	-40,3	-5,8
07/02/01	7	14	152,0	719,0	0,0	1219,7	295,9	-4,1	43,8	3,1
14/02/01	7	21	163,0	882,0	0,0	1387,3	292,7	-3,2	42,4	2,0
21/02/01	7	28	130,0	1012,0	0,0	1475,7	293,6	0,9	83,1	3,0

28/02/01	7	35	32,0	1044,0	0,0	1496,3	282,2	-11,4	105,9	3,0
07/03/01	8	43	36,0	1080,0	0,0	1502,2	275,6	-6,6	142,6	3,3
14/03/01	6	49	110,0	1190,0	0,0	1560,7	288,8	13,2	180,9	3,7
20/03/01	7	56	67,0	1257,0	0,0	1582,8	298,7	9,9	215,9	3,9
27/03/01	7	63	47,0	1304,0	0,0	1609,1	297,9	-0,8	237,4	3,8
03/04/01	7	70	54,0	1358,0	0,0	1639,9	297,0	-0,9	261,5	3,7
10/04/01	7	77	141,0	1499,0	0,0	1716,1	365,3	68,3	258,0	3,4
17/04/01	7	84	6,0	1505,0	0,0	1725,0	321,3	-44,0	299,1	3,6
04/05/01	7	91	76,0	1581,0	0,0	1756,7	316,1	-5,2	348,6	3,8
02/05/01	8	99	23,0	1604,0	0,0	1759,0	307,3	-8,9	378,2	3,8
Total	99		1284,0	1284,0	0,0	878,6	27,3	27,3	378,2	3,8

Légende : t et tc : laps de temps entre deux mesures et cumul, P et Pc : pluviométrie entre deux mesures et cumul, Ip : rappel irrigation, Δpc : drainage « ponctuel » cumulé à compter du 15/11/00, Sc : réserve en eau du sol, ΔS : variation de stock, ETRh et ETRj : moyennes hebdomadaires et journalières mobiles de l'évapotranspiration réelle à compter du 24/01/01.

On a :

$$ETRh = \Delta Pc - \Delta Ps - \Delta sc = (Pc_1 - Pc_2) - (Dpc_1 - Dpc_2) - (Sc_1 - Sc_2)$$

Les indices 1 et 2 caractérisent les valeurs initiales et finales.

On peut préciser les calculs en fonction du site de mesure.

Sous lysimètre, il n'y a pas de ruissellement et ΔS est pratiquement nul (Humidité à la capacité au champ et faible contenance). On a pour toute la période considérée :

$$\Delta Pc = 1284 \text{ mm}, \text{ et } \Delta Dpc = 878,6$$

soit, $ETRh = 405,4 \text{ mm}$ et $ETRj = 4,1 \text{ mm}$

- Hors lysimètre, on utilise l'équation (3) pour le drainage et l'on doit retrancher les fluctuations de la réserve hydrique du sol. Le ruissellement évalué à 5‰ des pluies est négligeable. On a sur la même période :

$$\Delta Pc = 1284 \text{ mm}, \Delta Dpc = 1284 \times 0,67 = 860 \text{ mm} \text{ et } \Delta S = 27,3 \text{ mm},$$

soit $ETRh = 396 \text{ mm}$ et $ETRj = 4,0 \text{ mm}$.

On notera que la pluviométrie et le drainage sont les éléments majeurs du bilan et que lorsque la durée du suivi est suffisamment longue, les fluctuations de la réserve en eau du sol peuvent être négligées. Dans l'exemple, les 27,3 mm résultant des variations hydriques du sol représentent 2 % de la pluviométrie concernée et 3 % du drainage.

En conséquence et pour des hauteurs pluviométriques de l'ordre de quelques centaines de millimètres la résultante des fluctuations de la réserve en eau du sol ainsi que le ruissellement sont négligeables dans l'équation du bilan hydrique.

Donc, en se fondant uniquement sur les relevés pluviométriques et les formulations trouvées pour le drainage, la consommation hydrique des mandariniers ainsi que les pertes hydriques par drainage peuvent être calculées à moins de 10 % près (précision sur le drainage).

