

UNIVERSITE DE NANCY-I

U. E. R. PHYSIQUE - CHIMIE - BIOLOGIE
ET ALIMENTATION - NUTRITION

THESE

présentée à
l'UNIVERSITE DE NANCY-I
pour obtenir le titre de
DOCTEUR INGENIEUR

Option Biochimie Appliquée de la Formation :

**NUTRITION. MEDICAMENTS. MICROORGANISMES
ET BIOCHIMIE APPLIQUEE**

PAR

Emmanuel MUNYANGENDO

Ingénieur en Technologie de la Fermentation
de l'INSTITUT TECHNOLOGIQUE DE L'INDUSTRIE
ALIMENTAIRE DE MOSCOU.

SUJET : ETUDE VARIETALE DE LA VALEUR VINICOLE DES
BANANES CULTIVEES AU RWANDA. ISOLEMENT ET
ETUDE DE SOUCHES DE LEVURES DE VINS DE BANA-
NES DE FABRICATION TRADITIONNELLE DE DIFFE-
RENTES REGIONS DU RWANDA.

Soutenu publiquement le ...10/11... 1983 devant la Commission d'Examen.

PRESIDENT : R. GAY

EXAMINATEURS : L. CHAPON
J.P. NICOLAS
P. GERMAIN

Avant d'entreprendre l'exposé de cette thèse, je me dois d'exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Je remercie tout d'abord le Professeur R. GAY, Directeur de cette thèse qui, au cours de sa réalisation n'a épargné aucun effort pour que ce travail soit mené à bonnes fins. Ses qualités humaines et son aptitude à se rendre disponible pour comprendre et corriger les erreurs m'ont été un précieux soutien dans la réalisation de ce travail. C'est un grand honneur qu'il me fait en acceptant la présidence de cette thèse, qu'il soit assuré de ma profonde gratitude et reconnaissance.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Messieurs les Professeurs L. CHAPON, J.P. NICOLAS et P. GERMAIN qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Ma profonde reconnaissance et gratitude s'adressent plus particulièrement à Monsieur le Professeur J. RENOUX, délégué aux Echanges Technologiques de l'AUPELF et Professeur à l'Université de Paris Val de Marne pour avoir compris mes aspirations et m'avoir mis en contact avec le Professeur R. GAY.

Qu'il me soit permis d'exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à Monsieur M. NTAHOBALI, Président du Conseil National pour le Développement pour m'avoir soutenu moralement et affilié au Groupe de Chercheurs sur les Produits Naturels de l'ancien Institut Pédagogique National dont il assumait la Direction.

Mes témoignages de gratitude s'adressent également à Monsieur P.C. KARENZI, Président de la Commission Scientifique du Mouvement Révolutionnaire National pour le Développement (M.R.N.D.) et Professeur à l'Université Nationale du Rwanda pour m'avoir soutenu par ses précieux conseils et associé aux travaux de recherche menés au sein du Centre de Recherches Appliquées et de Formation Permanente (CRAFOP).

Je renouvelle mes sincères remerciements à Monsieur L. GAHAMANYI, Secrétaire Général à la Présidence de la République Rwandaise pour son soutien moral et ses précieux conseils qui m'ont aidé à faire aboutir ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur NTEZILYAYO, Secrétaire Général au Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage pour la compréhension qu'il m'a toujours témoignée et son soutien moral.

Je remercie le personnel de Laboratoire et de Secrétariat de l'Office de Valorisation Industrielle des Bananeraies du Rwanda pour son concours dans la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie tout particulièrement Madame M. LEPRINCE et Monsieur M. QUITELIER de la Faculté des Sciences de l'Université de NANCY 1 pour leur aide dans la réalisation de ce document.

1. INTRODUCTION

	Pages
1.1.VUE D'ENSEMBLE SUR LES PROBLEMES DE VALORISATION DE LA BANANE	1
1.1.1.Estimation de la quantité disponible pour l'exportation	1
1.1.1.1.Amérique Centrale	1
1.1.1.2.Amérique du Sud	2
1.1.1.3. Les Caraïbes	2
1.1.1.4.L'Asie	2
1.1.1.5. L'Afrique	2
1.1.2. Confrontation des disponibilités exportables aux projections de la demande d'importation	5
1.2. HISTORIQUE DE LA VALORISATION DE LA BANANE AU RWANDA	7
1.3. IMPORTANCE DE LA BANANE DANS LA CULTURE VIVRIERE RWANDAISE	8
1.4. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES DE BASE	14
1.4.1. Origine et classification du bananier	14
1.4.2. Produits à base de bananes	15
1.4.2.1. Produits ayant acquis ou susceptibles d'acquérir une certaine importance économique	15
1.4.2.2. Produits d'importance économique faible ou peu étudiée au point de vue des débouchés	16
1.4.2.3. Produits potentiels	17
1.5. PREPARATION DES BOISSONS FERMENTEES AU RWANDA	20
1.5.1. Boissons préparées à base de jus de bananes	20
1.5.1.1. Récolte et murissage des fruits	20
1.5.1.2. Epluchage des bananes mûres et extraction du jus	21
1.5.1.3. Fermentation	21
1.5.1.4. Catégories de vins de bananes fabriqués au Rwanda	21
1.5.1.5. Teneur en alcool et en acidité des échantillons des vins de bananes "Urwa-gwa" collectés dans les préfectures de Cyangugu et de Kibungo, régions de plus forte production bananière du Rwanda	22
1.5.1.6. Le rendement dans l'exploitation familiale	25
1.5.2. Conclusion, discussion	25

1.6. VARIETES DE BANANES CULTIVEES AU RWANDA	26
1.6.1. Bananiers dits à vin	27
1.6.2. Bananiers pour fruits de table	28
1.7. EXTRACTION DU JUS DE BANANES	30
1.7.1. La maturation des bananes	30
1.7.1.1. Fruit 3/4 mince ou Thin Three Quarters	30
1.7.1.2. Fruit 3/4 plein ou Full Three Quarters	30
1.7.1.3. Fruit plein ou Full	31
1.7.1.4. Stade jaune	31
1.7.1.5. Stade mûr	31
1.7.1.6. Stade de surmaturation	31
1.7.2. Evolution de la composition chimique de la banane	32
1.7.2.1. Dégradation de l'amidon	32
1.7.2.2. Hydrolyse des matières pectiques	34
- par les acides, les alcalis, la chaleur	
- influence des pectines sur le trouble du jus de fruits	
- dégradation enzymatique des matières pectiques	
1.7.2.3. Oxydation des tannins, des acides organiques des sucres	39
1.7.3. Les conditions de la maturation	40
1.7.4. Emission des substances volatiles	41
1.7.5. Tentatives d'extraction industrielles du jus de bananes	41
<u>2.OBJET DU TRAVAIL</u>	43
<u>3. EXTRACTION DU JUS DE BANANES</u>	45
3.1. Collecte des échantillons de bananes	45
3.2. TRAITEMENT SUBI PAR LES ECHANTILLONS	45
3.2.1. Murissement	45
3.2.1.1. Dégradation de l'amidon	50
3.2.1.2. Evolution des sucres au cours du murissement	50
3.2.1.3. Discussion des résultats	51

3.2.2. La dégradation de l'amidon de la banane par les enzymes du malt	52
3.2.2.1. Préparation de l'extrait enzymatique du malt	52
3.2.3. Extraction du jus de bananes	53
3.2.3.1. Extraction mécanique du jus de bananes	54
3.2.3.2. Extraction enzymatique du jus de bananes	54
3.2.3.3. Extraction du jus par la chaux	55
3.2.3.4. Discussion des résultats	56
4. <u>ISOLEMENT ET ETUDES DES LEVURES</u>	77
4.1. ORIGINE DES SOUCHES	77
4.2. METHODE D'ISOLEMENT	77
4.3. COMPOSITION DU MILIEU DE CULTURE	77
4.4. PREPARATION DU MILIEU	78
4.5. POUVOIRS ALCOOGENES DE DIFFERENTES SOUCHES	78
4.5.1. Préparation de l'inoculum	78
4.5.2. Teneur en alcool de vin de bananes obtenu par fermentation du jus par différentes souches	83
4.5.3. Discussion des résultats	84
4.6. DETERMINATION DES CONDITIONS OPTIMALES DE DEVELOPPEMENT DES SOUCHES	85
4.6.1. Dosage des sucres	86
4.6.2. Evolution de l'alcool éthylique	86
4.6.3. Détermination de la densité	86
4.6.4. Détermination de l'acidité totale	86
4.6.5. Dosage de l'acidité volatile	86
4.6.6. Fermentation du jus extrait de la variété Intuntu par la souche GX4	87
4.6.6.1. Discussion des résultats	87
4.6.7. Fermentation à différentes températures du jus extrait de la variété Intuntu par la souche J2a	90
4.6.7.1. Discussion des résultats obtenus dans les essais de fermentation du jus de bananes de variété Intuntu par la souche J2a	90

4.6.8. Fermentation du jus extrait de la variété Kayinja à différentes températures par la souche C1	91
4.6.8.1. Discussion des résultats	92
4.6.9. Conclusion générale	121
4.7. EVOLUTION DES MATIERES AZOTEES AU COURS DE LA FERMENTATION DU JUS DE LA VARIETE KAYINJA FERMENTE PAR LA SOUCHE C1 ET CROISSANCE DE LA SOUCHE DANS LE MILIEU EN FERMENTATION	121
4.7.1. Evolution des matières azotées	121
4.7.1.1. Dosage de l'azote total	122
4.7.1.2. Dosage de l'azote ammoniacal et aminé	123
4.7.1.3. Dosage des acides aminés	123
4.7.1.4. Détermination de l'azote aminé	123
4.7.2. Croissance de la souche C1 dans le jus en fermentation	125
4.7.2.1. Méthode de dénombrement des cellules	125
4.7.2.2. Calcul du nombre de cellules	126
4.7.2.3. Résultat de l'étude de l'évolution des matières azotées au cours de fermentations réalisées à trois températures différentes, du jus de bananes de la variété Kayinja	128
4.7.2.4. Résultats de l'étude de la croissance de la souche de levure C1 au cours de fermentations réalisées à trois températures différentes sur un jus de bananes de variété Kayinja	128
4.7.3. Discussion des résultats	128
4.8. COMPORTEMENT DE 37 SOUCHES DE LEVURES DANS LE JUS DE BANANES, VARIETE INTUNTU, FERMENTE A 28°C AVEC OU SANS AJOUT DE FARINE DE SORGHO	145
4.8.1. Discussion des résultats	146
4.8.1.1. Quantité d'alcool formé et taux d'acidité volatile observé lors des fermentations menées avec 37 souches de levures sur un jus de bananes de la variété Intuntu avec ou sans ajout de farine de sorgho	153

4.8.1.2. Quantité d'alcool formé et teneur en sucres résiduels observée lors des fermentations menées avec 37 souches de levures sur un jus de bananes variété Intuntu avec ou sans ajout de farine de sorgho	153
4.8.1.3. Classement des 37 souches de levures en fonction de leur pouvoir fermentaire	153
4.8.2. Croissance des souches retenues ATCC, C3, GX2, GX3, GX6, J2a et J12b dans le jus de bananes de variété Intuntu fermenté à 28°C. Influence de la farine de sorgho sur la marche de la fermentation	155
4.8.2.1. Discussion des résultats	155
5. <u>FABRICATION DES BOISSONS NON ALCOOLISEES</u>	175
<u>A PARTIR DE LA BANANE</u>	
5.1. PROCEDE DE CONSERVATION DU JUS DE BANANES	175
5.1.1. Procédés chimiques	175
5.1.2. Procédés physiques	176
5.1.2.1. Pasteurisation	176
5.1.2.2. Stérilisation	176
5.1.2.3. Conservation par le froid	178
5.1.2.4. Conservation du jus par évaporation	178
5.2. LA PASTEURISATION DU JUS DE BANANES A L'OVIBAR	179
5.2.1. Fonctionnement de l'appareillage	179
5.2.2. Efficacité de la pasteurisation	179
5.2.3. Test de conservation du jus pasteurisé	182
5.2.4. Test de dégustation	188
5.3. FABRICATION DE JUS DILUE A PARTIR DU JUS DE BANANES (BANANA NECTAR)	188
5.3.1. Eléments de base	188
5.3.2. Procédé de fabrication	188
5.3.3. Dégustation au niveau de l'O.V.I.B.A.R.	188
5.3.4. Test d'acceptabilité de la boisson "Banana Nectar"	189
5.3.4.1. Comptoir de vente de l'O.V.I.B.A.R.	189
5.3.4.2. Bar témoin (Public)	189
5.3.4.3. Conditions dans lesquelles se sont déroulées les ventes	189
5.3.4.4. Suivi du test. Résultats des tests de la première dégustation et d'acceptabilité du "Banana Nectar"	191

5.3.4.5. Discussion des résultats	191
5.3.5. Recherche d'une formule de fabrication d'une boisson "Banana Nectar" répondant au goût des consommateurs	200
5.3.5.1. Préparation des échantillons	202
5.3.5.2. Déroulement de la dégustation	202
5.3.5.3. Résultats de la dégustation	202
6. <u>CONCLUSION ET DISCUSSION GÉNÉRALES</u>	205
7. <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	208

1. INTRODUCTION

1.1. VUE D'ENSEMBLE SUR LES PROBLEMES DE VALORISATION DE LA BANANE

La production bananière est l'une des plus importantes parmi les productions fruitières mondiales, et paradoxalement, les produits résultant de la transformation de la banane sont presque inexistantes sur le marché.

Par ailleurs, la quantité de bananes commercialisées sous forme de fruits est insignifiante par rapport à la quantité disponible. Ainsi un pourcentage très important reste invendu, suite à l'étroitesse du marché, aux exigences des pays importateurs (les fruits à exporter doivent répondre à certaines normes de qualité, de poids, de présentation etc...) (45,46).

La 7^e Session du Groupe Intergouvernementale sur la Banane qui s'est tenue à ROME du 5 au 9 Mai 1980 a évalué les perspectives à moyen terme de l'évolution du commerce de la banane pour une période de 5 ans, allant de 1980 à 1984 de la façon suivante :

1.1.1. Estimation de la quantité disponible pour l'exportation

(tableau 1).

1.1.1.1. Amérique Centrale

D'après les données dont on disposait au moment de la Conférence, cette région semblait entrer dans une nouvelle phase d'expansion de la production bananière.

Au Costa Rica, d'importants programmes de production étaient envisagés de façon telle que la superficie plantée de bananiers puisse être augmentée d'environ 7.600 hectares, ce qui conduirait à une augmentation des disponibilités exportables d'environ 30 % en 1980. Il a été estimé que de 1979 à 1985, une augmentation nette d'environ 50 % était réaliste.

Au Guatemala, un plan d'expansion d'environ 2.400 Ha était arrêté de 1979 à 1982, ce qui aurait comme effet de faire passer les disponibilités exportables de 270.000 tonnes à 400.000 tonnes au début de l'année 1980.

Quant au Panama, l'augmentation de superficie prévue est de 1000 hectares. Le Belize quant à lui projetait de tripler de 1979 à 1985 ses disponibilités exportables.

1.1.1.2. Amérique du Sud

En Equateur et en Colombie les programmes visent principalement à augmenter la production bananière destinée à l'exportation grâce à des gains de productivités plutôt qu'en augmentant les superficies plantées.

1.1.1.3. Les Caraïbes

Le programme vise à l'augmentation des rendements et à une certaine remise en état des plantations, ce qui permet d'estimer que les disponibilités exportables vers 1984/85 pourraient atteindre 140.000 tonnes de bananes par an en Jamaïque et dans les Iles du Vent.

Quant aux départements Français d'Outre-mer de la Guadeloupe et de la Martinique les disponibilités exportables sont estimées respectivement à 150.000 et à 250.000 tonnes.

1.1.1.4. Asie

Aux Philippines, le programme prévoit l'augmentation de la superficie plantée de 5.000 hectares, ce qui aurait comme conséquence d'augmenter de 200.00 tonnes les disponibilités exportables.

1.1.1.5. Afrique

En Côte d'Ivoire, un plan d'amélioration générale des techniques culturales et de modernisation des plantations a été arrêté il devra déboucher sur l'accroissement du rendement et sur une amélioration de la qualité du fruit ainsi que sur un accroissement des disponibilités exportables de l'ordre de 180-190.000 tonnes.

Au Cameroun, une légère extension des superficies est prévue de 4 à 500 hectares, mais une attention toute particulière sera accordée à l'augmentation des rendements par l'adoption de nouvelles méthodes culturales, ce qui permettra d'accroître la production exportable d'environ 30 à 40.000 tonnes par an dans les années 1984/85.

Enfin en Somalie, de grands efforts sont déployés pour augmenter la production bananière et l'on prévoit de faire passer les disponibilités à l'exportation à 100.000 - 115.000 tonnes dans les années 1984/1985.

Tableau 1 - Bananes: estimation des disponibilités exportables.

	Exportations 1978	Estimations des disponibilités exportables 1982	1984/85	Taux de croissance 1978 à 1984/ 85
	(.....Milliers de tonnes)			!(Pourcentage par an)
<u>Amérique centrale</u>	<u>2.815</u>	<u>3.190</u>	<u>3.545-3.820</u>	<u>3,3 - 3,9</u>
Bélize	15	40	45	17,0
Costa Rica	955	1.050	1.160-1.360	2,8 - 5,2
République	24	40	50	11,0
Guatemala	255	300	410	7,0
Honduras	800	950	1.050-1.100	4,0 - 4,6
Mexique	16	20	30	9,4
Nicaragua	130	140	140- 145	1,1 - 1,6
Panama	620	650	660- 680	0,9 - 1,5
<u>Amérique du Sud.</u>	<u>2.114</u>	<u>2.450</u>	<u>2.655-2.795</u>	<u>3,3 - 4,1</u>
Colombie	600	750	800-820	4,2 - 4,6
Equateur	1.363	1.500	1.600-1.700	2,3 - 3,2
Suriname	29	40	40- 50	4,7 - 8,1
Autres pays	122	160	215-225	8,5 - 9,1
<u>Caraïbes</u>	<u>580</u>	<u>440</u>	<u>680</u>	<u>2,3</u>
Jamaïque	78	100	140	8,7
Iles du Vent	126	110	140	1,5
Départements Français d'outre-mer:				
Guadeloupe	133	80	150	1,7
Martinique	243	150	250	0,4
<u>Asie</u>	<u>1.014</u>	<u>1.150</u>	<u>1.230-1.330</u>	<u>2,8 - 4,0</u>
Philippines	834	950	1.000-1.100	2,6 - 4,0
Autres pays	180	200	230	3,6
<u>Afrique</u>	<u>354</u>	<u>465</u>	<u>520-555</u>	<u>5,4 - 6,6</u>
Cameroun	83	115	120-130	5,4 - 6,6
Côte-d'Ivoire	140	160	180-190	3,6 - 4,4
Somalie	57	90	100-115	8,4 - 11,0
Autres pays	74	100	120	7,2
<u>Reste du monde</u>	<u>423</u>	<u>430</u>	<u>450</u>	<u>0,9</u>
TOTAL MONDIAL :	7.300	8.125	9.080-9.630	3,2 - 4,1

Tableau 2:- Bananes: Projections de la demande d'importation

	! Importation !	! Projection de la	! Taux de
	! 1978	! demande d'importation!	! croissance
		1982	1978 à 1984/85
	(...Milliers de tonnes)		!(Pourcentage
			par an)
PAYS DEVELOPPES	! <u>6.370</u>	! <u>7.076</u>	7.470 ! <u>2,3</u>
<u>Economies de</u>			
<u>marché</u>	! <u>6.053</u>	! <u>6.456</u>	<u>6.760</u> ! <u>1,6</u>
<u>Europe Occidentale</u>	<u>2.935</u>	<u>3.115</u>	<u>3.248</u> ! <u>1,5</u>
<u>CEE</u>	! <u>2.079</u>	! <u>2.170</u>	<u>2.238</u> ! <u>1,1</u>
Belgique-Luxembourg	95	100	103 ! 1,2
Danemark	! 38	! 40	42 ! 1,4
France	! 500	! 518	532 ! 0,9
République	!	!	!
Féd. d'Allemagne	! 617	! 632	640 ! 0,5
Irlande	! 40	! 45	47 ! 2,3
Italie	! 346	! 373	394 ! 1,9
Pays-Bas	! 132	! 142	152 ! 2,0
Royaume-Uni	! 311	! 320	338 ! 1,2
<u>Autres pays</u>	!	!	!
<u>d'Europe</u>	!	!	!
<u>Occidentale</u>	! <u>856</u>	! <u>945</u>	<u>1.000</u> ! <u>2,3</u>
Canada	! 236	! 257	274 ! 2,2
Etats-Unies	! 2.037	! 2.188	2.306 ! 1,8
Japon	! 804	! 852	885 ! 1,4
Nouvelle-Zélande	! 40	! 44	47 ! 2,3
<u>Europe Orientale</u>	!	!	!
<u>et URSS.</u>	! <u>317</u>	! <u>620</u>	<u>710</u> ! <u>12,2</u>
Tchécoslovaquie	! 72	! 90	115 ! 6,9
Rép.dém.allemande	! 120	! 140	155 ! 3,7
URSS	! 55	! 260	270 ! 25,7
Autres pays	! 70	! 130	170 ! 13,5
PAYS EN DEVELOPPEMENT	<u>565</u>	<u>751</u>	<u>860</u> ! <u>6,2</u>
<u>Economies de marché.</u>	<u>565</u>	<u>751</u>	<u>860</u> ! <u>6,2</u>
<u>Amérique du Sud.</u>	! <u>168</u>	! <u>189</u>	<u>207</u> ! <u>3,0</u>
Argentine	! 110	! 124	135 ! 3,0
Chili	! 53	! 59	65 ! 2,9
Autres pays	! 5	! 6	7 ! 4,0
<u>Asie</u>	! <u>312</u>	! <u>431</u>	<u>503</u> ! <u>7,1</u>
Iran	! 100	! 124	144 ! 5,3
Arabie Saoudite	! 65	! 80	100 ! 6,4
Syrie	! 50	! 62	79 ! 6,8
Autres pays	! 97	! 165	180 ! 9,3
<u>Afrique</u>	! <u>85</u>	! <u>131</u>	<u>150</u> ! <u>8,4</u>
Algérie	! 23	! 29	34 ! 5,2
Libye	! 25	! 35	40 ! 6,9
Autres pays	! 37	! 67	76 ! 10,8
<u>TOTAL MONDIAL</u>	: <u>6.934</u>	<u>7.827</u>	<u>8.330</u> <u>2,7</u>

1.1.2. Confrontation des disponibilités exportables aux projections de la demande d'importation (Tableaux 2 et 3).

Le tableau 3 donne une comparaison des projections des disponibilités exportables vers 1984/85 avec les estimations de la demande d'importation en 1985 ; ce tableau fait ressortir un excédent d'offre sur la demande de 750.000 à 1.300.000 tonnes de bananes. Le chiffre excédentaire de 750.000 tonnes exercerait déjà une pression à la baisse sur les prix, mais le chiffre maximum de 1.300.000 tonnes aurait une influence extrêmement déprimante sur le marché.

Par ailleurs, par une analyse de l'économie bananière mondiale, à côté des problèmes du manque de débouchés d'écoulement, il a été constaté que les pays exportateurs de la banane doivent faire face actuellement à la pression constante à la hausse qui s'exerce sur les coûts de production alors qu'aucune augmentation garantie des prix reçus pour les bananes, ne vient compenser les effets de cette pression.

Face à ces problèmes d'excédent et de hausse ininterrompue du coût de production due surtout à la hausse rapide du coût du fret maritime, du coût des engrais, des matériaux d'emballage, de la main d'oeuvre et d'autres facteurs de production, les pays exportateurs de bananes trouvent la situation particulièrement grave surtout pour ceux dont l'économie dépend de l'exportation des bananes. Ils ont demandé aux pays industrialisés, qui sont en fait les seuls importateurs de bananes, d'examiner les possibilités d'écoulement des excédents d'offres sur les demandes.

Ils considèrent que les efforts internationaux devront surtout viser à l'accroissement de la consommation, la réduction graduelle ou l'abolition des barrières tarifaires et non tarifaires sur le marché des pays développés et la mise sur pied des programmes de recherche et de développement afin de mettre au point de nouveaux produits à base de banane pour la consommation humaine et animale et ainsi créer de nouveaux débouchés pour ce fruit.

Quant aux pays consommateurs (pays industrialisés) il leur est difficile d'augmenter la consommation par habitant, car le marché de la plupart des pays importateurs est presque saturé et le problème de développement de nouveaux marchés, là où la consommation par habitant est insuffisante, s'avère extrêmement complexe. Donc la solution de ce problème n'est pas pour l'immédiat.

Ainsi, compte tenu de l'orientation générale du marché de la banane caractérisée par une baisse des prix réels à l'exportation, par

Tableau n° 3 Bananes : Confrontation des projections de la demande d'importation et des estimations des quantités exportables 1982 et 1984/85

	Estimations des quantités exportables		Projection de la demande d'importation	
	1982	1984/85	1982	1984/85
	(... Milliers de tonnes)		(... Milliers de tonnes ...)	
1				
1. Amérique centrale	3.190	3.545-3.820	3.115	3.248
2. Amérique du Sud	2.450	2.655-2.795	2.170	2.248
3. Caraïbes	440	680	945	1.000
4. Asie	1.150	1.230-1.330	620	710
5. Afrique	465	520- 555	2.445	2.580
6. Reste du monde	430	450	189	207
			852	885
			431	503
			44	47
			131	150
TOTAL MONDIAL	8.125	9.080-9.630	7.027	8.330

une hausse ininterrompue des coûts de production et par des excédents de plus en plus importants pour lesquels il devient difficile de trouver de nouveaux marchés d'écoulement, les pays producteurs de ce fruit devraient reconsidérer la façon de son exploitation et envisager la mise au point de nouveaux produits industriels dérivés de la banane, susceptibles d'être facilement exportés et consommés localement.(38).

1.2. HISTORIQUE DE LA VALORISATION DE LA BANANE AU RWANDA

L'idée de la transformation industrielle de la banane au Rwanda date déjà des années 50 où certaines personnalités tant publiques que privées ont commencé à manifester un certain intérêt à la valorisation des bananes au Rwanda.

En 1962, le Gouvernement Rwandais s'est montré intéressé par un procédé mécanique d'extraction du jus de bananes mis au point par Jacques DE SAN, ancien administrateur au Rwanda avant l'indépendance. Il fut exigé qu'avant toute négociation d'achat de ce procédé, une démonstration soit faite, ce qui fut réalisé le 28 mai 1962 devant une délégation officielle. Les résultats qualifiés de concluants furent consignés dans un procès verbal et déterminèrent le Gouvernement Rwandais à acheter à DE SAN le dit procédé en lui versant une première tranche du montant convenu. Depuis lors, l'intéressé est en Belgique; on ne parla plus de son procédé jusqu'en mai 1974.

L'étude de la valorisation de la banane a été confiée tour à tour à l'Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda, à une équipe Chinoise de FORMOSE, à la BRALIRWA (Brasserie et Limonaderie du Rwanda), au Bureau d'Etudes INDACOM, à certains pays dans le cadre de la coopération bilatérale et pour finir à la Faculté d'Agronomie de Gembloux.

Constatant que toutes les études effectuées n'avaient abouti à aucune réalisation concrète, les autorités Rwandaises décident en 1974, de prendre le projet en main et de recontacter Jean DE SAN à qui une certaine somme d'argent pour l'achat de son procédé avait été versée en 1962.

Ainsi, le dossier est repris sur la base du procédé de DE SAN et après avoir conclu un accord avec ce dernier, le Gouvernement Rwandais décide la mise en route des travaux de construction d'une usine dans les meilleurs délais ; vers la fin du mois de janvier 1975, le projet démarre effectivement.

Parallèlement aux travaux de construction de l'usine, le Gouver-

nement Rwandais met sur pied au sein de l'Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda un laboratoire chargé des études préliminaires pour mettre au point un procédé de rechange d'extraction du jus de bananes et de sélection des souches de levures capables de fermenter efficacement le jus.

Au mois de Mars 1977, les travaux de construction de l'usine sont terminés. L'installation et les essais des machines suivent immédiatement. A cette époque, fut créé l'Office de Valorisation Industrielle des Bananeraies du Rwanda (O.V.I.B.A.R.).

Soucieux de mettre tout d'abord sur le marché national du jus et du vin de meilleure qualité, ensuite des produits dérivés tels que les pâtisseries de bananes, la confiture de bananes, la liqueur de bananes, l'O.V.I.B.A.R. décide d'établir des plans d'action qui se fixent comme objectif la planification des travaux de recherches à mener, la coordination et les contrôles de toutes les activités de l'Office afin d'utiliser le plus rationnellement possible les ressources humaines, matérielles et financières mises à sa disposition. Les résultats déjà obtenus sont encourageants. En effet, grâce à l'intensification des travaux de recherches au niveau du laboratoire, l'Office a réussi à :

1. Produire des vins doux et demi-secs qui rencontrent le goût des consommateurs.
2. Mettre au point un système de mûrissement de bananes permettant une extraction facile du jus et une amélioration du taux de rendement à l'extraction.
3. Améliorer le procédé d'extraction initialement utilisé par la combinaison du procédé d'extraction mécanique avec celui d'extraction enzymatique. Cette méthode, en améliorant le taux du rendement d'extraction, a facilité la filtration du jus et du vin, éliminant ainsi les troubles colloïdaux qui altéraient le jus après quelques jours d'entreposage.

1.3. IMPORTANCE DE LA BANANE DANS LA CULTURE VIVRIERE RWANDAISE

(Tableaux 4,5,6,7 et 8).

Au Rwanda, de part sa superficie, la bananeraie occupe 20,37 % de la surface cultivée et produit annuellement 2.022.992 tonnes de bananes, soit 50 % de toute la production vivrière du pays. Elle est dispersée sur les collines et les plateaux, mais de grandes zones de production bananière se trouvent localisées au Sud-Est, au Nord-Ouest et au Sud-Ouest du pays. L'augmentation des surfaces plantées est actuellement évaluée à 6 - 7 %, tandis que celle de la production est estimée à 4 %.(55).

Tableau N° 4

REPARTITION DE LA PRODUCTION BANANIERE
PAR PREFECTURE.

<u>PREFECTURE</u>	<u>SUPERFICIE BANANERAIE</u> Ha	<u>RENDEMENT MOYEN</u> T/Ha	<u>PRODUCTION</u>
KIBUNGO	34.612	11,406	394.788
KIGALI	36.366	9,487	394.788
GISENYI	17.379	10.764	187.072
CYANGUGU	17.582	12,259	215.545
BUTARE	19.703	11,079	218.281
GITARAMA	20.608	9,364	192.977
RUHENGERI	12.556	7,671	96.317
BYUMBA	17.488	9,900	172.741
KIBUYE	15.133	9.721	147.112
GIKONGORO	6.630	8,016	53.149
TOTAUX	198.057 =====		2.022.992 =====

Tableau n° 5

RENDEMENTS MOYENS DES CULTURES VIVRIERES PAR PREFECTURE (kg/ha)

Cultures	KIGALI	GITARAMA	BUTARE	GIKONGORO	CYANGUGU	KIBUYE	GISENYI	RUHENGERTI	BYURABA	KIBUNGO
1. Bananes	9.487	9.364	11.079	8.016	12.259	9.721	10.764	7.671	9.900	11.406
2. Haricots	733	718	679	712	808	789	779	783	801	783
3. Pois	702	522	613	581	728	712	703	684	729	664
4. Arachides	931	718	848	544	874	814	786	-	911	987
5. Soja	781	714	747	656	828	681	791	789	830	823
6. Sorgho	983	1.000	1.323	795	1.141	1.108	1.263	1.263	1.114	1.150
7. Maïs	882	837	1.021	999	1.067	1.157	1.289	1.109	1.999	1.132
8. Eleusine	641	550	550	558	619	518	587	434	721	-
9. Froment	750	-	-	767	600	750	719	728	862	-
10. Riz	2.085	-	2.598	-	3.718	-	-	-	-	-
11. Patates douces	7.876	8.293	10.565	7.686	8.861	7.693	3.115	6.558	6.985	8.350
12. Pommes de terre	6.818	4.572	4.987	5.239	6.307	8.852	7.737	7.891	7.930	4.928
13. Manioc	11.450	11.562	13.712	9.553	14.718	13.201	12.542	7.671	12.351	14.395
14. Colocases	5.442	3.064	4.203	3.885	3.464	4.218	4.841	8.955	5.993	4.947
15. Ignames	5.720	4.318	4.980	4.515	4.038	5.563	6.563	6.188	-	-
16. Légumes	1.016	3.512	1.416	2.065	1.911	1.912	14.470	6.004	12.661	13.368
17. Fruits	12.905	11.458	17.251	13.641	12.849	12.849	5.757	10.001	13.891	15.738

Tableau n° 6
SUPERFICIE DES CULTURES VIVRIERES PAR PREFECTURE (ha)

Cultures	RÉGION DE KATANGA																TOTAL
	KIGALI	GITARAMA	BUTARE	GITONGOROI	CYANGURU	KIBUYE	GISENYI	RUHENGERI	BYumba	KIBUNGI	TOTAL						
1. Bananes	56.366	20.608	19.703	6.630	17.582	15.133	17.379	12.556	17.488	34.612	198.057						
2. Haricots	33.589	23.691	23.824	17.656	19.771	14.615	19.273	29.524	32.787	23.468	238.198						
3. Pois	3.056	755	240	3.627	2.742	5.033	10.046	10.573	11.332	4.022	56.426						
4. Arachides	3.582	923	1.416	79	374	97	192	-	1.375	8.760	16.426						
5. Soja	1.793	945	434	369	580	562	311	19	94	62	5.169						
6. Sorgho	25.888	11.064	25.129	15.213	3.207	7.029	9.223	16.100	20.963	13.602	147.418						
7. Maïs	8.471	3.600	2.531	6.679	7.903	5.217	11.564	13.515	10.517	7.942	77.759						
8. Flousine	195	100	2	2.291	323	131	46	83	104	-	3.875						
9. Froment	4	-	-	1.630	1	56	160	1.024	276	-	3.951						
10. Riz	503	-	364	-	412	-	-	-	-	-	-						
11. Patates douces	13.013	12.375	14.534	11.729	6.859	7.409	10.531	8.832	13.232	7.364	105.878						
12. Pommes de terre	550	499	318	5.433	547	2.920	7.205	8.833	2.355	1.146	29.755						
13. Manioc	11.197	5.043	5.232	2.352	2.963	2.798	2.805	132	1.575	5.334	39.931						
14. Colocases	419	233	344	749	537	353	320	517	142	190	3.354						
15. Ignames	50	132	102	130	68	112	71	-	-	-	-						
16. Légumes	261	203	334	291	86	137	614	216	204	250	2.646						
17. Fruits	106	430	477	78	95	146	33	963	64	134	2.526						
TOTAL	1139.043	30.601	94.804	79.536	64.050	62.398	89.773	103.687	112.508	107.336	934.136						

PRODUCTION VIVRIERE PAR PREFECTURE (EN TONNES)
 Tableau N° 7

Produits	KIGALI	GITARAMA	BYTARE	GIKONGORO	CYANGUGU	KIBUYE	GISENYI	RUHINGELI	BYURUA	BYURUBA	TOTAUX
1. Bananes	1345.010	1192.977	213.231	53.149	215.545	1147.112	187.072	96.317	172.741	594.788	12022992
2. Haricots	24.621	17.003	16.188	12.568	15.973	11.532	15.022	23.112	26.260	18.381	180.506
3. Pois	2.146	394	147	5.011	1.995	3.583	7.064	7.235	8.259	2.672	38.506
4. Arachides	3.345	653	1.201	43	327	79	151	-	1.253	8.646	15.708
5. Soja	1.401	675	324	242	480	383	246	15	78	51	3.895
6. Sorgho	25.440	11.147	33.253	12.101	3.658	7.735	11.649	18.465	23.363	15.641	162.502
7. Fais	7.473	3.012	2.401	6.605	8.432	6.035	14.903	14.990	10.506	8.991	83.348
8. Eleusine	125	55	1	1.272	200	379	27	36	75	-	2.976
9. Froment	3	-	-	1.250	1	42	115	1.327	238	-	3.494
10. Riz	1.049	-	913	-	1.532	-	-	-	-	-	-
11. Patates douces	102.488	102.622	153.552	90.150	60.778	56.994	85.461	57.919	92.421	65.173	867.558
12. Pommes de terre	3.750	2.053	1.586	28.466	3.450	25.849	55.743	69.387	18.675	5.648	214.917
13. Manioc	123.211	58.306	71.745	22.468	43.609	35.936	35.181	1.182	172.741	83.983	654.360
14. Colocases	2.230	867	1.446	2.910	1.860	1.439	1.549	3.199	20.241	340	36.782
15. Ignames	236	70	508	587	278	466	466	-	851	-	4.222
16. Légumes	2.266	713	5.013	6.010	-	3.575	8.384	1.297	2.533	3.342	33.681
17. Fruits	1.363	4.927	8.229	1.064	-	1.376	190	964	389	2.109	21.616
TOTAUX	1651.262	1395.984	514.736	245.902	358.118	1504.326	423.723	295.755	441.174	1610.365	1434931

Tableau n° 3

PRODUCTIONS VIVRIÈRES DE 1975 A 1979

Produits agricoles	1975		1976		1977		1978		1979						
	Ha	T/Ha	Ha	T/Ha	Ha	T/Ha	Ha	T/Ha	Ha	T/Ha					
1. Bananes	150.358	9,11	1734070	200261	9,09	1820153	203.187	9,10	1895253	202053	9,56	1931712	198053	10	2022992
2. Haricots	190.600	0,80	152.744	202830	0,80	163.401	213.276	0,80	171.590	214939	0,79	1700231	238198	10,81	180.660
3. Pois	71.703	0,80	57.419	71.069	0,30	57.024	69.354	0,80	355.614	64.934	0,77	150.241	156.426	0,71	38.306
4. Arachides	14.500	0,96	13.318	14.517	0,92	13.318	15.813	0,95	15.055	15.373	0,91	14.283	16.798	0,91	13.708
5. Soja	3.298	0,32	2.701	4.443	0,34	3.721	5.740	0,78	4.503	3.572	0,30	2.928	3.169	0,81	3.395
6. Sorgho	132.732	1,08	144.321	113.222	1,11	154.837	145.348	1,12	163.770	152039	1,13	132933	147413	1,11	162.302
7. Maïs	62.745	1,07	67.457	65.407	1,03	70.627	70.036	1,10	7.166	67.474	1,12	75.635	77.739	1,11	83.113
8. Blé dur	4.317	0,56	2.728	4.963	0,57	2.852	5.176	0,60	3.114	4.533	0,61	2.828	3.875	0,61	2.176
9. Froment	2.737	0,84	2.303	3.602	0,83	3.008	4.313	0,85	3.692	5.238	0,59	3.557	3.951	0,81	2.975
10. Riz	1.042	2,48	2.583	1.070	2,49	2.568	1.235	2,64	3.265	1.311	2,51	3.288	1.279	2,71	2.494
11. Patates douces	86.992	7,75	1847.537	89.675	8,30	1694.372	91.786	7,65	702.410	95.603	8,03	1772.944	1105.878	8,21	1867.558
12. Pommes de terre	22.576	5,60	149.745	25.708	6,50	1169.766	26.806	6,50	177.210	32.169	5,80	218.703	29.756	7,21	214.917
13. Manioc	32.034	12,31	394.460	3.682	12,00	415.411	17.082	12,00	444.326	39.874	4,00	373.044	39.932	16	1634.360
14. Colocases	5.183	3,44	17.852	4.808	3,42	16.444	5.456	3,40	18.585	5.090	3,51	18.202	3.354	9,51	36.781
15. Ignames	1.075	5,62	6.049	1.017	5,52	5.622	1.034	5,40	5.391	1.012	5,49	5.396	665	6,41	4.222
16. Légumes	1.965	7,00	13.732	1.806	11,50	20.964	2.572	10,90	28.043	2.529	10,32	26.116	2.546	12,71	33.633
17. Fruits	743	13,50	10.030	683	14,80	10.130	755	16,16	12.209	1.044	14,16	12.473	2.526	8,51	21.616
TOTAUX	825.413	-	3460643	1865.017	-	3642174	1904.303	-	3812560	919106	-	3861606	1934.189	-	14349395

L'implantation du bananier au Rwanda remonte au temps des peuplades primitives nomades, et sa dissémination dans toutes les régions intertropicales, spécialement au Rwanda doit être recherchée dans le système social des habitants de ces régions. En effet, en ce qui concerne le Rwanda, la bananeraie représente pour le paysan une richesse sûre, matérialisée par la valeur du vin de bananes qui est à la fois consommé par la famille, offert aux amis, paie le travail fourni et lui procure des revenus par la commercialisation d'une partie de ce vin. Par ailleurs, la bananeraie fournit également des fruits à cuire et ainsi assure le paysan contre la famine. Il convient de préciser que 95 % des cultivars Rwandais servent essentiellement à la fabrication familiale du vin de bananes appelé URWAGWA.(2).

Le tableau n° 4 donne une répartition de la production bananière par Préfecture (Rapport 1979 du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage)(55).

1.4. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES DE BASE

1.4.1. Origine et classification du bananier

Dans son article "Eloge de la Banane" (Reader's Digest n° 1 de Janvier 1982), BETH DAY nous apprend que l'existence de la banane remonte aux temps préhistoriques. Il précise entre autre : "Dès l'an 327 avant JESUS-CHRIST, ALEXANDRE LE GRAND constate qu'on la cultivait dans la vallée de l'Indus. PLINE l'Ancien (23-79 de notre ère), l'un des premiers à avoir décrit le bananier, nous apprend que les sages Indiens discutaient philosophie à l'ombre de ses feuilles, et ne se nourrissaient que de ses fruits ; peut-être est-ce pour cela qu'au XVIIIe siècle le botaniste LINNE a classé le bananier sous le nom de Musa sapientum.