1.5 - Les éléments du bilan minéral

Les données brutes d'analyse chimique des solutions de sol recueillies sous lysimètre, sont aux tableaux 13 et 14 (rap. 1). Les statistiques élémentaires qui en découlent sont consignées ci-après, aux tableaux 16, 17 et 18. L'évolution de la concentration des eaux en différents éléments chimiques, est illustrée aux figures numérotées de 10 à 29. Tous ces résultats ne sont donnés qu'à titre indicatif de l'état des investigations et des opérations à venir car, pour de multiples raisons, on ne peut pas procéder actuellement, à des traitements exhaustifs. Tout d'abord, des déterminations chimiques ou physico-chimiques d'échantillons végétaux ou de sol, nécessaires aux interprétations, ne sont pas encore disponibles. Nous avons en outre, détecté des pollutions de solutions (pollutions en nitrates, sulfates ... cf. tabl. 13) liées à des changements récents dans les modalités d'apport de la fumure d'entretien (apports à la volée le long de la ligne (cf. photo 12) remplacés par des apports autour des arbres). Certains dosages comme celui des sulfates à l'IPC ont pu en être affectés. Il s'ensuit que les résultats des analyses chimiques devront faire l'objet de contrôles rigoureux visant à confirmer ou infirmer certains résultats.

Nous signalons néanmoins, un résultat intéressant et déjà confirmé. Il s'agit de l'action de la fumure (de la fumure phosphatée vraisemblablement) sur le chrome du sol. Cette action se traduit par une désorption relativement importante de Cr (la concentration de la solution peut dépasser 1mg/l) qui passe alors en solution, totalement sous forme de Cr(VI) (cf. tabl. 19) hautement toxique pour la plante et pour l'homme.

1.5.1- Composition chimique de la solution du sol

Tableau 16 : Données moyennes de pH et concentrations en anions de la solution du sol

Site	Stat.	pH	HCO ₃	NH ₄	Cl	SO ₄	NO ₃	PO ₄	SiO ₂
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
35	Moy	6,84	76,25	0,2	11,20	78,31	39,08	0,9	4,82
	CV %	15,3	41,0	209,8	116,9	21,4	243,8	458,3	21,5
	Min	2,54	0,00	0,0	0,21	46,54	0,00	0,0	2,25
	Max	7,92	107,00	1,2	41,53	115,84	443,98	18,0	6,81
41	Moy	6,98	76,04	0,2	12,53	29,66	78,88	0,9	4,61
	CV %	15,33	41,26	193,7	110,68	69,15	156,19	458,3	29,61
	Min	2,54	0,00	0,0	0,21	20,64	0,00	0,0	1,80
	Max	7,92	107,00	1,2	41,53	115,84	443,98	18,0	8,39
77	Moy	6,64	23,20	0,1	22,19	31,12	140,09	0,0	5,45
	CV %	16,25	77,15	208,1	89,88	32,01	120,02		25,52
	Min	2,04	0,00	0,0	0,48	17,45	0,30	0,0	3,38
	Max	7,38	43,00	1,1	63,54	45,04	569,97	0,0	9,83
134	Moy	6,94	61,73	0,1	15,82	29,73	80,82	0,0	9,41
	CV %	3,11	36,70	201,6	106,50	50,01	166,40	326,2	24,32
	Min	6,58	1,37	0,0	0,14	17,61	0,00	0,0	2,93
	Max	7,38	87,00	0,5	51,20	89,68	409,10	0,2	11,69
149	Moy	7,11	100,99	0,1	12,73	26,34	47,96	0,1	13,77
	CV %	11,49	44,96	220,3	116,05	95,82	198,79	145,7	32,41
	Min	3,74	1,37	0,0	0,13	12,80	0,00	0,0	2,93
	Max	7,71	149,00	0,5	51,20	111,32	409,10	0,6	19,67
164	Moy	6,88	31,56	0,3	15,77	34,30	53,21	0,0	4,89
	CV %	4,28	111,97	145,2	90,48	52,66	205,30	349,7	77,22
	Min	6,42	0,00	0,0	1,20	20,50	0,00	0,0	2,40
	Max	7,71	149,00	1,4	51,20	111,32	409,10	0,6	19,67
Lac	Moy	7,49	26,82	0,0	5,58	2,33	0,29	0,0	12,00
	CV %	3,38	79,32	172,6	8,68	30,80	110,18		30,94
	Min	6,83	0,00	0,0	4,90	1,52	0,00	0,0	5,81
	Max	7,84	56,00	0,2	6,34	3,75	1,01	0,0	23,61
Pluie	Moy	6,28	7,10	0,1	3,78	6,77	2,44	0,0	0,69
	CV %	10,40	346,54	157,1	96,19	320,28	322,31	400,0	178,99
	Min	5,20	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,0	0,06
	Max	7,48	92,45	0,23	11,37	87,90	31,69	0,3	5,13