Le bananier originaire de l'Asie aurait été introduit en Afrique au XIIe siècle par des marchands Arabes.

Selon CHAMPION (1), les bananiers sont des plantes monocotylédones, se répartissant en deux genres, Musa, et Ensete. Les plantes du genre Ensete sont actuellement exploitées comme légumes et pour leurs fibres, et présentent peu d'intérêt comme matières premières d'une industrie de transformation(47).

Par contre, le genre Musa est considéré comme le plus important et le plus riche en espèces fruitières ; Musa acuminata colla et Musa balbiana colla seraient à l'origine de tous les cultivars actuellement

exploités pour leurs fruits. CHAMPION (2) range les bananiers du Rwanda dans l'espèce Musa acuminata.

1.4.2. Produits à base de bananes

Actuellement, la banane est commercialisée sous forme de fruits que l'on mange mûrs ou crus. Les travaux qui lui ont été consacrés concernent surtout les conditions de maturation, de conservation au cours des transports maritimes et les méthodes culturales. Peu de travaux concernent la transformation de la banane, excepté ceux portant sur la fabrication de bananes figues, de cossettes de bananes, de farine de bananes et des chips. Les techniques de fabrication de ces derniers n'ont pas pu être améliorées suite à l'étroitesse du marché local et au peu d'intérêt que présentent ces produits sur le Marché International. Quelques informations sur leur fabrication ont été publiées par plusieurs auteurs, dont L. HAENDLER (3), qui subdivise les produits de la transformation de la banane en 3 catégories (37) :

1.4.2.1. Produits ayant acquis ou susceptibles d'acquérir une certaine importance économique

1.4.2.1.1. Banane figue

C'est un produit réalisé par séchage de la banane mûre. Il semblerait que la fabrication de ce produit rencontre de sérieuses difficultés d'écoulement sur le marché intérieur des pays producteurs de bananes à cause des disponibilités en fruits frais et des coûts de production élevés. Tandis que le Marché International serait très restreint et peu rémunérateur.

1.4.2.1.2. Crème, Pâte, Pulpe, Purée, Compote Marmelade

Ces produits sont fabriqués à partir de la pulpe broyée de bananes mûres et mis en conserve suivant les procédés appropriés à chaque produit.

Les pays producteurs de bananes devant importer tout le matériel de fabrication et de conditionnement des produits, le surcoût nécessité par les emballages métalliques ou pots en verre rend difficile l'écoulement de ces produits sur le marché intérieur par suite du faible pouvoir d'achat de la population.

Sur le plan extérieur, il semble que des marchés importants et réguliers ne se soient pas actuellement développés, malgré de nombreuses tentatives faites par les différents pays qui espéraient, par la fabrication de ces produits, récupérer des fruits non exportables (défaut de poids, peau endommagée). L'Office de Valorisation de la Banane au Rwanda a mis au point un procédé de fabrication de la confiture de bananes qui est appréciée par les consommateurs nationaux.

1.4.2.1.3. Farine de bananes

Ce produit est obtenu par séchage, suivi de broyage de la pulpe de bananes vertes qui pourrait être facilement utilisée en confiserie, en biscuiterie et en pâtisserie. Suivant le procédé que nous avons mis au point à l'O.V.I.B.A.R., la farine de banane est introduite dans le pain en substitution de la farine de froment à raison de 20 %. Dans les pâtisseries, elle peut la remplacer jusqu'à 50 %.

1.4.2.1.4. Flocons ou flakes

On désigne sous ces noms les produits obtenus par déshydratation de la pulpe de bananes mûres. Ce type de produit est utilisé pour la fabrication d'aliments infantiles. L'apport protéique à ce produit pourrait présenter un intérêt certain.

1.4.2.2. Produits d'importance économique faible ou peu étudiés au point de vue des débouchés

1.4.2.2.1. Chips

C'est un produit obtenu par friture de rondelles de bananes vertes. Ce genre de produit est actuellement fabriqué dans certains pays d'Amérique Latine et des Caraïbes pour la consommation locale et quelques exportations vers les U.S.A..

1.4.2.2.2. Amidon

Généralement, une banane qui a atteint une pleine maturité physiologique renferme un taux d'amidon de l'ordre de 20 à 21 %. La banane déshydratée contient environ 80 % d'amidon qui peut être extrait pour divers usages. (36).

1.4.2.2.3. Production de fibres

L'artisanat rwandais utilise déjà des hampes et des gaines de faux-troncs pour l'extraction des fibres utilisés ensuite pour la fabrication d'objets d'arts.

1.4.2.3. Produits potentiels

Dans une monographie, DE SAN (4) signalait en 1961 qu'avec la banane, il est possible de fabriquer une série de produits inexistant sur les marchés mondiaux, entre autres :

1.4.2.3.1. Jus de bananes

Extrait de la banane mûre, le jus de bananes présente des qualités nutritives très appréciables et peut avantageusement remplacer les limonades et autres boissons non alcoolisées. Il peut également servir de support à des essences naturelles d'orange, et de citron.(26).

1.4.2.3.2. Jus de bananes concentré

L'eau contenue dans le jus de bananes peut être éliminée par évaporation pour fournir un produit sous forme de concentré. Au moment de la consommation, le jus peut être reconstitué par l'adjonction d'eau. L'avantage d'un tel concentré serait la réduction du prix de transport suite au volume du produit considérablement réduit, surtout en ce qui concerne l'exportation, car le produit peut voyager en petit volume et sans risque de fermentation puisqu'il est rendu infermentescible par sa concentration élevée en sucres.

1.4.2.3.3. Sirop de jus de bananes

Ce produit peut être obtenu par simple évaporation du jus de bananes.

1.4.2.3.4. Jus de bananes gazéifié

Ce type de boisson serait très apprécié surtout dans les pays à climat chaud par son caractère rafraîchissant.

1.4.2.3.5. Le nectar de bananes ou jus dilué

Le jus de bananes contient au minimum 20 % de sucres, ce qui permet d'obtenir par dilution des boissons désaltérantes et agréables.

1.4.2.3.6. Le vin de bananes

La fermentation rationnelle du jus de bananes donne un vin blanc titrant entre 10 et 12 degrés d'alcool, de très bonne qualité et capable de se substituer aux vins, que les pays producteurs de bananes importent de l'étranger.

1.4.2.3.7. Vin mousseux

Par la gazéification du vin de bananes ou par la refermentation, du vin de bananes dans lequel on a ajouté une certaine quantité de sirop de bananes, dans des cuves hermétiquement fermées, on obtient du vin mousseux.

1.4.2.3.8. Vinaigre

L'acétification du vin de bananes produit du vinaigre qui peut se substituer à celui que les pays producteurs de bananes importent de l'étranger (27).

1.4.2.3.9. Liqueurs de luxe obtenues à partir de la banane

A partir du vin, on obtient par distillation un alcool pur auquel on ajoute des essences extraites de la banane pour

obtenir des liqueurs (48).

1.4.2.3.10. Arômes

A partir de la banane mûre, on peut extraire des arômes naturels, susceptibles de remplacer avantageusement les arômes synthétiques que l'on trouve actuellement sur le marché (42).

D'autre part, les essais de méthanisation effectués sur les déchets de bananes montrent que la production du biogaz est possible à partir des déchets de traitement de bananes.

Le processus de la fabrication du biogaz consiste essentiellement à faire digérer par des microorganismes anaérobies des déchets organiques.

Depuis quelques temps, les techniques de production du biogaz attirent de plus en plus l'attention dans le monde entier du fait des avantages qu'offre l'emploi des déchets animaux et agricoles dans la recherche de nouvelles sources d'énergie. Grâce à l'utilisation du biogaz provenant des déchets des industries agricoles, il est possible d'avoir du combustible pour usage domestique, de l'énergie pour certaines opérations au sein même de ces industries, du fumier organique pour l'amendement des champs et de l'électricité pour des petites unités de production isolées. Plusieurs études faites dans les pays développés ou en voie de développement soulignent la simplicité de construction des unités de production du biogaz.

La concentration des déchets dans les industries de traitement de bananes permet d'envisager la production importante du gaz méthane à partir de ces déchets.

A titre d'exemple, à l'O.V.I.B.A.R., 4 tonnes de bananes produisent 2,6 tonnes de déchets fermentescibles dont la teneur en matières sèches globale est de l'ordre de 30 à 35 %, soit une tonne de matières sèches (d'après les analyses effectuées au laboratoire du Génie Biochimique de l'Université de Louvain-La-Neuve par l'Association Internationale du Développement Rural).

Les rendements en fermenteur sont estimés actuellement à 200 m^3 de biogaz par tonne de matières sèches.

Comme l'O.V.I.B.A.R. envisage actuellement de restructurer l'usine en fonction afin de passer de 8 tonnes de bananes traitées journalièrement à 28 tonnes de bananes par jour, les déchets disponibles sont estimés à : $2,6 \times 28 / 4 = 18,2$ tonnes de déchets par jour, ce qui correspondrait à $18,2 \times 0,3 = 5,46$ tonnes de matières sèches ou $200 \text{ m}^3 \times 5,46 = 1.092 \text{ m}^3$ de biogaz.

1.5. PREPARATION DES BOISSONS FERMENTEES AU RWANDA

Depuis des milliers d'années, l'homme a su exploiter empiriquement des microorganismes pour obtenir des aliments, des boissons ou des produits qui l'aidaient à améliorer ses conditions de vie. La fabrication de boissons fermentées fut certainement la première découverte de l'homme dans son histoire d'exploitation des potentialités des microorganismes (5). Déjà, il y a 5.000 ans, sous SUMER, on brassait déjà de la bière. Deux cent cinquante ans avant JESUS-CHRIST, l'Empereur de Chine fit mettre en chantier les premières fabriques de choucroute pour nourrir les centaines de milliers d'hommes attachés à l'édification de la Grande Muraille de Chine. Ces processus étaient conduits empiriquement sans même soupçonner l'activité des microorganismes, car l'origine de ces phénomènes était attribuée à un fait surnaturel. A la suite des expériences s'étalant sur plusieurs années, l'homme parvint à maîtriser et à domestiquer ces phénomènes(3). Ainsi, au Rwanda, à l'échelle familiale, sont fabriquées depuis plusieurs milliers d'années des boissons fermentées à base de sorgho, de bananes et de miel.

1.5.1. Boisson préparée à base de jus de bananes au Rwanda (Vin de bananes) (43).

La bananeraie rwandaise est constituée à peu près à 95 % de variétés de bananes dites à vin, utilisées à la fabrication à l'échelle familiale des boissons fermentées (vin de bananes).

1.5.1.1. Récolte et mûrissage des fruits

Les régimes sont récoltés après avoir atteint une pleine maturité physiologique et sont soumis à une maturation forcée dans un trou creusé dans la terre et préalablement chauffé avant la réception des fruits. Cette opération s'effectue de la façon suivante :

On creuse un trou dans la terre au fond duquel on allume un feu au moyen de feuilles sèches de bananiers. Ensuite, les cendres chaudes sont couvertes de feuilles de bananiers vertes sur lesquelles les bananes détachées des régimes sont déposées. Après avoir été soigneusement entassés sur ces feuilles, les fruits sont recouverts d'autres feuilles, de morceaux de faux-troncs et de terre. Ainsi, les conditions de température et d'humidité nécessaires pour déclencher les processus biochimiques de mûrissement sont réalisées. Après 5 jours, on

débouche le trou et retire les bananes mûres.

1.5.1.2. Epluchage des bananes mûres et extraction du jus

L'épluchage se fait à la main. La pulpe de bananes est déposée dans une cuve en bois "Umuvure" où elle est malaxée avec des herbes pour faciliter l'extraction du jus. (Normalement, "Ishinge" ou "Agrostis" est utilisé dans cette opérations). Lorsque le malaxage est réussi (il arrive souvent que cette opération rate et que l'on jette le contenu de la cuve), on y ajoute de l'eau pour avoir une plus grande quantité de jus. La quantité d'eau à ajouter est déterminée par la qualité de boisson que l'on souhaite obtenir à la fin de la fermentation.

Ainsi, la qualité et la teneur en alcool du vin de bananes varient souvent avec le rang social du consommateur ou l'abondance des matières premières. Après le malaxage, l'extrait total est filtré à travers un entonnoir "Umubilikira" et est mis en fermentation.

1.5.1.3. Fermentation

Dans une cruche bien nettoyée, on verse le jus extrait jusqu'à environ 10 cm du bord. Ensuite, une couche de farine de sorgho est disposée sur la surface du liquide. Le récipient est fermé au moyen de feuilles de bananiers et placé dans un endroit chaud et "thermiquement isolé" à l'aide de feuilles sèches de bananiers "Amashara". Après 24 heures, le liquide atteint une température favorable au développement des levures ; la fermentation est achevée pratiquement après 48 heures. Dans l'idée du paysan, la farine de sorgho que l'on ajoute au fruit est considérée comme ferment alors qu'en réalité, la farine de sorgho sert de nutriment aux levures, et contribue peut-être à l'inhibition du développement des microorganismes nuisibles à la fermentatin alcoolique normale. En effet, sans cet ajout de farine de sorgho, le paysan rencontre des difficultés au niveau de la fermentation. Une fermentation acétique se développe à côté de la fermentation alcoolique et bloque cette dernière.

1.5.1.4. Catégories de vins de bananes fabriqués au Rwanda

Suivant la disponibilité des matières premières et selon le rang social, les fabricants traditionnels de vin de bananes produi-

sent trois types :

La première catégorie concerne les vins fabriqués à base de jus pur non dilué. Ce type de vin est surtout fabriqué dans la région de BUGOYI, Préfecture de GISENYI, l'une des régions de plus forte production bananière du pays où il porte le nom de "BUTUNDA". Il est très apprécié et est considéré comme une boisson de luxe et de ce fait coûte assez cher. Son degré d'alcool varie entre 9 et 10 % suivant les fabricants.

La deuxième catégorie se rapporte aux vins de bananes au miel connus sous le nom de "INKANGAZA" et fabriqué à partir du jus dilué, mélangé avec du miel dans des proportions bien déterminées. Normalement, le miel est ajouté au jus dans les proportions de 1 à 1,5 kg pour 40 litres de jus.

Ces vins sont également très appréciés ; rares sur le marché, ils se conservent au moins une semaine grâce à leur teneur en alcool.

La troisième catégorie est constituée par des vins connus sous le nom de "URWAGWA" et fabriqués à partir de jus dilué. Ce sont des boissons populaires, à faible prix. Elles se consomment en famille et sont offertes aux amis. Elles sont toujours obligatoires dans les cérémonies de mariage, funérailles, etc... Elles jouent un rôle important sur le plan social.

De faible teneur en alcool, la boisson "URWAGWA" ne se conserve pas plus de 3 jours. Elle est consommée immédiatement après sa fabrication.

1.5.1.5. Teneur en alcool et en acidité des échantillons de vins de bananes "URWAGWA" collectés dans les Préfectures de CYANGUGU et de KIBUNGO, régions de plus forte production bananière du Rwanda

Les analyses effectuées sur des échantillons de vins de bananes collectés dans les Préfectures de Kibungo et de Cyangugu ont montré que la teneur en alcool des vins de fabrication traditionnelle du Rwanda se situe entre 3,6 et 9 %. Cependant, certaines collectivités religieuses locales parviennent à fabriquer des vins titrant plus de 10 % d'alcool. Les résultats des analyses effectuées sont rassemblés dans les tableaux 9 et 10.

Tableau 9: Vins de CYANGUGU

Endroit prise échantillon	pH échantillon	Teneur en alcool	Acidité totale gr H ₂ SO ₄ /100 ml
Mibilizi (marché)	3,9	6	0,051
Gishoma (chez un habitant)	3,9	8,8	0,100
Gishoma (marché)	4	6,2	0,055
Kamembe (marché)	3,8	4,77	0,062
Nyamasheke	3,75	3,6	-
Bushenge	4,1	6,57	0,055
Bushenge	4,05	6	0,055
Shangi (Paroisse)	4,2	10,86	0,065

Tableau 10

VINS DE KIBUNGO
=====

Endroit de la prise de l'échantillon	pH	Acidité totale en gr H ₂ SO ₄ /100 ml	Alcool en %
KIBUNGO (Paroisse) Vin VIKI à 150 Frw/bouteille	4,3	0,041	13,07
KIBUNGO (Paroisse) Vin à 40 Frw/bouteille	4,4	0,052	8,23
ZAZA Couvent des Soeurs BENESIKIRA Vin à 40 Frw/bouteille	4,5	0,051	8,55
BIRENGA chez un habitant Vin à 40 Frw/bouteille	4,1	0,068	9,46
RUTONDE chez les Frères Josephites.	4,4	0,63	8,88
NYARUBUYE (Paroisse)	4,2	0,076	10,03
KIGARAMA chez un habitant	4	0,076	7,35
RWAMAGANA (RUTONDE)	4	0,065	8
KABARONDO (Marché)	4,4	0,053	6,73
RUKARA	4	0,66	6,65
GAHINI (Rukara)	4,05	0,062	5,96
MUHAZI	3,9	0,074	4,84
RUKIRA (Marché)	3,8	0,081	5,96
KIGARAMA	4,1	0,051	6,73

1.5.1.6. Le rendement dans l'exploitation familiale

Avec la méthode traditionnelle d'extraction du jus de bananes qui consiste en un malaxage de la pulpe avec des herbes, il est estimé qu'il faut 100 kg de bananes en régimes pour avoir 20 litres de jus. Ainsi, en partant de 350 kg de bananes vertes on obtient deux cruches de 35 litres de vin. Le travail dépensé pour arriver à cette quantité peut être évalué comme suit :

- Pour la récolte, le transport du champ sur le lieu de mûrissage, l'enfouissement, l'extraction du jus : 4 jours/homme environ, soit $100 \text{ Frw} \times 4 = 400 \text{ Frw}$.
- Pour l'extraction et la mise en fermentation : 2 jours/homme, soit $100 \text{ Frw} \times 2 = 200 \text{ Frw}$.
- Pour le transport du produit fini vers le marché, pour la vente : 2 jours/homme, soit $100 \times 2 = 200 \text{ Frw}$.

Pour 70 litres de vin, il faut investir en main-d'oeuvre : $400 \text{ Frw} + 200 \text{ Frw} + 200 \text{ Frw} = 800 \text{ Frw}$.

Le prix d'une bouteille de vin, d'une contenance de 0,75 l varie selon les marchés et les saisons, mais peut être estimé en moyenne à 25 Frw, soit pour 70 l : $70 \times 25 \text{ Frw} = 1.750 \text{ Frw}$.

Sans tenir compte des frais de culture et d'entretien de la culture, le gain du paysan serait : $1.750 \text{ Frw} - 800 \text{ Frw} = 950 \text{ Frw}$ ce qui valorise le kilo de bananes à $950/350 = 2,71 \text{ Frw}$

On voit bien par cet exemple que l'imperfection du procédé de mûrissage, d'extraction, et de la fermentation du jus de bananes entraîne des pertes importantes de matières premières et est à l'origine d'un produit de qualité variable d'une valeur économique très faible.

1.5.2. Conclusion - Discussion

La fabrication du vin de bananes au Rwanda que nous venons de décrire est caractérisée par des pertes considérables à tous les stades de la production et ne donne finalement qu'un produit de goût très instable, qu'il faut consommer immédiatement après fabrication pour la simple raison qu'il ne se conserve pas.

Ainsi, le premier problème à résoudre est l'amélioration du taux

de rendement à l'extraction par la mise au point de procédés appropriés.

Une fois le procédé d'extraction mis au point, il s'avère indispensable d'entreprendre une étude de la flore locale responsable de la fermentation afin d'en sélectionner les souches capables de fermenter efficacement le jus de bananes. Ces deux étapes atteintes il sera possible de concevoir un équipement approprié moderne qui permettra aux pays producteurs de la banane de valoriser ce fruit sous plusieurs aspects, entre autres :

- la fabrication du jus de bananes, désaltérant et conservable.
- la fabrication des différentes sortes de vins susceptibles de se substituer aux vins de raisin que les pays producteurs de bananes importent de l'étranger.
- la fabrication de sirop de jus de bananes, d'arômes alimentaires, de liqueurs de bananes, du vinaigre, et de différents articles de pâtisserie etc...

C'est dans ce but que dans les chapitres qui suivent, nous allons étudier la valeur vinicole des différentes variétés de bananes cultivées au Rwanda ainsi que les souches de levures utilisées dans la fabrication du vin de bananes au Rwanda.

1.6. VARIETES DE BANANIERS CULTIVES AU RWANDA

La bananeraie Rwandaise est constituée de bananiers dont les fruits sont presque exclusivement utilisés à la fabrication à l'échelle familiale de boissons fermentées. La culture de telles variétés est typique du Rwanda et dans d'autres pays à climat comparable comme le Burundi, l'Uganda et des régions zaïroises limitrophes du Rwanda.