Tableau 17: Données moyennes de concentrations en cations majeurs de la solution du sol

Site	Stat.	Ca	Mg	Na	K
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
35	Moy	52,24	8,35	2,70	7,09
	CV %	15,8	20,6	163,0	62,9
	Min	39,15	4,07	0,18	2,87
Site	Stat.	Ca	Mg	Na	K
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Max	66,41	11,07	19,61	21,91
41	Moy	45,67	3,46	4,04	15,88
	CV %	36,31	56,47	98,51	79,83
	Min	30,79	2,35	0,18	2,87
	Max	92,75	11,07	19,61	42,89
77	Moy	47,35	6,91	4,33	27,69
	CV %	64,21	55,24	74,87	51,98
	Min	18,55	2,90	1,06	10,35
	Max	117,75	16,39	11,16	51,99
134	Moy	42,83	5,23	4,28	15,41
	CV %	62,44	61,20	75,26	44,51
	Min	18,78	2,16	0,89	5,76
	Max	103,30	12,21	11,05	30,64
149	Moy	53,52	3,72	3,36	8,18
	CV %	36,12	59,32	83,81	74,82
	Min	18,78	2,16	0,62	3,38
	Max	103,30	12,21	11,05	30,64
164	Moy	31,50	3,47	4,19	13,45
	CV %	69,60	71,82	58,81	75,47
	Min	15,53	1,38	1,85	3,83
	Max	103,30	12,21	11,05	42,23
Lac	Moy	0,50	7,88	3,17	0,21
	CV %	25,84	20,16	10,63	47,98
	Min	0,36	3,92	2,79	0,13
	Max	0,81	11,18	3,83	0,51
Pluie	Moy	4,27	0,96	1,60	1,09
	CV %	363,10	282,85	83,13	220,90
	Min	0,09	0,03	0,17	0,08
	Max	62,31	11,15	4,89	9,58

Tableau 18 : Données moyennes de concentrations en cations mineurs de la solution du sol

Site	Stat.	Fe	Mn	Ni	Al	Cr	Co	Cu
		ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
35	Moy	19,57	35,39	20,91	0,73	439,67	4,48	43,46
	CV %	106,5	135,3	24,7	329,9	28,9	95,4	109,7
	Min	0,00	0,00	15,00	0,00	94,00	0,00	3,88
	Max	100,06	207,76	33,00	11,00	642,32	19,13	202,73
44	Moy	13,00	16,40	9,63	0,77	454,15	1,91	29,38
	CV %	163,36	276,91	64,52	336,98	27,35	218,91	145,21
	Min	0,00	0,00	4,02	0,00	94,00	0,00	3,88
	Max	100,06	207,76	33,00	11,00	642,32	19,13	202,73
77	Moy	11,46	23,08	12,47	2,64	230,49	2,72	34,93
	CV %	71,91	109,75	50,90	218,69	36,19	107,10	92,52
	Min	1,00	0,00	4,00	0,00	122,43	0,00	2,00
	Max	41,31	96,00	27,00	19,00	438,00	12,90	133,37
134	Moy	22,73	98,63	20,65	2,39	40,30	6,15	107,42
	CV %	196,78	278,11	65,52	314,97	115,04	211,93	110,98
	Min	2,00	0,00	9,50	0,00	4,00	0,00	7,00
	Max	214,00	1286,00	70,00	34,00	201,34	62,00	407,00
149	Moy	18,47	75,38	12,97	4,71	609,77	4,76	70,97
	CV %	245,96	369,07	117,01	332,51	41,84	277,40	122,14
	Min	0,00	0,00	4,70	0,00	4,00	0,00	7,00
	Max	214,00	1286,00	70,00	65,00	1038,00	62,00	407,00
164	Moy	24,68	128,81	40,95	17,59	191,82	7,74	61,12
	CV %	182,11	223,88	240,57	358,88	104,47	184,48	136,35
	Min	0,00	0,00	8,00	0,00	19,00	0,00	15,00
	Max	214,00	1286,00	467,00	286,00	1038,00	62,00	407,00
Lac	Moy	136,09	120,78	10,44	4,07	4,57	1,76	3,51
	CV %	105,18	254,09	79,82	87,77	48,08	161,08	54,67
	Min	31,10	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max	529,92	1185,76	27,85	12,41	8,00	9,06	8,00
Pluie	Moy	16,90	11,35	4,22	4,08	38,41	1,17	10,09
	CV %	79,76	169,93	171,19	132,64	382,35	215,46	103,15
	Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Max	53,00	79,00	23,00	22,00	589,05	10,00	46,21

Tableau 19 : Données moyennes du fractionnement du chrome désorbé

Site	Statistique	Cr(VI) mg/l	Cr total mg/l
35	Moyenne	0,414	0,452
	ET	0,104	0,102
	CV %	25,1	22,6
44	Moyenne	0,517	0,518
	ET	0,030	0,032
	CV %	5,7	6,2
77	Moyenne	0,259	0,256
	ET	0,055	0,051
	CV %	21,2	19,8
134	Moyenne	0,084	0,041
	ET	0,215	0,049
	CV %	256,5	121,9
149	Moyenne	0,687	0,693
	ET	0,172	0,150
	CV %	25,1	21,6
164	Moyenne	0,149	0,164
	ET	0,058	0,045
	CV %	38,6	27,6
Lac	Moyenne	0,000	0,004
	ET	0,000	0,002
	CV %	#DIV/0!	63,1
Pluie	Moyenne	0,001	0,002
	ET	0,003	0,001
	CV %	360,6	78,1

2 – Discussion

Les conditions environnementales seront discutées en examinant les éléments du bilan hydrique. Nous passons directement à l'analyse du dispositif expérimental.

2.1 – Le dispositif expérimental

Nous n'insisterons pas sur la complexité des traitements car, vouloir tester une combinaison des facteurs d'efficacité reconnue est légitime et se justifie, en recherche appliquée tout spécialement. En revanche, l'opération présente quelques difficultés et le dispositif quelques insuffisances, que nous allons souligner ainsi que leurs conséquences.

Tout d'abord, lorsque dans une expérimentation, les traitements combinent plusieurs facteurs, il faut être attentif à bien les définir dans leurs différentes modalités. Par exemple, le traitement porte-greffe de l'essai, comporte dans la modalité *Citrus Volkameriana* une composante « effet de bordure » qui n'existe pas pour *Citrangé Troyer*, ce qui biaise la comparaison. Ce fait amène à recommander la nécessité d'accorder les traitements aux objectifs et vice versa. Cet accord est d'autant plus ardu à réaliser que des interactions de tout ordre entre les facteurs peuvent exister et dépasser les effets principaux. Par exemple, la lixiviation d'éléments minéraux provoquée par l'irrigation est susceptible d'avoir un effet différentiel plus perceptible que les effets principaux des facteurs fumure et eau considérés séparément.

Pour que les effets soient justement perceptibles et objectivement significatifs, on doit s'attacher à minimiser et surtout homogénéiser les variations non dues aux traitements. On doit faire en sorte, qu'ils ne subsistent dans le système que des faits aléatoires aussi discrets que possible, face aux effets des traitements. «**Toute chose doit être égale par ailleurs** ». Il est par suite inconcevable, que la modalité « *Citrus Volkameriana* » du traitement porte-greffe, déjà biaisé par l'effet de bordure, soit encore affectée d'une différenciation occulte de l'irrigation. L'écartement des goutteur passant de 40 à 30 cm, l'irrigation est 33 % supérieure à la norme de l'essai.

Concernant toujours les apports d'eau, durant notre période de suivi, des accidents sont survenus dans les raccordements du système d'irrigation, qui ont dégradé pendant des jours sinon des semaines, la distribution de l'eau dans la parcelle.

En ce qui concerne la fumure organique et minérale, des déjections de cerfs et de cochons sauvages (cf. photos 6 et 7), par leur abondance et leur dispersion, biaisent très certainement l'effet du facteur. A ce propos, l'utilisation de bouses de vaches et de crottes de chèvres, est une pratique courante de fertilisation paysanne au Sahel. Autre cause de perturbation en ce domaine, l'action lixiviante du ruissellement et du drainage. En effet, si les averses sont trop rapprochées des apports d'engrais, une partie de ceux-ci est dissoute puis transférée superficiellement dans les flaques d'eau de bas de parcelle ou drainée hors de portée des racines.

On doit aussi noter comme éléments non aléatoires, perturbants pour l'essai, les épidémies et attaques d'organismes divers qui occasionnent d'importants dégâts, quand les traitements sont différés.