Les cultivars de bananiers dits à "vin" dont les fruits sont utilisés pour la fabrication de boissons fermentées (vins de bananes) seraient, d'après plusieurs écrits, originaires d'Asie, mais selon CHAMPION (1) on ne peut dater leur introduction au Rwanda qui doit remonter à plusieurs siècles.

Après l'arrivée des Européens au Rwanda, de nouvelles variétés ont été introduites et actuellement la bananeraie rwandaise comprend environ 90 à 95 % de cultivars dits à "vin" et 5 à 10 % de bananiers donnant des fruits de table qui se consomment mûrs ou cuits. Ainsi, sur

le plan variétal, on distingue deux grandes familles de bananiers :

1. Les bananiers dits à vin, donnant des fruits dont l'amidon, après une maturation forcée, se liquéfie facilement en se transformant en sucres pour donner ensuite au malaxage un jus fluide.
2. Les bananiers donnant des fruits qui sont un peu onctueux à maturité, très riches en amidon. Celui-ci, par maturation forcée, se transforme en sucres mais au cours du malaxage, donne une sorte de bouillie visqueuse qui ne libère pas de liquide.

1.6.1. Bananiers dits à "vin"

Parmi la population bananière dite à "vin", les variétés appelées Intuntu et Intokatoki constituent environ 90 % des cultivars.

1.6.1.1. Intuntu

Elle se caractérise par un faux-tronc assez élancé avec des régimes denses, devenant jaunes-pâles à maturité. Les régimes peuvent peser entre 10 et 30 kg suivant les conditions culturales. Cette variété est très productive, donne un rendement assez élevé à l'extraction et du vin assez fort. Elle est très répandue dans l'ensemble des régions du Rwanda.

1.6.1.2. Intokatoki

Elle est très semblable à la variété Intuntu, mais avec un faux-tronc plus clair. Elle est moins productive que la variété Intuntu mais par contre, elle est réputée donner du vin agréable à boire.

1.6.1.3. Ingumba et Ingaju

Variétés assez semblables à l'Intuntu, très répandues surtout dans la région de Kibungo.

1.6.1.4. Ingoromoga

C'est une variété légèrement plus petite que Intuntu dont les rachis sont d'un vert plus clair qu'Intuntu et Intokatoki. Ce

cultivar a un bon rendement, mais il est considéré par la population comme donnant du vin de qualité médiocre et par conséquent très rare dans les plantations.

1.6.1.5. Intembe

Variété semblable à l'Intokatoki par l'aspect des fleurs et des fruits, mais de taille plus courte, elle est considérée par la population comme donnant du vin plus fort que celui d'Intokatoki. Son rendement est très faible et serait très sensible à la sécheresse. Cette variété devient de plus en plus rare.

1.6.1.6. Inkati

Variété également semblable à l'Intokatoki mais donnant du vin de qualité inférieure.

1.6.1.7. Isha

Variété très apparentée à l'Intokatoki, le cultivar Isha est très répandu dans le pays.

1.6.1.8. Igihuna

Variété dont le faux-tronc ressemble à celui de l'Intokatoki mais avec des fruits plus longs. Sa caractéristique spéciale est la longue évolution des fruits qui arrivent à pleine maturité après 9 mois. Au point de vue cultural, elle exige une terre assez fertile, constamment enrichie en fumier ; de ce fait, ce cultivar se rencontre en faible nombre dans le pays, et de préférence à proximité des habitations.

1.6.1.9. Kayinja

Variété qui a été introduite du Zaïre au Rwanda assez récemment, en provenance de l'Inde. Elle se caractérise par un taux élevé d'amidon allant jusqu'à 28 %. Elle est utilisée en mélange avec les autres variétés classiques pour améliorer la qualité du vin.

1.6.2. Bananiers pour fruits de table

Sous le nom de bananes de table, le paysan Rwandais désigne des

variétés qui se consomment crues ou mûres et dont la pulpe, après maturation forcée, ne se liquéfie pas au malaxage pour donner un jus fluide. Elles donnent une sorte de bouillie visqueuse qui ne libère pas de liquide. Ces variétés existent en faible nombre et sont pour la plupart d'introduction récente, de l'époque coloniale. Les principales variétés rencontrées au Rwanda sont les suivantes :

1.6.2.1. Inyamunyo

Cette variété comprend plusieurs espèces caractérisées par des fruits doux que l'on peut manger crus ou cuits, alors que pour les variétés dites à vin, les fruits sont amers ; ils renferment des tanins et ne peuvent se manger qu'à l'état cuit, et en cas de disette.

L'Inyamunyo se rencontre sous plusieurs formes, entre autres :

- Incakara ou Injagi
- Ingenge
- Inzirabahima
- Intutsi
- Inkazikamwa

Incakara se caractérise par des régimes et des fruits assez longs, alors que ceux de l'Ingenge sont assez courts.

1.6.2.2. Gisukali ou Figue-rose

Ce bananier donne des fruits qui se consomment uniquement à l'état mûr.

1.6.2.3. Kamaramasence

C'est une variété qui se rencontre fréquemment surtout dans la Préfecture de Kibungo, donnant une banane assez riche en amidon, très sucrée à l'état jaune (mûre). Elle est très appréciée pour son goût, sa saveur et son arôme comme banane de table.

1.6.2.4. Umushaba

C'est un plantin de faux-tronc clair dont le fruit se consomme cuit. Il est très rare dans le pays et même tend à disparaître.

1.6.2.5. Gros Michel

C'est une variété caractérisée par des régimes assez développés et des fruits assez longs, riches en hydrates de carbone. Les fruits se consomment mûrs, souvent comme dessert.

Ainsi, la population bananière rwandaise comporte plusieurs variétés ; certaines se comportent mieux que d'autres, donnent de bons rendements et par conséquent sont retenues par le paysan, alors que quelques variétés tendent à disparaître. Dans notre étude, nous avons choisi les variétés les plus répandues au Rwanda qui sont presque exclusivement utilisées pour la production du vin, à savoir Intuntu, Intokatoki, Inkati, Ingaju et Ingumba.

Par ailleurs, il a été jugé nécessaire d'inclure dans cette étude, d'autres variétés d'introduction récentes, mais présentes également dans tout le pays. Il s'agit des variétés : Inyamunyo, Gisukali ou "Figue-Rose, Kamaramasenge, Gros-Michel et Kayinja.

1.7. EXTRACTION DU JUS DE BANANES

1.7.1. La maturation des bananes

On sait déjà que pour la production du jus, la banane verte, arrivée à une maturité physiologique convenable, doit être transformée en banane mûre.

Selon AZARIDES (6), le développement interne de la maturation des fruits peut être subdivisé en 6 phases :

1.7.1.1. Fruit 3/4 mince ou "thin three quarters"

Ce stade est caractérisé par la présence d'une forte proportion d'amidon; le fruit est de couleur verte, amer et astringent par suite d'une teneur élevée en chlorophylle, en matières tanniques et en acides organiques.

1.7.1.2. Fruit 3/4 plein ou "full three quarters" ou "tournants"

A ce stade, une grande partie d'amidon commence à s'hydrolyser sous l'action des enzymes ; de ce fait, la teneur en sucres croît progressivement.

1.7.1.3. Fruit plein ou "full"

A ce stade, on distingue deux phases :

- a) Le jaunissement de la pelure : cette phase est caractérisée par la décomposition totale de la chlorophylle, l'apparition des pigments jaunes et la disparition des tanins par oxydation.
- b) La banane à bout vert : à ce stade, la moitié environ de l'amidon est transformée en sucres, la pulpe perd un peu de sa dureté suite à l'épaississement cellulaire.

1.7.1.4. Stade jaune

Une grande partie de l'amidon est transformée en saccharose et en sucres réducteurs ; la pulpe devient molle, de couleur jaune et dégage un parfum caractéristique, dû à la formation d'acétate d'amyle.

1.7.1.5. Stade mûr

A ce stade, le fruit atteint le maximum de teneur en sucres totaux. La chair est pâteuse, d'une odeur parfumée due aux esters formés tels que l'acétate d'amyle, qui détermine l'arôme du fruit.

1.7.1.6. Stade de surmaturation

A ce stade, les matières taniques sont détruites en grande partie, la teneur en pectine croît, ce qui épaissit les parois cellulaires, les gélifie et les rend progressivement imperméables. Cette imperméabilité prive le protoplasme d'oxygène, ce qui déclenche la formation d'alcool avec dégagement notable d'acide carbonique.

Ainsi, le mûrissement des bananes est caractérisé par une série de phénomènes dus à l'action d'enzymes renfermées dans le fruit même. En effet, placée dans des conditions favorables d'aération, de température et d'humidité, une banane ayant atteint une maturité physiologique complète devient le siège de réactions chimiques et biochimiques complexes.

D'abord, une enzyme appelée cellulase attaque les contours celluliques des membranes cellulaires de la banane.

Ce phénomène est ensuite suivi par une série de transformations enzymatiques à l'intérieur de la cellule. C'est ainsi que l'on constate

après quelques jours la disparition progressive de l'amidon, l'hydrolyse partielle des matières pectiques, l'augmentation du taux de sucres, le changement de la coloration de la peau, la perte progressive de l'astringence du fruit et le développement d'un arôme particulier. Bref, le fruit se ramollit et perd son goût premier pour acquérir un goût sucré. Il devient attrayant par sa couleur et ses émanations odoriférantes.

1.7.2. Evolution de la composition chimique de la banane au cours de la maturation (tableaux 11 et 12).

La littérature, sur la maturation de la banane est abondante. Nous nous référons ici à des travaux importants dans ce domaine, notamment ceux qui indiquent l'évolution de certains éléments qui jouent un rôle important dans le processus d'extraction du jus de bananes (6), (7).

L'analyse des tableaux 11 et 12 nous conduit à conclure que l'amidon, après l'eau, est le constituant quantitatif le plus important de la banane. C'est l'amidon qui, au cours du mûrissement, se transforme en sucres solubles ; par sa teneur, on peut déjà juger de l'extrait et du taux de rendement à l'extraction du jus qui seront importants ou moindres selon que la teneur en amidon sera *élevée ou faible*

La présence de la pectine dans le fruit fait déjà entrevoir les problèmes qui peuvent se poser au niveau de l'extraction du jus. En effet, pour que le jus soit libéré de la paroi cellulaire du fruit, l'hydrolyse des matières pectiques doit être complète. Ce qui demande le plus souvent l'utilisation des enzymes pectolytiques.

1.7.2.1. Dégradation de l'amidon

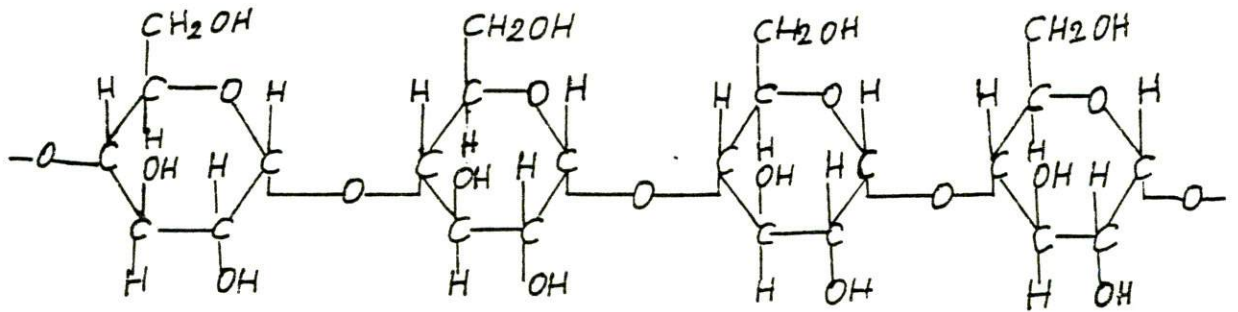
L'amidon est un hydrate de carbone constitué par des molécules de glucose. Suivant la façon dont les molécules de glucose sont reliées entre elles, on distingue deux substances en proportions variables dans l'amidon, à savoir l'amylose et l'amylopectine (44).

Selon J.C. CHEFTEL et H. CHEFTEL (8), l'amidon de la banane est composé de 17 % d'amylose et de 83 % d'amylopectine.

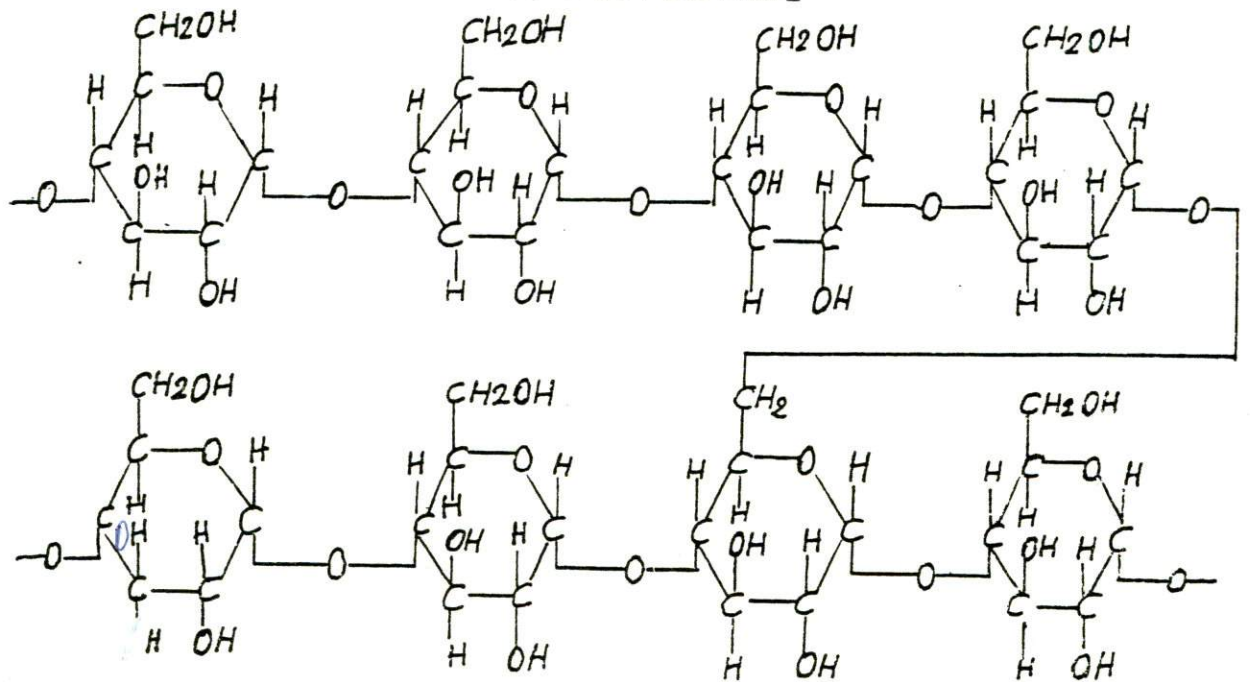
Pour hydrolyser l'amidon, il faut plusieurs amylases, dont les principales sont l' α et la β amylase (25).

STRUCTURE CHIMIQUE DE L'AMIDON

AMYLOSE



AMYLOPECTINE



D'après VESSELOV et TSOUMAKOVA (44)

L' α -amylase arrache aux chaînes rectilignes d'amidon (amylose) des unités de *maltose* ; elle s'attaque également à l'amylopectine, mais elle est incapable de scinder les branchements constitués par les liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$.

La β amylase est incapable aussi de scinder les liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$ des branchements de l'amylopectine, mais son action consiste à rompre les liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 4)$ de l'amylopectine à un endroit quelconque.

Les liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$ sont scindées par des amylases différentes, les $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$ glucosidases (29).

En plus des amylases qui attaquent l'amidon, on trouve dans le fruit de la banane, selon AZARIDES (6), les enzymes suivantes :

- la maltase
- la sucrase ou invertase
- la lipase
- des enzymes protéolytiques
- les enzymes oxydantes comme la peroxydase
- des enzymes dissociantes comme la catalase
- la cellulase, attaquant la cellulose
- la pectinase transformant la protopectine en pectine
- la tannase décomposant les principes tanniques de la banane.

1.7.2.2. Hydrolyse des matières pectiques

Les matières pectiques selon ROGER (31) sont des hétéro-polysaccharides constitués par des chaînes de molécules d'acide galacturonique en majorité sous forme d'esters méthyliques. On les rencontre principalement dans les parois cellulaires et les espaces intercellulaires des tissus végétaux où elles sont souvent liées à la cellulose sous forme d'un complexe insoluble dans l'eau appelé protopectine.

En terminologie correcte, on appelle pectines uniquement les chaînes polygalacturoniques méthylées à 100 %, et acides pectiques celles qui présentent un taux de méthylation inférieur à 100 %, tandis que le terme acide pectique désigne les acides polygalacturoniques exempts de "méthoxyle".

Le taux de méthylation est exprimé par la teneur en méthoxyle $-\text{OCH}_3$.

L'hydrolyse est favorisée par les acides, les alcalis, la chaleur et par les enzymes qui fragmentent la chaîne pectique.

Tableau 11
 EVOLUTION DE LA COMPOSITION GLUCIDIQUE DE LA BANANE
 AU COURS DE SES SIX STADES DE MATURATION D'APRES
 FOURDUNIL (Variété non indiquée) POUR 100 GR DE POIDS
 FRAIS CITEE PAR AZARIDES (6).

Etat des fruits	Poids peau en kg	Poids pulpe en kg	Substances sèches en gr	Saccharose en gr	Sucres réducteur en gr	Sucres totaux en gr	Amidon en gr	Pectine en gr	Acidité en NaOH en gr
Pres vert	191,21	79	30,31	0,75	0,06	0,81	22,94	1,95	0,12
Vert	184,61	196,87	29,72	0,20	0,20	2,20	21,15	1,47	0,15
Jaune vert	151,46	175,53	28,95	12,41	2,12	15,53	6	1,15	-
Jaune	138,85	206,50	28,79	14,38	4,79	19,17	2,05	0,98	0,23
Jaune point brun	134,77	212,05	27,05	15,11	5,52	18,43	10,94	0,97	0,3
Brun et jaune	120,95	207,01	24,18	9,01	7,18	16,19	0,83	-	-

Tableau 12

VARIATION DE LA COMPOSITION GLUCIDIQUE DE LA VARIÉTÉ
 "GROS-MICHEL" AU COURS DE LA MATURATION D'APRÈS CORNELIS(7)

	NOMBRE DE JOURS DE MATURATION										
	0	3	5	7	9	11					
Glucides	0	3	5	7	9	11					
Glucides totaux pour 100 gr de poids frais	21,51	20,49	19,78	19,78	18,60	19,2					
Amidon pour 100 gr de poids frais	20,65	12,85	6	2,93	1,73	1,21					
Sucres réducteurs pour 100 gr de poids frais	0,214	2,82	7,24	10,75	12,98	15,31					
Sucres non réducteurs pour 100 gr de poids frais	0,62	4,85	6,52	6,12	3,89	2,6					

1.7.2.2.1. Dégradation des matières pectiques par les acides

Dans un milieu légèrement acide, les substances pectiques sont partiellement ou complètement dégradées.

1.7.2.2.2. Dégradation des matières pectiques par les alcalis

Dans un milieu alcalin, la pectine est déméthylée, même à froid. Le traitement alcalin, suivi d'une neutralisation jusqu'à pH initial de la pulpe, en éliminant la viscosité rend possible l'extraction du jus de bananes.

1.7.2.2.3. Dégradation des matières pectiques par la chaleur

La chaleur dégrade la pectine et réduit ainsi la viscosité.

1.7.2.2.4. Influence des pectines sur le trouble des jus de fruits

Dans la fabrication des jus de fruits, du vin et du vinaigre, on doit tenir compte des substances pectiques présentes dans les fruits. En effet, la pectine en solution dans les jus exprimés d'un fruit contribue à maintenir en suspension les fines particules de pulpe qui constituent le trouble (34).

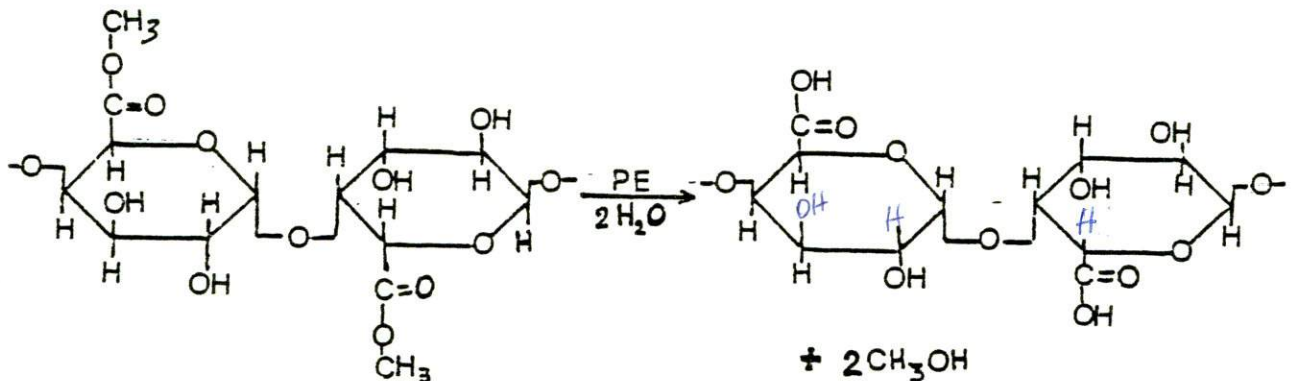
Pour des jus de fruits que l'on prépare sous forme de jus trouble ou pulpeux, il faut dans ce cas protéger la pectine qui confère au produit une certaine viscosité et agit comme colloïde protecteur. Mais lorsqu'on recherche au contraire la fabrication d'un jus limpide, il est indispensable d'éliminer la pectine, car sa présence en solution rend très difficile, voire impossible la filtration. Ainsi, pour éliminer la pectine on utilise des enzymes pectolytiques du commerce, produites par des moisissures, comme le "Pectinol" aux Etats-Unis et le "Filtragol" en Allemagne. Elles possèdent une forte activité polygalacturonasique et méthylestérasique qui est indispensable, car la polygalacturonase n'agit que sur l'acide pectique (32).

1.7.2.2.5. Dégradation enzymatique des matières pectiques

Au cours du mûrissement des bananes, certaines enzymes agissent sur les matières pectiques et les hydrolysent, facilitant ainsi le processus d'extraction du jus. Ces enzymes peuvent être classées en trois groupes :

1.7.2.2.5.1. Enzymes pectolytiques saponifiantes

Ce sont des estérases qui catalysent la déméthoxylation des pectines et leur transformation en acides pectiques. On les appelle les pectines méthylestérases ; leur activité est appréciée par la quantité de méthanol libéré.

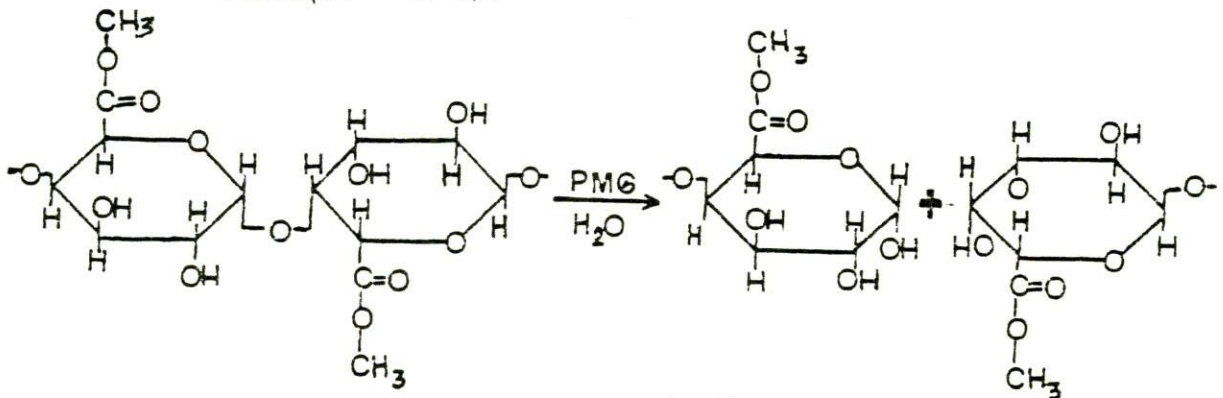


D'après RIBEREAU-GAYON (16)

1.7.2.2.5.2. Les enzymes pectolytiques dépolymérisantes

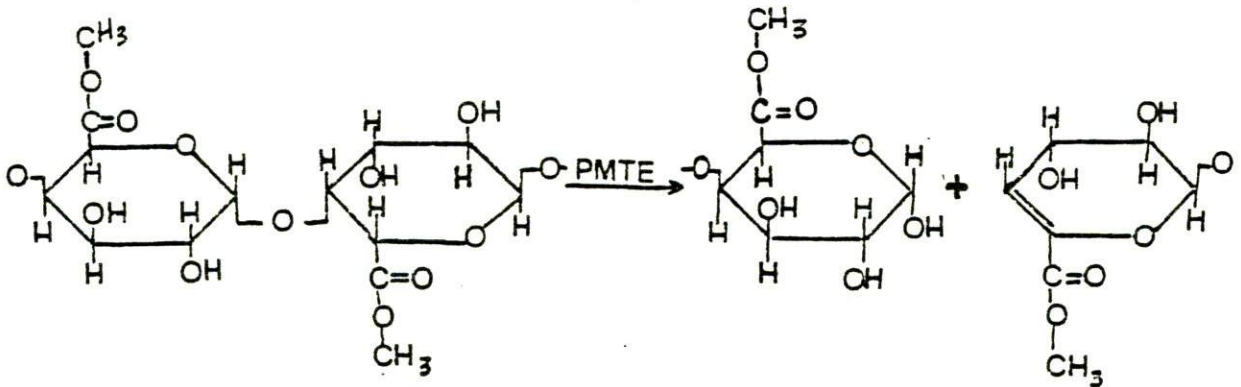
Ces enzymes appartiennent à deux catégories, à savoir : les hydrolases et les transéliminases.

- les hydrolases comprennent les polyméthylgalacturonases dont le substrat préférentiel est la pectine. Elles réalisent la rupture de la liaison osidique $\alpha(1 \rightarrow 4)$.



1.7.2.2.5.3. Transéliminases

Ces enzymes agissent sur la pectine en rompant la liaison osidique α (1--- \rightarrow 4) par transélimination : la liaison entre l'oxygène et le carbone 4 est rompue. Cette rupture entraîne comme conséquence l'élimination de l'hydrogène situé en position trans sur le carbone 5 il en résulte la formation d'une double liaison entre les carbonnes 4 et 5.



D'après RIBEREAU-GAYON (16)

L'activité des enzymes dépolymérisantes est appréciée par la diminution de la viscosité de la pulpe.

1.7.2.3. Oxydation des tanins, des acides organiques et des sucres

La maturation des bananes est un phénomène d'oxydation et de respiration. En effet, dans la pulpe de banane en mûrissement, certains constituants tels que les sucres, les acides organiques, les tanins sont brûlés, suite à des processus d'oxydo-réduction. Ces processus sont caractérisés par l'absorption par le fruit de l'oxygène, le rejet concomitant dans le milieu ambiant de gaz carbonique et des phénomènes chimiques très complexes au cours desquels l'oxygène est utilisé et le gaz carbonique engendré dans les tissus cellulaires de la banane.

Ces phénomènes se réalisent aux dépens des hydrates de carbone. C'est pourquoi, dans le mûrissement des bananes, une attention toute particulière doit être accordée à ces processus de transformation dans le but de réduire les pertes des éléments utiles. Le problème qui se

pose ici est d'influer sur les principaux facteurs qui interviennent directement dans le mûrissement, entre autres : la température, l'humidité et l'aération du mûrissoir.

Ces facteurs jouent un rôle capital car ils favorisent le développement de l'activité des enzymes indispensables à la transformation de la banane verte en banane mûre.

1.7.3. Conditions de maturation

Une banane récoltée à maturité physiologique complète, et placée dans des conditions favorables d'humidité et de température, devient le siège de réactions de synthèse et de dégradation, qui, après une période de latence variable suivant le degré de maturation et la variété, s'accroissent en s'accompagnant d'une intense activité respiratoire caractérisée par le dégagement de chaleur et de substances volatiles aromatiques.

Le mûrissement complet et harmonieux des fruits dépend donc des conditions thermiques et hygrométriques dans lesquelles le fruit est placé.

Selon P. MARCELIN (9), la banane mûrit bien à l'intérieur d'un intervalle de température relativement étroit, de 15 à 21°C, tandis qu'au dessous de 13°C, le fruit demeure vert et ferme. Aux températures supérieures à 21°C, le fruit évolue trop vite et perd rapidement sa saveur. Au dessus de 30°C, la chaleur déséquilibre le processus de maturation en donnant ce qu'on appelle le "fruit bouilli".

Selon le même auteur, la banane exige des conditions hygrométriques de l'ordre de 85 à 90 %, surtout dans les mûrisseries industrielles. Dans le processus de mûrissement des bananes, l'humidité convenable s'avère indispensable, car elle influe sur le métabolisme cellulaire.

Des humidités inférieures à 75-80 % diminuent la période préclimatique du fait d'une stimulation de la synthèse éthylénique, mais la pulpe conserve une texture ferme et un défaut de flaveur. Tandis que des humidités proches de la saturation accroissent l'intensité de la poussée respiratoire, renforcent le jaunissement et améliorent la synthèse de l'arôme.

1.7.4. Emission des substances volatiles

Au cours de la maturation, les bananes émettent diverses substances volatiles qui varient quantitativement avec le degré de maturité du fruit.

Les premières estimations de l'émission volatile paraissent être dues à ROTHENBACH et EBERLEIN cités par MATTEI (10), qui ont caractérisé vers 1905 certains esters émanant d'un distillat de pulpe.

Avec le développement des techniques modernes d'analyse (spectrométrie de masse et chromatographie en phase gazeuse) des études sur la composition des gaz émis par la banane en cours de maturation furent approfondies par différents chercheurs dont les principaux sont PALMER, MURRAY (11), MARSHALL, ISSEMBERG et WICK (12).

En 1969, WICK, YAMANISHI et al. (13) identifient 11 composés insaturés présents dans l'extrait alcoolique neutre du concentré d'arôme de bananes provenant de la variété Cavendish Valery.

En 1973, MATTEI (14) étudie l'évolution de l'émission volatile du cultivar "POYO" en cours de maturation et constate que :

- l'arôme évolue au cours de la maturation, avec une succession d'émissions de produits volatils dont la composition reste sensiblement la même avec une prédominance d'esters dont les principaux sont les acétates d'éthyle, d'isobutyle, de butyle, d'isoamyle, d'amyle et ainsi qu'un groupe important d'alcools libres (éthanol, isobutanol et isopentanol).

1.7.5. Tentatives d'extraction industrielle du jus de bananes

Plusieurs méthodes d'extraction du jus de bananes ont été essayées ; les chercheurs se sont toujours heurtés à la viscosité de la purée de bananes, qui empêche l'extraction complète du jus. En effet, le mûrissement des bananes s'accompagne d'une modification des lamelles intracellulaires constituées de substances pectiques, ce qui a pour effet d'augmenter leur perméabilité en favorisant les échanges intercellulaires et en entraînant une viscosité croissante. Ainsi, après le broyage de la banane mûre épluchée, on obtient une pâte dont la viscosité ne permet pas l'écoulement du jus au pressurage.

Pour permettre le pressurage de la purée obtenue après le broyage de la banane mûre, plusieurs chercheurs ont eu recours à l'action de la chaleur, à l'action chimique ou à l'action des enzymes pectolytiques(28).

Depuis bien longtemps, le paysan rwandais extrait mécaniquement le jus de bananes. Son procédé consiste à extraire le jus par le malaxage de la pulpe avec des herbes ; il est de très faible rendement et occasionne des pertes élevées.

En 1960, DE SAN (4), ancien administrateur territorial au Rwanda au temps de la colonisation réussit à mettre au point un procédé d'extraction mécanique du jus où le malaxage à la main avec des herbes (procédé traditionnel d'extraction du jus de bananes au Rwanda) est remplacé par des machines.

En 1974, MUNYANGANIZI et COOPENS (21) publient un article sur la méthode chimique d'extraction du jus de bananes. La méthode mise au point consiste à précipiter, par chaulage de la pulpe à raison de 0,25 à 1 % de chaux, les pectines sous forme de granules de pectate de calcium; ensuite, une quantité suffisante d'acide sulfurique est ajoutée à la pulpe pour rétablir le pH d'origine et faire disparaître le goût de la chaux.

Les granules de pectate et de sulfate de calcium agissent comme adjuvants de filtration, et le rendement en jus atteint 80 % par centrifugation et 88 % par pressurage discontinu avec l'emploi de 0,5 % de chaux.

2. OBJET DU TRAVAIL

2. OBJET DU TRAVAIL

Nous avons vu précédemment en 1.5.2. que la fabrication de boissons fermentées ou non à partir de jus de bananes posait des problèmes à de nombreux niveaux : stabilisation, rendement, sélection des micro-organismes, équipement, etc...

Nous venons de montrer que les bananeraies rwandaises comprennent plusieurs cultivars dont chaque variété a ses propre propriétés (saveur, arôme...). Nous considérons qu'il est très important sur le plan de la fabrication industrielle du jus et du vin de bananes, de préciser la valeur vinicole de chaque variété afin de pouvoir ensuite trouver des solutions appropriées aux problèmes posés par l'amélioration des produits actuellement fabriqués par l'O.V.I.B.A.R..

Ainsi, cette étude a pour but d'une part, d'élaborer au niveau du laboratoire et des essais à l'échelle semi-industrielle un procédé efficace d'extraction, à partir des différentes variétés, du jus de bananes conservable, destiné à la consommation courante comme boisson non alcoolisée et d'autre part, de mettre au point un procédé de fermentation du jus de bananes à l'aide de souches de levures isolées des vins de bananes traditionnels, fabriqués à l'échelle familiale au Rwanda.

Cette étude nous semble très importante car la qualité du vin dépend non seulement de la qualité des matières premières utilisées, de la composition chimique du sol et des conditions climatiques du lieu de provenance des fruits,⁽³¹⁾ mais également des souches de levures utilisées pour la fermentation, car chaque sorte de levures confère au vin des propriétés physiques, chimiques et organoleptiques qui lui sont propres. Ainsi, la qualité du goût, et partant, celle du vin obtenu par la fermentation dépendent de plusieurs facteurs ; c'est pourquoi il serait erroné de penser qu'avec du goût de mauvaise qualité on obtiendrait du vin de bonne qualité par le seul fait d'utiliser des souches de levures sélectionnées. Cependant, il est certain qu'avec l'utilisation de telles souches la fermentation s'effectue très rapidement, et le vin obtenu est sain, si les précautions nécessaires sont prises pour conduire convenablement la fermentation.

Dans le cas particulier de la fermentation du jus de bananes, nous pensons que l'utilisation de levures sélectionnées s'impose pour les raisons suivantes :

- le jus obtenu après le pressurage renferme une quantité élevée de pulpe en suspension et doit être débourbé par centrifugation. Cette opération élimine une grande partie des levures indigènes qui étaient présentes dans la pulpe.

- de plus, lors de différents essais de fermentation spontanée du jus de bananes, tant à l'échelle du laboratoire qu'à celle de la fabrication industrielle, il a été constaté qu'au cours de la fermentation se développe une acidité excessivement élevée qui bloque dans la plupart des cas la fermentation alcoolique.

3. EXTRACTION DU JUS DE BANANES

3. EXTRACTION DU JUS DE BANANES

3.1. COLLECTE DES ECHANTILLONS DE BANANES

Les échantillons ont été prélevés au cours des missions d'approvisionnement de l'usine en bananes vertes dans la Préfecture de Kibungo, l'une des régions de forte production bananière du pays. Les variétés choisies répondaient aux critères suivants :

- une maturité physiologique complète. Sur le terrain, cela se vérifie en sectionnant le fruit de "dernière main" et en observant sa pulpe. Celle-ci doit être jaunissante et ne plus laisser exsuder de sève. Dans ces conditions, la teneur en amidon a atteint son maximum.
- le régime de bananes doit être représentatif, soit peser en moyenne 20 kg.
- les bananes ne doivent pas être blessées afin d'éviter le développement de moisissures sur le fruit, qui provoquent la pourriture au cours de la maturation.

3.2. TRAITEMENT SUBI PAR LES ECHANTILLONS

3.2.1. Mûrissement

Le mûrissoir où les échantillons sont traités est un local thermiquement isolé, muni d'un hygromètre pour la mesure de l'humidité relative, d'un thermomètre pour la température, de deux ventilateurs électriques pour l'aération et d'un dispositif de chauffage et de refroidissement constitué par des tuyaux métalliques à travers lesquels on fait circuler de l'eau froide ou de l'eau chaude suivant que l'on veut refroidir ou chauffer le mûrissoir.

Pour leur mûrissement, les régimes de bananes sont suspendus dans le mûrissoir sur des traverses métalliques à l'aide de cordes en nylon passées en boucles autour de la tige des régimes. La température du mûrissoir au départ est de 20-22°C ; elle augmente avec la respiration des fruits jusqu'à 28°C où elle est maintenue par des ventilateurs électriques. Quant à l'humidité de l'air, elle est maintenue à 90-95 %. Durant la maturation, on suit la dégradation de l'amidon et l'évolution des sucres dans les différents échantillons.

Tableau n° 13 : Variation glucidique au cours du mûrissement de la variété KAYINJA.

Jours de maturation	1	2	3	4	5	6
Amidon pour 100 gr de poids frais	27,70	20,35	12,65	7,32	4,17	1
Sucres totaux pour 100gr de poids frais	1,06	8,15	16,30	19,45	21,28	23,18
Sucres réducteurs pour 100 gr de poids frais	0,36	5,68	8,33	10,64	11,52	12,34
Saccharose pour 100 gr de poids frais	0,64	2,35	7,57	8,36	9,27	10,84
Rapport: $\frac{\text{Sucres réduc.}}{\text{Saccharose}}$	0,56	2,42	1,1	1,27	1,24	1,14

Tableau n° 14 : Variation glucidique au cours du mûrissement de la variété INTUNTU.

Jours de maturation	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Amidon pour 100gr de poids frais	20,9	20,9	19,5	11,9	6,51	3,25	1,62	0,54	-
Sucres totaux pour 100 gr de poids frais	0,14	1,20	2,83	8,80	13,90	15,62	16,2	17,62	17,8
Sucres réducteurs pour 100gr de poids frais	0,04	0,41	0,65	2,66	4,35	5,02	5,49	5,39	5,2
Saccharose pour 100gr de poids frais	0,10	0,79	1,18	6,14	9,55	10,60	10,71	12,23	12,6
Rapport: $\frac{\text{Sucres réd.}}{\text{Saccharose}}$	0,4	0,32	0,55	0,43	0,46	0,47	0,51	0,44	0,41

Tableau n° 15

RESULTATS OBTENUS AVEC LES 8 VARIETES DE BANANES APRES 6 OU 7 JOURS DE MATURATION :
 ILS SONT ENGADRES PAR LES VALEURS OBTENUES AVEC LES DEUX VARIETES RETENUES POUR LA
 SUITE DU TRAVAIL INTITULE ET KAYINJA (TENOINS N° 1 ET 2).

VARIETES	HYDRATES DE CARBONE EN %	A M I D O N		SUCRES		TOTAUX		SUCRES REDUCTEURS		SACCHAROSE		RAPPORT						
		POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %	POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %	POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %	POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %	POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %	SUCRES REDUCTEURS SACCHAROSE	POUR 100 GR DE POIDS FRAIS	DEPART %				
ENERGIEU (Témoin n° 1)	20,9	11,62(7eJ)	1	0,14	1	16,2(7eJ)	1	0,04	1	5,49(7J)	1	0,10	1	10,71(7J)	1	0,4	1	0,51(7J)
		10,54(8°J)	1			117,62(8eJ)	1		1	5,39(8J)	1		1	12,23(8J)	1		1	0,44(8J)
INGREBA	19,6	11(6eJ)	1	1,12	1	18,2(6J)	1	0,31	1	110,2(6J)	1	0,77	1	7,6(6J)	1	0,4	1	1,34(6J)
KAVARABASERIGE	30,12	15,92(5J)	1	1,15	1	25,34(6J)	1	0,1	1	8,54(6J)	1	1,0	1	116,8(6J)	1	0,1	1	0,51(6J)
JINGAJU	20,6	11(6J)	1	0,93	1	18,0(6J)	1	0,48	1	112,1(6J)	1	0,43	1	5,6(6J)	1	1,121	1	2,16(6J)
ENPOKATOKI	23,4	11(7J)	1	0,92	1	17,3(7J)	1	0,23	1	8,6(7J)	1	0,41	1	8,2(7J)	1	0,561	1	1,05(7J)
GROS FICHEI.	21,2	11(6J)	1	0,92	1	17,8(6J)	1	0,42	1	115(6J)	1	0,48	1	2,7(6J)	1	0,871	1	5,56(6J)
GI BUKALE	25,5	11(6J)	1	1,15	1	21,8(6J)	1	0,46	1	114,1(6J)	1	0,65	1	7,3(6J)	1	0,711	1	1,93(6J)
INYAMUYO	20,1	11(7J)	1	1,3	1	15,7(7J)	1	0,69	1	7,6(7J)	1	0,58	1	7,7(7J)	1	1,121	1	1(7J)
INKATYI	20,6	11(7J)	1	0,72	1	18,7(7J)	1	0,35	1	110,4(7J)	1	0,35	1	7,9(7J)	1	1	1	1,32(7J)
KAYINJA (Témoin n° 2)	27,7	121(6J)	1	1,06	1	23,18(6J)	1	0,36	1	112,34(6J)	1	0,64	1	10,84(6J)	1	0,561	1	1,14(6J)

Figure 1 : Evolution des sucres totaux et réducteurs et dégradation de l'amidon au cours du mûrissement de la variété Kayinja.