Sur le plan statistique, l'analyse de variance d'un essai se termine par la comparaison au témoin, ce qui permet de démontrer l'existence et la signification de l'effet du traitement concerné. Dans le cas présent, il n'y a pas de témoin : pas de témoin absolu pour tester la combinaison de facteurs, ni de témoin particulier pour spécifier l'action d'un facteur distinct. Présentement, à moins d'être placé dans un contexte de tout ou rien, on ne peut déceler que des variations entre modalités de traitements, sans pouvoir les attribuer à un facteur étudié particulier. Or, la pérennité d'un pied de mandarinier (rejeté de l'expérimentation, parce que



Comportement du mandarinier en pleine nature et dans l'essai

© IRD / M. Sicot

Photo 1 : Pied de mandarinier rejeté de l'essai en pleine nature



© IRD / M. Sicot

Photo 2 : Pied de mandarinier de l'essai au moment de la taille

non conforme) sans labour, fumure, et irrigation, subissant de surcroît une très forte compétition en milieu naturelle, montre bien que l'on ne se situe pas dans un tel cas (cf. photos 1 et 2 ci-après, illustrant le comportement de deux pieds de mandariniers, l'un en conditions naturelles, l'autre dans l'essai au moment de la taille).

En terminant, signalons que des résultats de travaux antérieurs du laboratoire d'Agropédologie sur les mêmes sols, ont montré l'inefficacité de l'amendement phosphorique, principal facteur testé, après trois cycles culturaux, c'est à dire trois ans. Or le verger est installé depuis décembre 1996. Il est donc actuellement fort possible, que les effets des facteurs chimiques initiaux, notamment du phosphore soient inexistantes.

2.2 – La phénologie des mandariniers

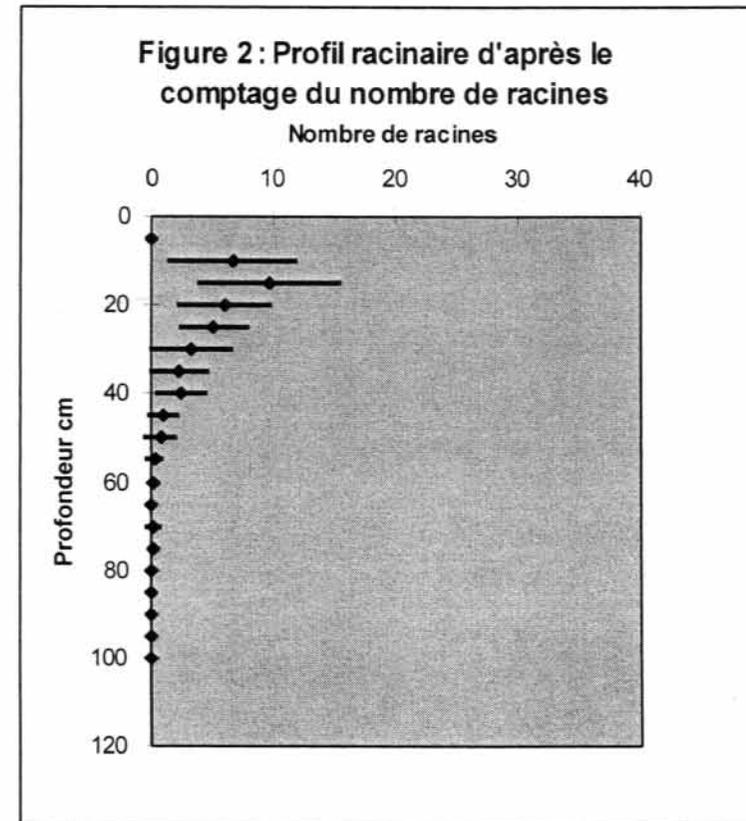
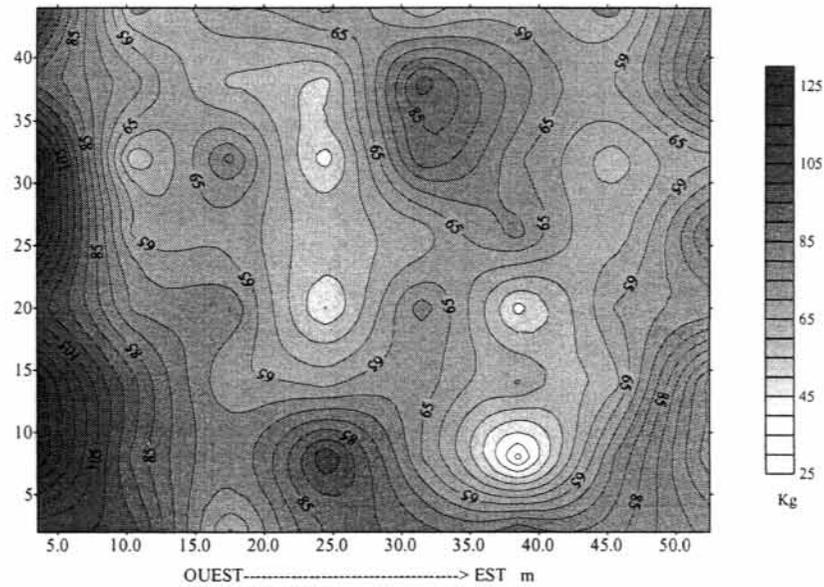
Sur le plan phénologique, la conduite des mandariniers de Ouénarou est hors norme. L'expérimentateur s'est donné pour objectifs, d'éviter de perturber la croissance de la plante et d'augmenter sa vigueur. Pour ce faire, il a différé, à l'entrée en production fruitière, les tailles de formation et d'entretien de la frondaison des arbres. En conséquence, le verger a commencé à produire après quatre ans de plantation, une durée d'installation à peu près normale (3 à 4 ans selon Loussert : R. Loussert 1989. Les agrumes- Arboriculture Tech. Doc Lavoisier ed. 113p).

Une production de 35 kg de matière sèche par arbre, comprenant cinq branches principales, a été exportée à la taille. Cette croissance végétative des arbres ne peut être jugée, faute de références (témoin) concernant le matériel végétal conduit normalement dans les conditions écologiques régionales. On peut néanmoins constater, que les cinq branches éliminées en temps voulu, leur croissance aurait pu profiter aux quatre autres restantes et contribuer à l'édification définitive de l'appareil végétatif. Et c'était là, le rôle et l'objectif de la taille.

On peut aussi constater que la taille, pratiquée en période de floraison-fructification, n'a pas été idéalement placée pour sauvegarder l'équilibre physiologique de la plante. Les traitements phytosanitaires ont fort heureusement pallier la haute sensibilité des arbres aux diverses maladies et attaques parasitaires.

En définitive, la décision de l'agrumiculteur se solde par une prolongation d'au moins un an de la période d'installation du verger et un rajeunissement du matériel végétal. Ce rajeunissement va-t'il se répercuter sur la production et/ou la longévité du verger ?

Figure 1 : Distribution spatiale du poids frais de biomasse aérienne dans la parcelle



2.3 – La biomasse des mandariniers

Tableau : Principaux résultats de l'analyse de la variance du biovolume et de la biomasse aériens des mandariniers (cf. Graff *loc. cit.*)

Organes	Variables	Hom. variance	Trait x bl	Sign. à 5%
Tronc	Hauteur	Oui	Non	Non
	Périmètre bas	Oui	Non	Non
	Périmètre haut	Oui	Non	Non
	Volume	Non*	Non	Non
Feuillage	Hauteur	Oui	Non	Non
	Diamètre ligne	Oui	Non	Non
	Diamètre inter ligne	Oui	Non	Non
	Volume	Oui	Non	Non
	Poids frais branches exp.	Oui	Non	Non
Branche sélectionnée	Longueur	Oui	Non	Non
	Périmètre de section basale	Oui	Non	Oui (1)
	Volume de la tige	Oui	Non	Non
	Poids frais	Oui	Non	Non
	Poids sec feuilles	Oui	Non	Oui (2)
	Poids sec tiges	Oui	Non	Non
	Poids sec total	Oui	Non	Non
	Rap. Pds. sec (feuilles/tiges)	Non**	Non	Non

Légende : Hom. Var : Homogénéité des variances ; Trait. x bl : Interactions traitements – blocs ; exp. : exporté ; Rap. Pds. Sec (feuilles/tiges) : Rapport poids sec des feuilles/poids sec tiges ; * : variances intra-traitements non homogènes ; ** : variances intra-blocs et intra-traitements non homogènes ; (1) et (2) : effet traitement, 2 groupes de traitement 0 – 30/0 – 90 et 0 – 30/0 – 60

L'analyse de la variance du biovolume et de la biomasse aérienne tout en soulignant l'hétérogénéité du matériel végétal, indique que les conditions requises pour l'analyse sont généralement satisfaites (homogénéité de la variance exceptions faites pour le volume du tronc et le rapport feuilles/tiges en poids sec, pas d'interaction traitements- blocs).