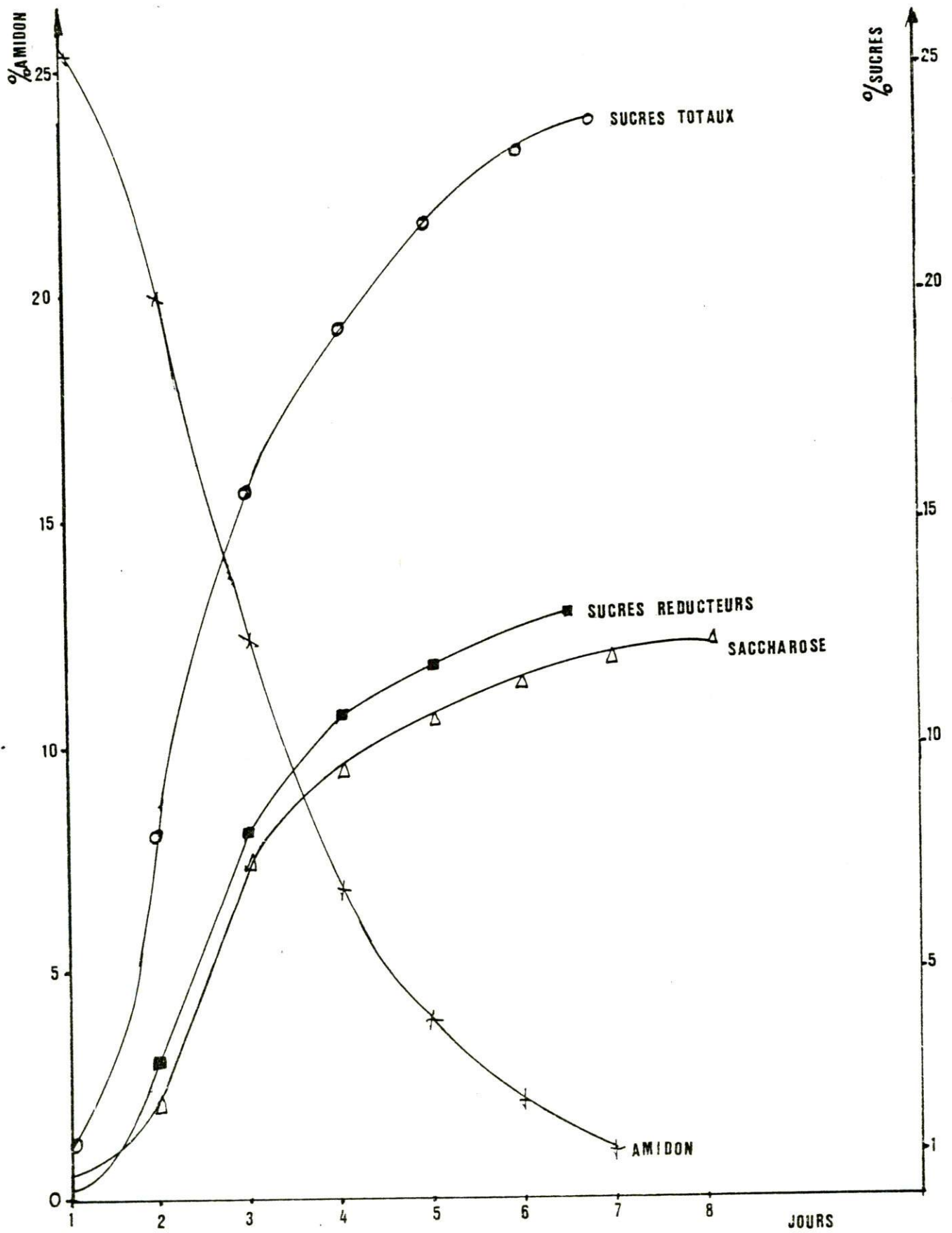
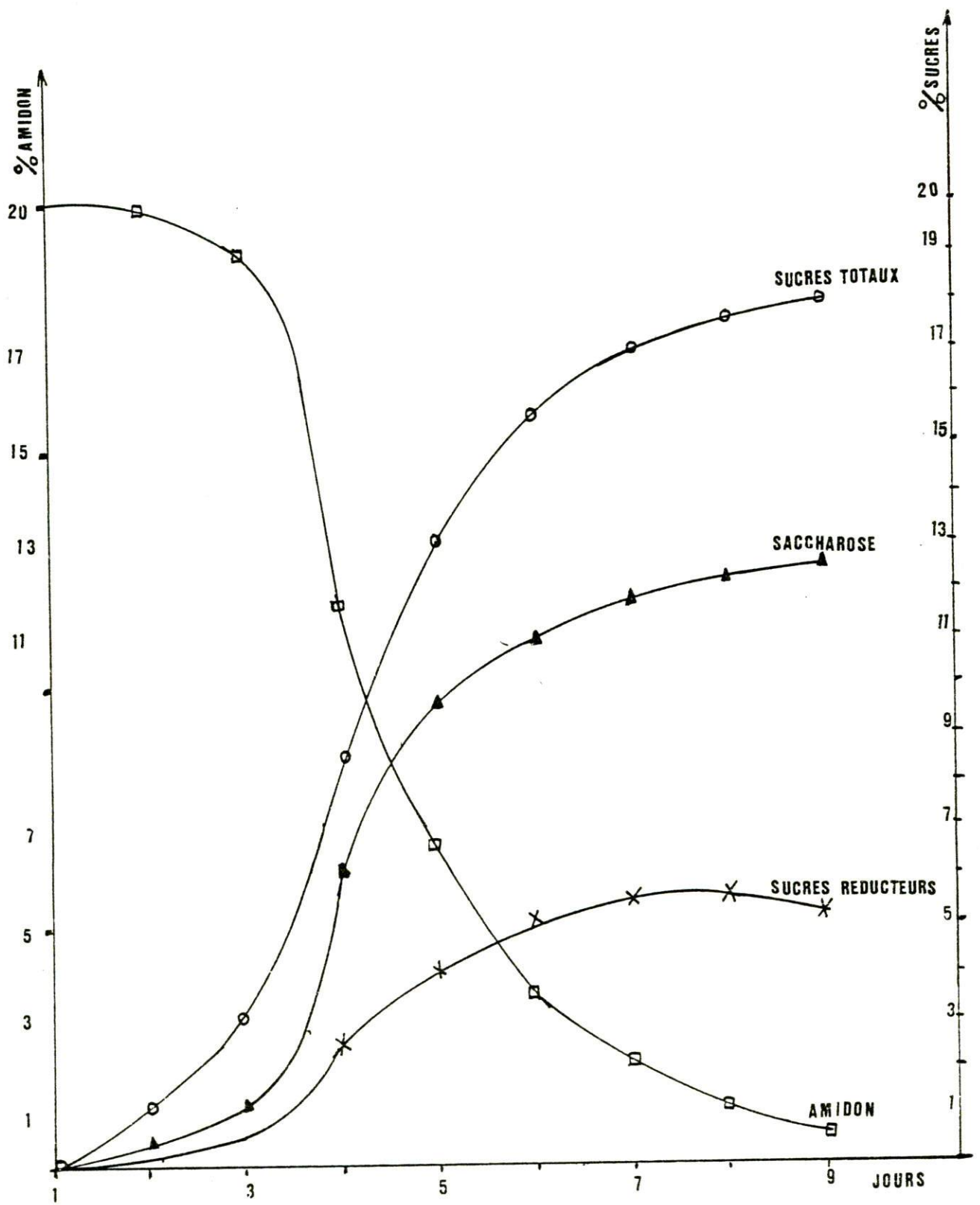


Figure 2 : Evolution des sucres totaux, réducteurs et dégradation de l'amidon au cours du mûrissement de la variété Intuntu.



3.2.1.1. Dégradation de l'amidon

La teneur en amidon a été déterminée d'après la méthode polarimétrique d'EWERS modifiée citée par BOULGAKOV (15).

3.2.1.2. Evolution des sucres au cours du mûrissement

L'évolution de la formation des sucres résultant de la dégradation de l'amidon au cours du mûrissement a été étudiée par le dosage des sucres formés.

La méthode utilisée est une méthode volumétrique décrite par l'Office International du Vin (18). Elle consiste à doser par iodométrie le cuivre non réduit restant dans la liqueur de Fehling après la réaction. L'échantillon est d'abord broyé à l'aide d'un moulin "colloïdal", la purée obtenue est traitée à l'eau bouillante afin d'extraire les sucres. Puis, le liquide sucré obtenu est déféqué au moyen d'un mélange de ferrocyanure de potassium et d'acétate de zinc pour éliminer les produits réducteurs non glucidiques comme les tannins ; on élimine ensuite les produits de défécation par filtration et dose dans le liquide clair obtenu les sucres en utilisant leur aptitude à réduire la liqueur de Fehling.

Dans le cadre de notre étude sur l'évolution des sucres et la dégradation de l'amidon, nous avons traité 10 variétés de bananes.

Les résultats les plus significatifs ont été obtenus avec les variétés Intuntu et Kayinja que nous avons retenues pour la suite de notre travail. Les tableaux 13 et 14 et les graphiques (fig. 1 et 2) illustrent les résultats obtenus.

Avec les 8 autres variétés suivantes :

- | | |
|------------------|----------------|
| 1) Ingumba | 5) Gros Michel |
| 2) Ingaju | 6) Gisukali |
| 3) Kamaramasenge | 7) Inyamunyo |
| 4) Intokatoki | 8) Inkati |

nous avons dressé des tableaux et tracé des courbes que nous n'avons pas introduits dans ce mémoire pour en limiter le volume. En effet, l'allure des courbes est très sensiblement la même que celles obtenues pour les 2 premières variétés. L'ensemble des résultats obtenus lors de l'étude de l'évolution des sucres et de la dégradation de l'amidon au cours du mûrissement est consigné dans le tableau 15.

3.2.1.3. Discussion des résultats

En analysant la cinétique de l'hydrolyse de l'amidon et de l'évolution des sucres dans une banane en mûrissement (fig. 1 et 2), on constate que pour toutes les variétés étudiées, l'évolution des sucres et la dégradation de l'amidon sont très lentes dans les 3 premiers jours de maturation. Ce n'est qu'au 4ème jour que la teneur en amidon subit une chute brusque, accompagnée d'une forte augmentation des sucres. Cette période correspond en effet à l'augmentation de la température, au dégagement des arômes caractéristiques de la banane mûre et au changement de couleur de la peau.

Dans nos conditions de mûrissement, la température de départ est de 22°C ; par suite de la respiration des fruits, elle croît jusqu' à 28°C où elle est maintenue à l'aide des ventilateurs électriques (l'humidité relative est de 90 %). A la fin du 3ème jour de maturation apparaît une intense activité enzymatique caractérisée par :

- le changement de couleur de la peau résultant de la dégradation de la chlorophylle et l'apparition de la coloration caractéristique de la banane mûre.
- le dégagement gazeux aromatique qui est riche en esters et en éthylène. Ces produits volatils sont émis par les bananes en fonction de l'évolution physiologique de chaque fruit et sont, d'après les études effectuées sur la maturation par divers auteurs, les "catalyseurs" de la chute brusque de l'amidon après le 4ème jour de mûrissement.
- la disparition de l'astringence du fruit, et l'apparition du goût sucré consécutives à la formation des sucres et à l'oxydation des tannins et des acides organiques.

L'augmentation des sucres porte sur les sucres réducteurs pour presque toutes les variétés étudiées à l'exception des variétés Kamaramasenge et Intuntu pour lesquelles le saccharose accuse une forte augmentation au cours du mûrissement (tableau 15). Ainsi, le rapport

sucres réducteurs/saccharose est inférieur à l'unité chez les variétés Kamaramasenge et Gisukali, alors qu'il est supérieur à l'unité pour les autres variétés.

3.2.2. La dégradation de l'amidon de la banane par les enzymes de malt

Les grains de malt possèdent des amylases qui, par leur action, dégradent l'amidon en le transformant en sucres fermentescibles. Ces enzymes ont une action plus ou moins marquée selon la température et sont inactivées à des températures élevées.

Les principales sont :

- l' α -amylase dont la température d'action se situe entre 70 et 75°C qui arrache aux chaînes rectilignes d'amidon (amylose) les unités de maltose; elle est surtout active à 72°C.
- la α -amylase qui attaque l'amylopectine qu'elle brise aux liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 4)$, mais est incapable de dédoubler les embranchements constitués par des liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$; sa température d'action se situe entre 63 et 65°C, mais elle est surtout active à 63°C.
- l' $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$ glucosidase, enzyme amyolytique qui attaque l'amylopectine en scindant les embranchements formés de liaisons $\alpha(1\text{---}\rightarrow 6)$.

3.2.2.1. Préparation de l'extrait enzymatique du malt

Le malt utilisé nous a gracieusement été offert par la firme "Brasserie et Limonaderie du Rwanda (BRALIRWA). La préparation de l'extrait est réalisée comme suit :

100 g de malt broyé sont mélangés avec 400 ml d'eau distillée : le tout est laissé à la température ambiante pendant 4 heures, sous agitation à intervalles réguliers. Après ce laps de temps, le mélange malt-eau est filtré ; on obtient un extrait de malt qui renferme des enzymes amyolytiques (15).

3.2.2.2. Saccharification de l'amidon de la banane par les amylases de malt

Dans un bécher de 500 ml, on mélange 50 g de pulpe de bananes vertes finement broyées avec 200 ml d'extrait enzymatique de

malt. Le tout est chauffé au bain-marie jusqu'à la température de 53°C. Afin de permettre aux enzymes d'entrer en action, la température est élevée par paliers à raison d'un degré par minute (17) :

- de 53°C à 62-63°C, et maintenue 30 minutes à 62-63°C.
- de 63 à 65°C avec une pause de 30 minutes à 65°C.
- de 72 à 75°C jusqu'à la saccharification complète.

A chacune des températures ci-dessus indiquées, la quantité de sucres formés a été déterminée par réfractométrie et dosage chimique (20).

Par réfractométrie, nous avons déterminé les indices de réfraction du mélange pulpe-extrait de malt. Le changement des indices de réfraction à différentes températures correspond au degré de dégradation de l'amidon.

Par le dosage chimique, nous avons déterminé quantitativement les sucres formés à différentes températures. La méthode de dosage utilisée est celle décrite plus haut au paragraphe 3.2.1.2. : "Evolution des sucres au cours du mûrissement". Elle consiste à doser par iodométrie le cuivre non réduit restant après action de la liqueur de Fehling sur les sucres contenus dans l'échantillon.

Le contrôle de la saccharification est effectué au moyen d'une solution d'iode : 1 goutte mise en présence de quelques gouttes de l'échantillon. La saccharification est complète s'il n'apparaît aucune coloration lors de cet essai.

Les résultats obtenus avec les variétés de bananes Kayinja et Intuntu sont consignés dans les tableaux 16, 17, 18 et 19; la cinétique de la formation des sucres au cours de la saccharification fait l'objet des figures 3, 4, 5 et 6.

3.2.3. L'extraction du jus de bananes

Dans l'extraction du jus de bananes, on s'est toujours heurté à la viscosité de la pulpe qui ne libère pas de jus lors du pressurage. Ce phénomène est dû au fait que le mûrissement des bananes s'accompagne

d'une modification des lamelles intercellulaires constituées par des substances pectiques qui entraînent une viscosité croissante.

Pour permettre le pressurage de la purée obtenue après broyage de la pulpe de bananes mûres, trois méthodes d'extraction ont été essayées dont le principe est basé sur :

- l'action mécanique sur la pulpe
- l'action chimique : précipitation des matières pectiques par la chaux.
- l'action des enzymes pectolytiques responsables de l'hydrolyse des matières pectiques.

3.2.3.1. Extraction mécanique du jus de bananes

Les bananes mûres sont pelées et ensuite broyées. La pulpe devenue une masse visqueuse, est soumise à une force mécanique provenant d'une machine munie de couteaux tournant à une vitesse de l'ordre de 300 tours/minute. Grâce à l'action de ces couteaux, les parois cellulaires du fruit sont brisées, permettant ainsi la chute de la viscosité de la pulpe dont le jus commence à couler par égouttage. L'extraction complète du jus est réalisée par pressurage au moyen d'une presse hydraulique discontinue à une pression de 300 kg/cm^2 .

Le tableau 20 donne les taux de rendements à l'extraction mécanique en jus de différentes variétés de bananes en fonction de leur stade de maturation. Elles sont traitées soit isolément (ex. pour Intuntu, un régime de 57,2 kg donne 27 kg de jus ; pour Kamaramasenge, la formation de jus est impossible), soit en mélange (ex. Intuntu malaxée avec Kamaramasenge).

Le tableau 21 rassemble quelques caractéristiques des jus obtenus dont la teneur en sucres totaux.

3.2.3.2. Extraction enzymatique du jus de bananes

Nous avons vu plus haut que les essais d'extraction du jus de bananes se sont toujours heurtés à la viscosité de la pulpe due à la présence des matières pectiques dans le fruit.

Après le broyage du fruit, la viscosité ne permet pas la libération du jus par simple pressurage. Pour faire perdre aux substances

pectiques cette propriété de rétention du jus dans la pulpe de la banane, on recourt à l'action des enzymes qui, par dégradation des chaînes pectiques et solubilisation des pectines, réduisent la viscosité de la pulpe broyée. Celle-ci devient alors apte à libérer le jus par simple pressurage.

Les essais d'extraction sont effectués sur les différentes variétés de bananes locales. L'enzyme utilisée est une enzyme pectolytique du commerce "Pectinol D" fournie par la Société Allemande "Röhm GmbH de Darmstadt".

Méthode d'extraction

La pulpe de bananes est malaxée avec des enzymes pectolytiques dans les proportions de 3 g pour 10 kg de pulpe. Après le malaxage, le jus commence à couler par égouttage suite à la dégradation des chaînes pectiques. Un repos de 2 heures de digestion enzymatique de la pulpe provoque une dégradation plus poussée des matières pectiques. Après la digestion enzymatique, la pulpe est pressée au moyen d'une presse hydraulique discontinue où elle est soumise à une pression de 300 kg/cm².

Les résultats des expériences réalisées figurent dans les tableaux 22 et 23.

3.2.3.3. Extraction du jus par la chaux

Ce procédé, utilisé normalement dans l'extraction des sucres de betteraves, a été appliqué à l'extraction du jus de bananes par MUNYANGANIZI et COOPENS lors des essais d'extraction du jus de bananes effectués dans le laboratoire de l'Université de Gembloux en Belgique (21). Il consiste à faire précipiter les pectines par la chaux sous forme de pectates de calcium puis à neutraliser la chaux, par l'acide sulfurique jusqu'au pH initial de la pulpe.

La pulpe a été malaxée avec de la chaux éteinte dans les proportions de 0,05 % et de 0,5 % par rapport au poids de la pulpe traitée. La pulpe chaulée a été maintenue en repos pendant 3 heures afin de favoriser une réaction plus poussée des matières pectiques avec la chaux. Puis, la pulpe est soumise à une pression de 300 kg/cm² pour en

extraire le jus. Celui-ci est neutralisé ensuite par l'acide sulfurique jusqu'au pH initial de la pulpe avant traitement..

Les expériences réalisées avec 0,05 % de chaux ont donné des résultats satisfaisants avec des bananes dont le degré de maturité correspond au stade où les fruits sont jaunes, avec les bouts verts. Le jus obtenu est trouble et ne se filtre pas facilement. Essayée avec des bananes entièrement jaunes, cette dose n'a donné qu'une purée visqueuse qui ne libère pas de jus au pressurage.

L'utilisation de la chaux à 0,5 % donne au malaxage une purée brune qui, après neutralisation par l'acide sulfurique recouvre la couleur de la pulpe avant le chaulage et donne au pressurage un jus facilement filtrable.

L'emploi d'une dose de 0,5 % de chaux au traitement de bananes entièrement jaunes ne donne pas de jus au pressurage.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux 24, 25, et 26.

3.2.3.4. Discussion des résultats

D'après les résultats de l'étude du taux de rendement à l'extraction des principales variétés de bananes cultivées au Rwanda, nous constatons que :

1. Le rendement en jus dépend de la variété de bananes utilisée (tableaux 20, 22 et 24). Les bananes dites à "vin" donnent des rendements plus élevés par rapport aux bananes de table. L'extraction du jus de ces variétés présente peu de difficultés, car elles peuvent libérer le jus par simple malaxage de la pulpe préalablement broyée. Ces variétés sont d'ailleurs traditionnellement appelées bananes à "vin", pour la simple raison qu'à l'échelle familiale, le vin de bananes est fabriqué uniquement à partir de ces variétés, car avec les méthodes traditionnelles, rudimentaires, on ne parvient pas à extraire du jus à partir des variétés de table.
2. Le rendement à l'extraction dépend aussi du degré de maturation (mûrissement) des bananes utilisées (tableaux 20, 22, 24 et 25). Ainsi, nous avons constaté que dans nos conditions de travail, les bananes jaunes aux bouts verts donnent les meilleurs résultats. Le taux de rendement à l'extraction peut atteindre 85 % par rapport au poids de la pulpe traitée.