Ceci dit, il n'y a généralement pas d'effet différentiel des traitements (quantité d'amendement et épaisseur de la couche de sol remaniée) exceptions faites pour la section basale et le poids sec des feuilles de l'échantillon de branche sélectionnée. Dans ces deux cas, le classement des traitements est le même :

amendement sur strate 0-30 < ... strate 0-60 < ... strate 0-90 cm

et indique un effet positif et significatif de la quantité initiale de fumure. Que dire de cet effet, ne se retrouvant pas sur la plante entière ? Il est fort possible qu'il soit sous-jacent, mais masqué par des variations provoquées par des facteurs non contrôlés ou qui pourraient l'être. Examinons à ce propos, la figure 1 illustrant la distribution du poids frais de la biomasse aérienne dans la parcelle. On y voit que les valeurs peuvent s'étaler de 25 à 125 kg par arbre et que l'effet des bordures est et ouest, non significatif pour l'analyse, est bien mis en valeur. Cet effet est particulièrement net en bordure ouest, exalté par les 33 % d'eau supplémentaire.

On pourrait voir aussi dans les zones à faibles biomasses de la figure 1, la conséquence de lixiviations provoquées par le ruissellement en haut de parcelle.

De telles variations mal repérées et plus ou moins contrôlables, sont susceptibles de masquer les effets principaux étudiés.

En définitive, pendant les cinq années de végétation, les mandariniers non taillés ont poussé développant une hétérogénéité ayant peut être sa source dans l'hétérogénéité initiale des plants, mais entretenue ou exaltée par des facteurs ou des faits aléatoires ou susceptibles d'être mieux contrôlés. L'action des facteurs initiaux s'estompant, les résultats refléteront de plus en plus les faits et conséquences de la conduite de la culture. La taille par exemple, en étalant de 3 à 8 le nombre de branches charpentières, ne favorisera ni l'homogénéisation des arbres du verger ni les arrières-effets des traitements. Il en est de même pour les conséquences de certains accidents ou dysfonctionnements survenus dans la conduite de l'essai.

En ces conditions, rechercher actuellement les effets des facteurs initiaux, apparaît illusoire et voué à l'échec.

2.4 – Les éléments du bilan hydrique

Le bilan hydrique du sol est déterminé par une suite de phénomènes et processus hydriques : pluviométrie, ruissellement, drainage, réserve en eau du sol et évapotranspiration, qui définit le cycle de l'eau dans l'écosystème. Les spécificités de ces phénomènes et processus dans le continuum espace-temps, déterminent localement les caractéristiques du bilan et par conséquent, les conditions de l'alimentation hydrique de la culture.

La pluviométrie à l'origine du cycle est temporellement déterminée par le positionnement géographique global du site d'étude. Ses propriétés et sa dispersion spatiale relèvent de caractéristiques environnementales. Dans le cas présent, des caractéristiques orogéniques du paysage induisent des différences microclimatiques qui interdisent l'utilisation de données voisines, sans des contrôles rigoureux. Si l'on veut modéliser en ce domaine, il faudra trouver le moyen de se raccrocher aux chroniques avoisinantes existantes.

S'agissant du **ruissellement** et du **drainage**, les données granulométriques de la parcelle n'étant pas encore disponibles, on ne peut pas détailler dans la discussion des faits. Mais nos observations sur le terrain et les descriptions de P. Quantin *et al.* et de E. Bourdon *et al.* indiquent que le sol s'est édifié en surface, sur des colluvions grossières surmontant proche de la surface, un banc compact d'altérites riches en éléments fins. Ces caractéristiques physiques qui sont très favorables à l'infiltration en surface, la bloque en profondeur provoquant « un engorgement temporaire près de l'horizon humifère ». Dans la parcelle, le ruissellement est par suite, un phénomène fugace qui ne joue lorsqu'il existe, (provoqué par des tassements et compactations artificiels) que temporairement par sa dispersion spatiale. Le drainage au contraire, est dans ce contexte, un phénomène permanent, caractérisé par un temps de latence et des modalités d'exécution lui conférant l'hétérogénéité spatio-temporelle très spécifique constatée.