3. Une fois ce stade de maturité dépassé, quelques fruits, surtout ceux de la "première main" commencent à se détacher d'eux-mêmes du régime. A ce stade du mûrissement, l'extraction mécanique du jus devient difficile, voire même impossible car la structure de la pulpe se ramollit très fortement, ce qui a pour effet d'augmenter sa viscosité, à tel point qu'après le malaxage de la pulpe broyée, on obtient une purée visqueuse qui ne libère pas de jus au pressurage.
4. Les variétés de table Inyamunyo, Kamaramasenge, Gisukali exigent, pour l'extraction du jus un traitement spécial. Elles doivent être préalablement mélangées avec des variétés à vin dans les proportions de 1 à 3. Au-delà, l'incorporation d'enzymes pectolytiques s'avère nécessaire.
5. Le jus obtenu par le procédé d'extraction mécanique est trouble et ne se clarifie pas par simple filtration, car la pectine en solution dans le jus exprimé de la banane contribue à maintenir en suspension les fines particules de la pulpe qui constituent le trouble. Les enzymes pectolytiques le clarifient complètement.
6. La variété Kayinja introduite récemment au Rwanda présente des particularités assez intéressantes. En effet, pour cette variété le jus peut être extrait même au stade de maturation très avancée sans recours aux enzymes. Par ailleurs elle renferme plus de sucres que les autres variétés (24-27 %). Chauffé à plus de 90°C, le jus extrait de cette variété devient rougeâtre, phénomène qui ne se rencontre pas chez les autres variétés.

Ainsi, d'après les résultats de l'étude du rendement à l'extraction du jus de bananes, les différentes variétés traitées peuvent être classées comme suit :

- variétés qui, arrivées à un degré de mûrissement où tout le fruit est jaune avec les extrémités vertes peuvent libérer le jus par simples traitements mécaniques exercés sur la pulpe (broyage, malaxage et pressurage). Ces variétés sont :

- Kayinja
- Intuntu
- Intokatoki
- Ingumba
- Ingaju
- Inkati

- variétés qui, quel que soit le degré de mûrissement, ne libèrent pas de jus par simple action mécanique exercée sur la pulpe. Additionnées d'enzymes pectolytiques ou de chaux, elles donnent du jus avec un rendement très faible. Mélangées avec des bananes à vin dans les proportions de 1 à 3, ces variétés libèrent facilement du jus, et le rendement peut atteindre 80 % par rapport au poids de la pulpe traitée. Ces variétés sont surtout :

- Gros Michel
- Inyamunyo

- variétés qui, prises séparément, traitées ou non par des enzymes pectolytiques ne libèrent pas de jus, alors que mélangées dans des proportions de 1 à 3 avec les variétés à vin traitées par des enzymes pectolytiques, elles deviennent aptes à libérer le jus. Ces variétés sont surtout :

- Kamaramasenge
- Gisukali

7. L'utilisation des enzymes pectolytiques permet d'augmenter le rendement en jus suite à la diminution de la viscosité de la pulpe résultant de la solubilisation des matières pectiques qui constituent le ciment retenant le jus dans la pulpe.

8. L'utilisation de la chaux dans l'extraction du jus de banane est moins onéreuse que l'emploi des enzymes pectolytiques, mais semble présenter des inconvénients sur le plan pratique :

- l'utilisation de la chaux et de l'acide sulfurique dans l'extraction du jus de bananes est d'une manipulation assez délicate et exige un personnel qualifié, car l'emploi de doses non appropriées fait échouer complètement l'opération.
- l'utilisation d'une quantité de 0,5 % de chaux par rapport au poids de la pulpe permet uniquement la clarification du jus. Le rendement de l'extraction reste le même que dans le procédé d'extraction mécanique (tableaux 24 et 25).
- seules, les bananes jaunes avec des bouts verts donnent des résultats satisfaisants.
- les bananes entièrement jaunes, traitées avec de la chaux donnent un rendement très faible, mais dans la plupart des cas, forment une pâte brune qui ne libère pas de jus au pressurage. Neutralisée avec de l'acide sulfurique, cette pâte recouvre la couleur initiale de la pulpe de bananes, mais ne libère pas de jus au pressurage, alors que les bananes de même maturité traitées avec des enzymes pectolytiques donnent du jus.

Ainsi, le traitement enzymatique de la pulpe s'est avéré, dans nos essais, le procédé d'extraction du jus de bananes qui donne les meilleurs résultats par rapport aux deux autres procédés expérimentés le procédé d'extraction mécanique et le procédé chimique de précipitation des matières pectiques par la chaux.

Tableau n° 16 : Evolution des sucres totaux au cours de la saccharification par les enzymes de malt de l'amidon de la banane (variété KAYMJA).

Température	!	Pause	!	Sucres formés (en g/100 ml)
53°c	!	0 minute	!	9,35
63°c	!	30 minutes	!	10,15
68°c	!	30 minutes	!	10,42
73°c	!	30 minutes	!	12,41
73°c-	!	30 minutes	!	13,62
73 -	!	30 minutes	!	14,06
75 -	!	30 minutes	!	14,87

Tableau n° 17 : Evolution des sucres totaux au cours de la saccharification par les enzymes de malt de l'amidon de la variété INTUNTU.

Températures	!	Pauses	!	Sucres formés (en g/100 ml)
53°c	!		!	6,92
63°	!	0 minute	!	7,00
63	!	30 minutes	!	7,33
68°c	!	30 minutes	!	7,56
73°c	!	30 minutes	!	10,21
73°-	!	30 minutes	!	12,14
75°-	!	30 minutes	!	12,2

Tableau n° 18 : Variation du pouvoir rotatoire au cours de la saccharification de l'amidon de la banane (variété INTENTU)

Température	Phase	Pouvoir rotatoire
53°	0 minute	2,4
	10 minutes	2,7
	20 minutes	2,9
	30 minutes	3,0
63°	0 minute	3,1
	10 minutes	3,2
	20 minutes	3,4
	30 minutes	4,0
73°	0 minute	5,6
	10 minutes	8,5
	20 minutes	10,9
	30 minutes	12,4
75°	0 minute	14,1
	10 minutes	15,4
	20 minutes	16,6
	30 minutes	17,2
	50 minutes	17,4
	70 minutes	17,3

Tableau n° 19 : Variation du pouvoir rotatoire au cours de la saccharification par les enzymes de malt de l'amidon de la banane (variété KIYINJA)

Température	Pause	Pouvoir rotatoire
55°	0 minute	3,2
	20 minutes	3,1
	40 minutes	3,1
65°	0 minute	3,2
	20 minutes	3,4
	40 minutes	4,0
73°	0 minute	12,3
	20 minutes	19,6
	40 minutes	21,1
75°	0 Minute	21,5
	20 minutes	21,8
	40 minutes	21,8

Figure 3 : Cinétique de la formation des sucres au cours de la saccharification de l'amidon par les enzymes de malt (variété Kayinja).

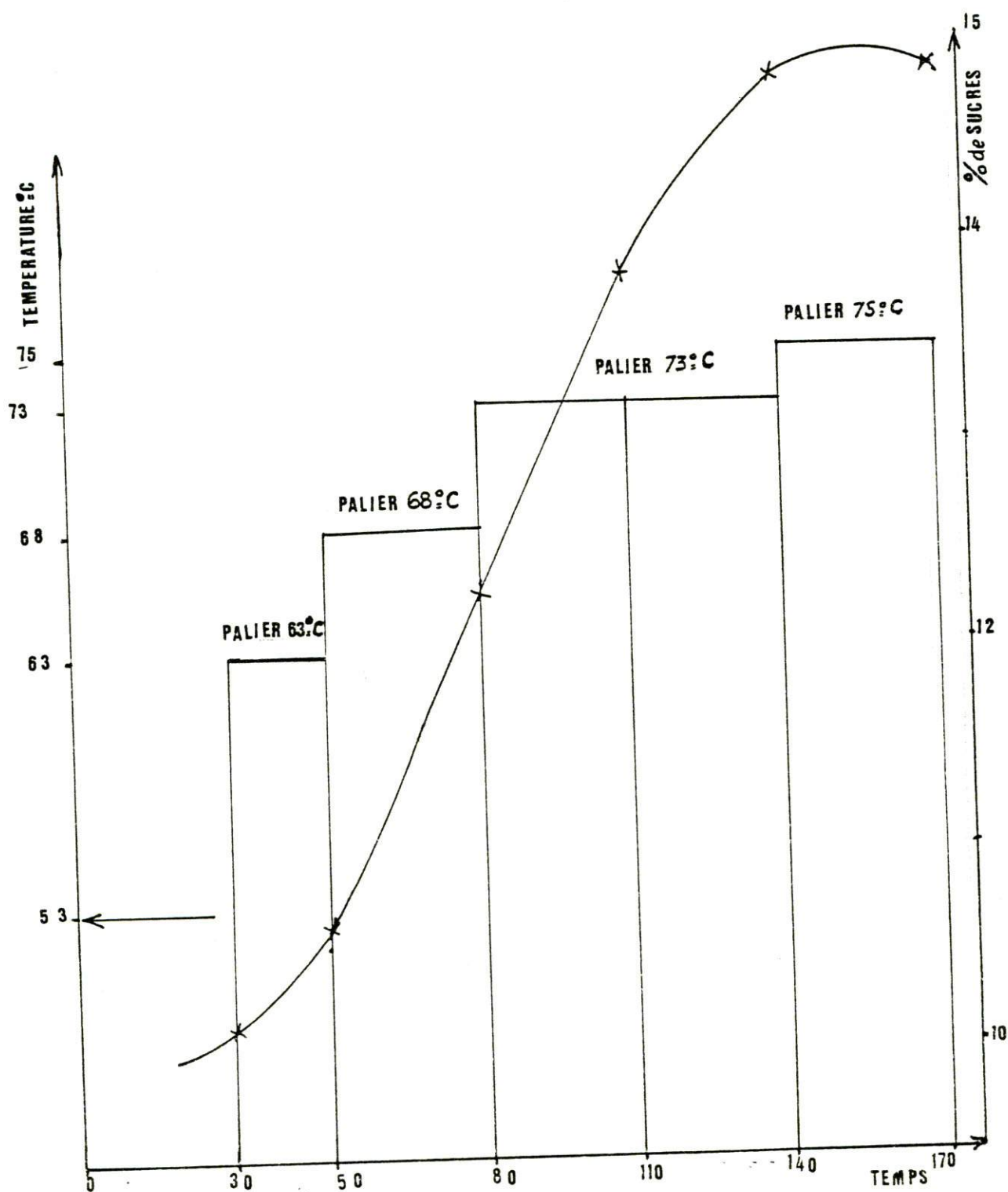


Figure 4 : Cinétique de la formation des sucres au cours de la saccharification de l'amidon de la banane par les enzymes de malt (variété Intuntu).

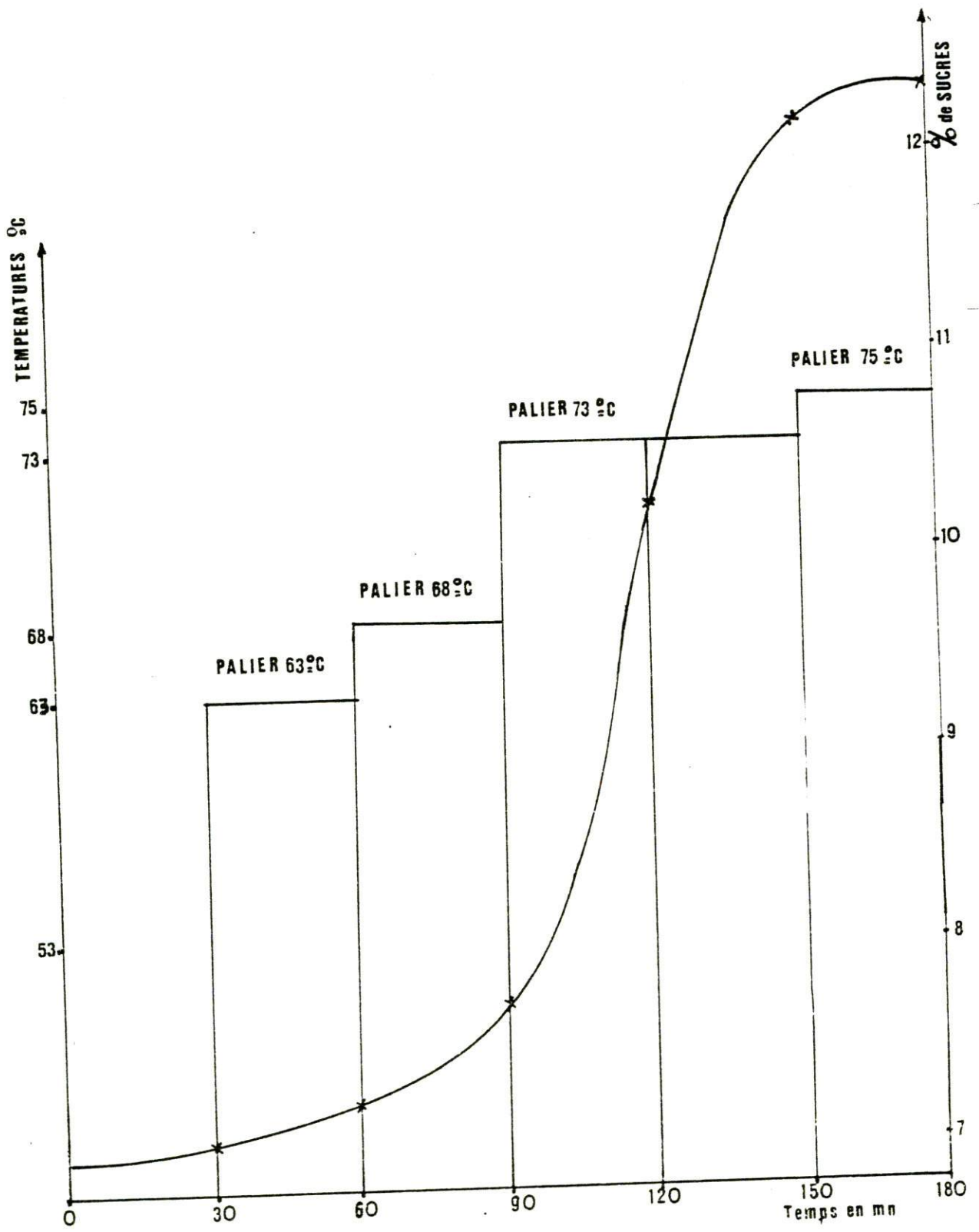


Figure 5 : Variation du pouvoir rotatoire au cours de la saccharification de l'amidon de la banane par les enzymes de malt. (Variété Intuntu).

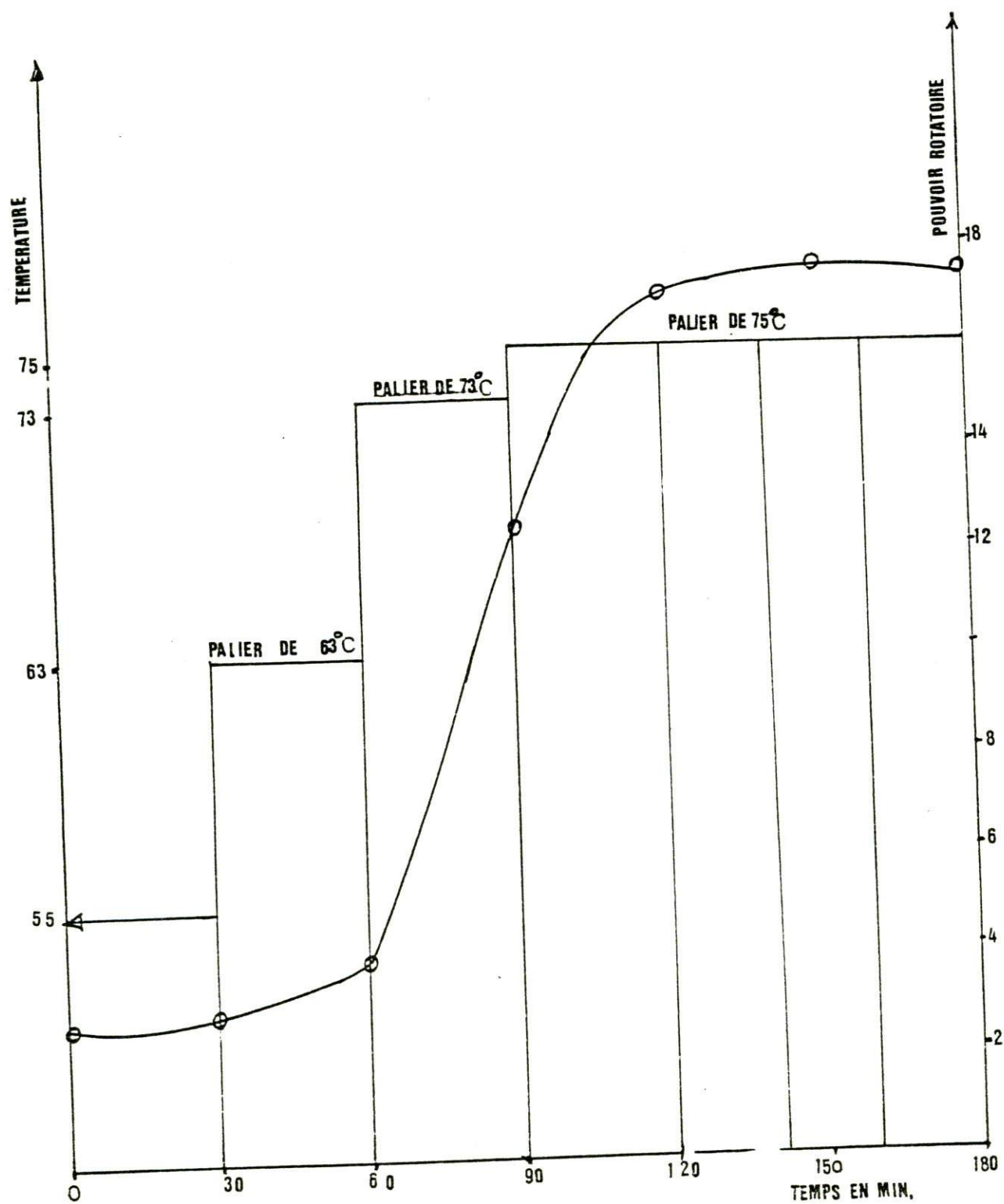


Figure 6 : Variation du pouvoir rotatoire au cours de la saccharification de l'amidon de la banane par les enzymes de malt. (Variété Intuntu).