Entre ces deux phénomènes, **l'eau du sol** n'a pas un comportement normal. La profondeur et les modalités d'emmagasinement sont influencées par la présence et la rugosité superficielles du banc d'altérites. On n'a pas le front d'humectation traditionnel recherché vers 60-80 cm pour comparer sa profondeur à celle de la rhizosphère (cf. figure 2 du rapport). A cette profondeur, l'humidité n'est pas constante et l'eau peut provenir localement d'infiltrations verticales comme d'écoulements latéraux hypodermiques (cf. photo 8 du premier rapport) d'origines indéterminées (écoulements intra ou extra parcellaires). On se trouve dans le cas des flux hydriques latéraux mal contrôlables et des mesures lysimétriques se révèlent très opportunes et pertinentes. Le drainage vertical et le profil hydrique peuvent être appréhendés hors des effets sus mentionnés. Mais leur efficacité est limitée par la disjonction temporelle

des phénomènes. Les processus ne sont pas en équilibre au moment des mesures. En particulier, les eaux de drainage collectées sur une période ne correspondent pas exclusivement, à la pluviométrie sur la même période.

Certains paramètres comme le drainage donc naturellement erratiques. Leur combinaison dans le bilan hydrique constitue un système dont l'instabilité foncière ne s'améliore que par l'intégration sur des durées suffisamment longues. Les valeurs ponctuelles de **l'évapotranspiration** paramètre intégrateur du système, sont donc ponctuellement imprécises et erratiques. L'imprécision manifeste sur la semaine impose d'augmenter la période d'intégration et justifie dans ces conditions, le calcul de la moyenne mobile.

2.5 – Les éléments du bilan minéral

Les circonstances et le temps obligent à différer l'interprétation des données d'analyses chimiques disponibles. Les contrôles et les éventuelles corrections effectués l'opération ne semble pas difficile, mais plutôt intéressante par les possibilités de comparaison au milieu naturel étudié par T. Becquer et d'estimation des transferts à partir des bilans hydriques et de matière sèche déjà maîtrisés.

Conclusion

Dans ces premiers rapports renseignant les promoteurs du suivi sur les travaux effectués par le laboratoire d'Agropédologie de l'IRD, sont décrits la méthodologie et l'appareillage utilisés pour les investigations, l'état des données recueillies et les premières interprétations.

La discussion des résultats qui a d'abord concerné le dispositif expérimental, a mis l'accent sur les difficultés découlant de la complexité des traitements et des problèmes techniques et des particularités des conditions environnementales.

La biomasse aérienne produite durant les quatre années de plantation, très hétérogène en ses formes, dimensions, volume, masse et composantes a été estimée sur les produits de la taille. L'établissement de rapports d'allométrie entre organes a montré néanmoins, l'organisation sous-jacente de la croissance et du développement chez le mandarinier. Cette organisation se traduit par d'étroites liaisons (à 99 %) entre la croissance en épaisseur, le biovolume ou la biomasse, liaisons qui n'existent pas pour la croissance en longueur.

Des formules d'estimation de la biomasse, utiles pour l'évaluation de la productivité future ont été obtenues à cette occasion.

L'analyse des conséquences des modalités de la taille, conséquences explicitées par rapport à la phénologie, la croissance végétative et la reproduction, a indiqué un retard d'au moins un an sur l'évolution normale du verger et un rajeunissement du matériel végétal.

Les processus hydrologiques du cycle de l'eau : la pluviométrie, le ruissellement, le drainage, la réserve en eau du sol et l'évapotranspiration, ont ensuite été analysés afin d'apprécier l'importance réciproque des termes du bilan hydriques qui en découlent.

On constate tout d'abord, que dans les conditions écologiques de Ouénarou, deux termes majeurs apparaissent indispensables à l'établissement du bilan hydrique : la pluviométrie et le drainage. Ce dernier mesuré hors des flux latéraux hypodermiques du milieu, a été modélisé pour permettre de contrôler ultérieurement les résultats.

L'hétérogénéité foncière et spécifique des différents termes par rapport aux propriétés du sol, leurs disjonctions spatio-temporelles, ainsi que l'instabilité du système résultant, ont été appréhendées. La nécessité d'intégrer les processus et les mesures ponctuelles sur d'assez longues durées s'est alors imposée.

Ces résultats s'applique tout spécialement à l'évapotranspiration réelle qui mesure la consommation en eau de la culture. Les valeurs ponctuelles très erratiques de ce paramètre, amènent à en considérer la moyenne mobile pour les comparaisons aux données météorologiques d'évapotranspiration potentielle, issues du bilan énergétique.

L'analyse des déterminations chimiques et du bilan minéral est très prometteuse avec la mise en évidence d'une importante désorption du Cr du sol qui passe totalement en solution sous forme de Cr(VI) hautement toxique pour la plante et pour l'homme. Elle n'a cependant pas été entreprise exhaustivement pour le moment, en raison de pollutions de solutions, provoquées par des changements dans les modalités d'apport de la fumure d'entretien.