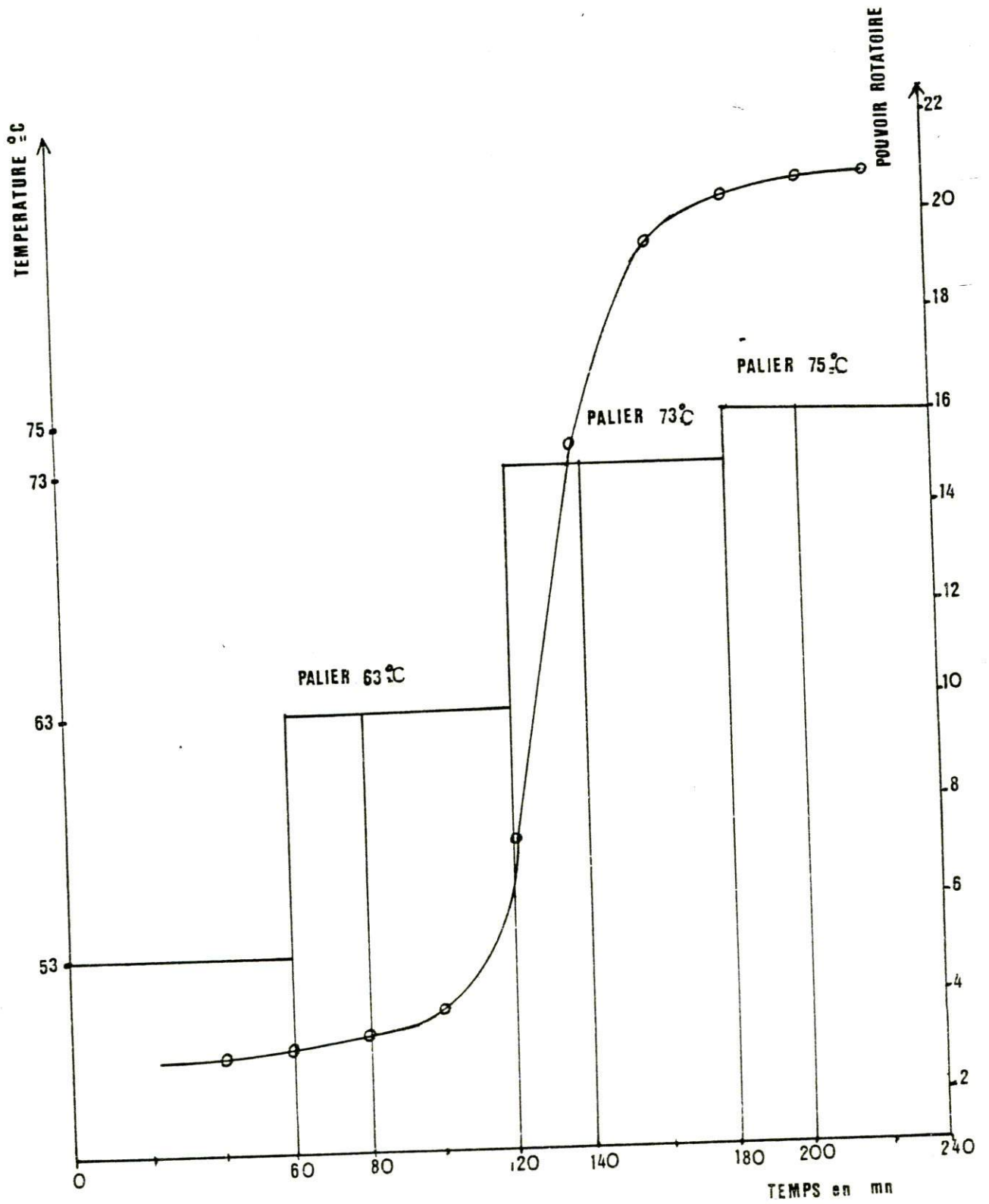


Tableau n° 21 : Caractéristiques du jus obtenu par le procédé d'extraction mécanique

Variétés	Densité du jus obtenu à 20°c	pH du jus obtenu	% Sucres totaux du jus obtenu en gr/100 ml
INTUNTU	1,0978	4,78	22,8
GROS MICHEL	1,1202	4,56	28
INGUMBA	1,004	4,7	23,5
INKATI	1,0915	4,69	21,2
INTOKATOKI	1,1001	4,77	23,4
INGAJU	1,0962	4,52	22,4
KAYINJA 75% + GROS MICHEL 25%	1,1260	4,66	28,7
INTUNTU 75% + KAMARAMASENGE 25%	1,1027	4,64	23,1
INGUMBA 75% + KAMARAMASENGE 25%	1,0977	4,56	23,9
INGAJU 75% + KAMARAMASENGE 25%	1,1101	4,9	26
KAYINJA 75% + KAMARAMASENGE 25%	1,1226	4,71	29,2

Tableau n° 22 (Suite)

EXTRACTION ENZYMATIQUE (Suite 2)

Variétés	Etat de maturation (mûrissement)	Poids régimes Mors Kg	Poids pulpe Kg	Poids pelure et rachis Kg	Poids déchets de presse Kg	Poids déchets total Kg	Volume Jus litres	Poids Jus Kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
																			total
INGACJU	Fruit entièrement jaune	57	32,3	124,7	7,5	32,2	20,7	2124,56	66	143,33	156,49	143,08	176,03	23,21					
INTOKATOKI	Fruit jaune avec bout vert	20,5	12,61	7,9	1,5	9,4	10,2	111,09	160,5	142,5	150,0	154,09	188,01	11,9					
INTEMDE	Fruit jaune avec bout vert	16,2	9,31	6,9	1,5	8,4	7	7,6	157,4	142,6	151,8	146,91	181,72	16,1					
INTUNTU	Fruit jaune avec bout vert	58	34	124	5,5	29,5	26,12	2128,5	159,0	141,5	150,86	149,13	183,82	16,17					
KAYINJA	Fruit entièrement jaune	27,6	16,51	11,4	3,7	15	11,28	112,53	159,8	141,3	154,34	145,39	175,93	21,8					
INYAMUNYO	Fruit jaune avec bout vert	40,6	24,01	17	-	-	-	-	159,1	141,9	-	-	-	-					
INGACJU	Fruit jaune avec bout vert	38,1	22,41	15,7	6,8	27,4	20,76	22,84	57,33	42,66	52,8	44,09	76,90	22,89					
KAYINJA	Fruit entièrement jaune	13,7	7,31	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
INYAMUNYO	Fruit jaune avec bout vert	20,8	12,71	8	10	45,9	33,7	37,21	157,53	141,62	154,9	144,50	177,35	20,6					
KAYINJA	Fruit entièrement jaune	62,8	36	126,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
INYAMUNYO	Fruit jaune avec bout vert	27,3	16,31	11	7,6	38	31,38	34,2	57,95	42,04	52,55	47,30	81,62	18,13					
INTUNTU	Fruit jaune avec bout vert	45	25,61	19,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

Tableau 23

 CARACTERISTIQUES DU JUS OBTENUS PAR LE
 PROCÉDE D'EXTRACTION ENZYMATIQUE

Variétés	Densité à 20°C	pH	Sucres totaux g/100ml
INGAJU	1,0962	4,52	22,4
INKATI	1,0915	4,69	21,2
INTOKATOKI	1,1001	4,77	23,4
INTUNTU	1,0973	4,78	22,8
INGUMBA	1,004	4,7	23,5
GROS-MICHEL	1,1202	4,56	28
KAYENJA	1,1115	4,6	26,6
INTEMBE	1,0856	4,7	19,5
INYAMUNYO 25% + KAYENJA 75%	1,1043	4,9	24,7

..//..

Tableau EXTRACTION DU JUS PAR LA CHAUX 0,05% de chaux par rapport au poids de pulpe de bananes

Variétés	Stade de maturation (mûrissement)	poids		poids		poids		poids		poids		Volume		poids		%		%		%		%		%	
		Régimes mors Kg	pulpe Kg	et rachs Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg	de procès Kg
KAYIRMA	Fruit entièrement jaune	25,3	15,0	9,5	5	14,4	9,42	110,55	162,45	137,54	156,91	141,91	166,77	131,64											
INTUCITO	Fruit jeune avec bout vert	45	26	119	5	24,2	119	121	157,77	142,22	153,77	146,66	180,76	119,23											
	Fruit jeune avec bout vert	53,3	30,6	122,7	6	28,7	122,10	124,4	157,41	142,50	145,77	145,77	179,73	119,60											
INGURMA	Fruit jeune avec bout vert	51,3	30,5	120,8	5,3	21,1	124,34	126,77	159,45	140,54	141,13	157,10	187,77	117,37											
KAHARIMA	Fruit entièrement jaune	115,13	0,7	16	Extraction de jus faible	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GISUKALI	Fruit rouge	115,3	0,5	16,0	Extraction de jus faible	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fruit jeune avec bout vert	27,6	117,6	110,3	Extraction de jus faible	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INGURMA	Fruit jeune avec bout vert	1	1	1	Extraction de jus faible	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

..... /

Tableau n° 26 : Caractéristiques du jus obtenu par le procédé d'extraction avec de la chaux

Variétés	% de CaO utilisée	pH initial de la pulpe	pH après chaulage	pH après neutrali- sation par H ₂ SO ₄	Densité du jus obtenu à 20°C	Sucres totaux en gr/ 100 ml
INGAJU	0,05	4,54	4,82	4,7	1,1046	22,6
INGUMBA	0,05	4,5	4,9	4,7	1,1046	22,8
INKATI	0,05	4,6	4,9	4,76	1,0988	23
INTUNTU	0,05	4,7	4,92	4,69	1,0010	23
INGAJU	0,5	4,5	8,42	5,05	1,102	22
INGUMBA	0,5	4,5	8,2	5,13	1,105	23
INKATI	0,5	4,6	8,5	4,63	1,1040	23,5
INYAMUNYO	0,5	4,7	8,5	4,71	1,0984	22
INTUNTU	0,5	4,67	8,7	4,83	1,1001	23

4. ISOLEMENT DES LEVURES

4. ISOLEMENT DES LEVURES

4.1. ORIGINE DES SOUCHES

Les souches qui ont servi dans cette étude ont été isolées à partir des vins de bananes traditionnels au Rwanda, fabriqués à l'échelle familiale. Les échantillons de vin ont été collectés dans 5 Préfectures du pays, considérées comme régions à forte production bananière et de vin de bananes. Il s'agit des Préfectures de Cyangugu, Butare, Gisenyi, Kibungo et Gitarama.

4.2. METHODE D'ISOLEMENT

Les échantillons ont été fortement dilués de façon à obtenir sur boîtes de Pétri des colonies séparées. A cet effet, 1 ml de liquide a été prélevé sur chaque échantillon et a été ensuite dilué jusque 10^{-15} . Après dilution, on étale 0,1 ml de chaque échantillon sur le milieu de culture : gélose de SABOURAUD (19). Le tout est incubé à la température du local de travail (20-22°C). Pour tous les échantillons les colonies sont apparues sur le milieu de culture après 3 à 4 jours d'incubation. Au 4ème jour on prélève, à l'aide d'un fil de platine une à une les colonies les plus distinctes. Ces colonies ont fait ensuite l'objet d'une nouvelle culture sur le même milieu solide. Des colonies pures de levures ont été obtenues et conservées au réfrigérateur sur milieu solide.

4.3. COMPOSITION DU MILIEU DE CULTURE D'APRES L'INSTITUT PASTEUR (19)

Peptone Chapoteaut	10 g
Glucose massé	20 g
Agar	15 g
Eau distillée	1 l

Le pH du milieu est ajusté à 6 au moyen de soude N/10.

4.4. PREPARATION DU MILIEU

45 g de gélose de SABOURAUD déshydratés sont dissous dans 1 litre d'eau distillée. Après 5 minutes de repos, la solution est mélangée jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène. Celle-ci est chauffée lentement en agitant fréquemment, puis portée à ébullition jusqu'à dissolution complète. Ensuite, le pH est ajusté à 6 et le milieu est réparti dans les boîtes de Pétri qui sont stérilisées à 120°C pendant 20 minutes.

Les tableaux 27, 28 et 29 rassemblent les analyses effectuées sur les échantillons collectés et les différentes souches de levures obtenues.

4.5. POUVOIRS ALCOOGENES DES DIFFERENTES SOUCHES

Afin de tester la capacité des levures isolées à transformer le jus de bananes en vin, nous avons procédé à des essais de fermentation. Ces essais ont été effectués sur le jus de bananes de variété Intuntu possédant les caractéristiques suivantes :

- pH	4,4
- Extrait densimétrique	21,30 g/100 ml
- Sucres totaux	20,392 g/100 ml
- Sucres réducteurs	13,862 g/100 ml
- Saccharose	6,530 g/100 ml

4.5.1. Préparation de l'inoculum (50)

Avant l'ensemencement du jus il est procédé à la multiplication de la levure en culture pure sur le jus de bananes de variété Intuntu. A cet effet, à l'aide d'un fil de platine, on prélève une faible quantité de levures sur une colonie bien développée, et ensuite on ensemence aseptiquement une petite quantité de jus préalablement stérilisé à l'autoclave (10 à 15 ml dans des tubes à essais). On laisse ensuite fermenter à l'étude à 28°C. Après 2 jours, la fermentation est en phase logarithmique ; à ce moment, on verse le milieu en fermentation dans un autre jus stérile dont le volume est dix fois plus important. On attend que la fermentation entre à nouveau dans une phase tumultueuse, et on renouvelle les mêmes opérations jusqu'à ce que l'on obtienne un volume de jus en pleine fermentation égal à 2 % du volume total du jus à

Tableau 27

Souches isolées des vins de CYANGUGU

Lieu de prélèvement de l'échantillon	pH de l'échantillon	Teneur en alcool de l'échantillon %	Acidité totale de l'échantillon gr H ₂ SO ₄ /100 ml vin	Dénomination des souches isolées
Mibilizi	3,9	6	0,051	E ₁
Gishoma chez un habitant	3,9	8,8	0,1004	E ₂
Gishoma marché	4	6,2	0,0554	E ₃
Kamembe	3,8	4,77	0,0623	E ₄
Nyamasheke	3,75	3,6	-	E ₅
Bushenge I	4,1	6,57	0,0548	E ₆
Bushenge II	4,05	6	0,0562	E ₇
Shangi (Paroisse)	4,2	10,86	0,0648	E ₈

..//..

Tableau 28

SOUCHES ISOLEES DES VINS DE KIBUNGO

Lieu de prélevement de l'échantillon	pH de l'échantillon	Acidité totale en gr de H ₂ SO ₄ 100 ml de vin	Teneur en alcool en %	Dénomination des souches
Kibungo (paroisse) vin Viki à 150 Frw la bouteille	4,3	0,041	13,07	J ₁
Kibungo (paroisse) vin à 40 Frw la bouteille	4,4	0,052	8,23	J ₂
ZAZA chez les Benebikira vin à 40 Frw la bouteille	4,5	0,051	8,55	J ₃
Birenga (chez un habitant vin à 40 Frw la bouteille)	4,1	0,068	9,46	J ₄
Rutonde (chez les Frères Josephites)	4,4	0,063	8,88	J ₅
INYAMABUYE (Paroisse)	-	0,076	10,03	J ₆
Kigarama (chez un habitant)	4,0	0,076	7,35	J ₇
Rutonde (Rwamagana sud)	4,0	0,065	8,00	J ₈

.../...

Tableau 28 (suite)

SOUCHEs ISOLEES DES VINS DE KIBUYO

Lieu de prélèvement de l'échantillon	pH de l'échantillon	Acidité totale en gr de H ₂ SO ₄ 100 ml de vin	Teneur en alcool en %	Dénomination des souches
Rutonde (Rwamagana)	3,85	0,051	4,98	J ₉
Kabarondo	4,4	0,053	6,73	J ₁₀
Gahini (Rukara)	4,05	0,062	5,96	J ₁₁
Rukara (Kayonza)	4,0	0,066	6,65	J ₁₂
Muhazi Est	3,9	0,074	4,34	J ₁₃
Rukira (Marché)	3,8	0,081	5,96	J ₁₄
Kigarama Est	4,1	0,051	6,73	J ₁₅

Autres souches étudiéesTableau 29

PROVENANCE ! DPS # SOUCHES !	DENOMINATION DES SOUCHES ISOLEES									
EUTARE !	C ₁ !	C ₂ !	C ₃ !	C _{4a} !	C _{4b} !	C _{5a} !				
GITARAMA !	B ₁ !	B ₂ !	B ₃ !	B ₄ !	B ₅ !	B ₆ !				
PAYS-BAS !	CBS 2814 !	CBS 1319 !	CBS 430 !	CBS 1401 !	CBS 1459 !	-				
ETATS-UNIS !	ATCC !	- !	- !	- !	- !	- !				

fermenter. Les cuves utilisées pour les essais de vinification ont un volume de 10 l au maximum.

4.5.2. Teneur en alcool (% en volume) du vin de bananes obtenu par fermentation du jus extrait de la variété Intuntu par les différentes souches pures isolées

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 30.

Teneur en alcool (% en volume) du vin de bananes obtenu par fermentation du jus par les différentes souches pures isolées

Tableau n°30

1) C ₁	9,2	18) G ₁	Contaminée
2) C ₂	9,5	19) G ₂	11,1
2) C ₃	10,2	20) G ₆	9,1
4) C _{4a}	9,1	21) CBS 1219	10,9
5) C _{4b}	9,2	22) CBS 2814	Contaminée
6) C _{5a}	10,5	23) CBS 430	11,7
7) E ₁ a	9,9	24) CBS 1098	Contaminée
8) E ₂ a	9,4	25) CBS 1586	11,5
9) E ₂ b	10,7	26) CBS 1401	11,6
10) E ₃ a	10,7	27) CBS 1459	10,2
11) E _{7a}	9,4	28) A T C E	11,8
12) J ₂ a	10,2	29) GX ₂	10,3
13) J ₄ b	9,7	30) GX ₃	10,4
14) J ₆ b	8,7	31) GX ₄	10
15) J ₇ a	10,0	32) B ₁	Contaminée
16) J ₁₆ b	10,8	33) B ₂	Contaminée
17) J ₆ a	Contaminée	34) B ₃	Contaminée
		35) B ₄	Contaminée
		36) B ₅	Contaminée
		37) B ₆	Contaminée

Il s'est révélé que les 10 souches incriminées n'avaient pas été maintenues à l'état pur.

4.5.3. Discussion des résultats

D'après les résultats obtenus (tableau 30), les souches isolées semblent être appropriées à la fermentation du jus de bananes. Cependant, il s'avère indispensable de préciser les conditions dans lesquelles elles se développent normalement. En effet, comme tous les organismes, les levures se développent dans un milieu renfermant une alimentation appropriée et dans une échelle de température bien déterminée (54).

Ainsi, le comportement de chaque souche à différentes températures sera précisé ici. Quant à la teneur des matières nutritives dans le jus de bananes, nous pensons que ce milieu est bien pourvu en ces éléments sauf en matières azotées, car la banane est très pauvre en azote. Des essais d'utilisation du phosphate d'ammonium et de la farine de sorgho comme sources de matières azotées seront effectués également.

En ce qui concerne la farine de sorgho, il faut préciser que l'idée de son utilisation comme stimulant de la fermentation vient du paysan rwandais. En effet, comme nous l'avons déjà signalé au paragraphe 1.5. "Boissons préparées à base de jus de bananes au Rwanda", la farine de sorgho est indispensable à la fermentation du jus. Fermenté sans ajout de farine de sorgho, le moût de bananes est attaqué par des microorganismes développant dans le jus une acidité excessivement élevée qui finit par bloquer la fermentation alcoolique.

Des expériences sur l'utilisation du sorgho dans la fermentation du jus de bananes ont été effectuées à l'O.V.I.B.A.R. : elles ont montré que l'ajout de farine de sorgho avant fermentation évitait les risques de contamination et donnait un vin de bonne qualité. Ainsi, il a été jugé utile d'essayer de préciser au cours de cette étude le rôle joué par le sorgho dans la fermentation du jus de bananes ; les essais de fermentation en présence de farine de sorgho ont été effectués sur des jus extraits de variétés Intuntu et Kayinja. Ces variétés ont été retenues pour les raisons suivantes :

1. la variété Intuntu présente presque les mêmes caractéristiques que les autres variétés classiques de bananes à vin et constitue le cultivar le plus répandu dans le pays.
2. la variété Kayinja est un cultivar de récente introduction au Rwanda

qui n'est pas exigeant au point de vue cultural et qui présente des particularités intéressantes au point de vue vinicole. Effectivement, cette variété se caractérise par un rendement élevé à l'extraction et par un taux de sucres très élevé (24-27 %). De cette variété on obtient du vin très apprécié. D'ailleurs, au niveau du paysan rwandais, la variété Kayinja est utilisée en mélange avec d'autres bananes à vin pour améliorer la qualité du vin, d'où la nécessité d'une étude plus approfondie du comportement au cours de la fermentation du jus de cette variété de bananes.

4.6. DETERMINATION DES CONDITIONS OPTIMALES DE DEVELOPPEMENT DES SOUCHES ISOLEES

Des essais de fermentation sont effectués sur du jus extrait des deux variétés précitées : Intuntu et Kayinja.

Pour étudier le comportement de chaque souche aux différentes températures, la fermentation est conduite aux températures suivantes :

- à la température ambiante à 20-22°C
- à la température de 25°C
- à la température de 30°C
- à la température de 35°C

Pour étudier le rôle de la farine de sorgho dans la fermentation du jus de bananes à chaque température citée ci-dessus, les essais suivants sont effectués :

- a) fermentation du jus préalablement additionné de farine de sorgho.
- b) fermentation du jus préalablement additionné de phosphate d'ammonium.
- c) fermentation du jus sans aucun ajout.

Pour chaque température, la fermentation s'effectue dans des ballons de 5.000 ml munis de robinets permettant de réaliser facilement les prélèvements. Avant l'ensemencement dans le jus de bananes d'un premier ballon, on ajoute 0,5 g de phosphate d'ammonium (0.1 g/l) ; dans un second ballon, on ajoute 25 g de farine de sorgho (5 g/l), tandis que dans un troisième, rien n'est ajouté. Ensuite, chaque ballon est

ensemencé par la souche multipliée en culture pure sur du jus de bananes de la variété Intuntu. Après l'ensemencement, les ballons sont placés aux différentes températures requises.

On suit la marche de la fermentation par l'étude de l'évolution de la densité, de l'acidité volatile, de la formation de l'alcool et de la dégradation des sucres.

4.6.1. Dosage des sucres

Les sucres dans le jus en fermentation sont dosés par méthode iodométrique proposée par l'Office International du Vin (18).

4.6.2. Evolution de l'alcool éthylique

Pour le dosage de l'alcool éthylique, nous avons utilisé la méthode chimique basée sur l'oxydation chromique de l'alcool, proposée par RIBEREAU GAYON (20).

4.6.3. Détermination de la densité

La densité a été déterminée à 20°C à l'aide d'un picnomètre et d'une balance de précision(49).

4.6.4. Détermination de l'acidité totale

L'acidité totale a été déterminée par neutralisation d'un volume donné de jus ou de vin avec de la soude décinormale en présence de phénolphtaléine(53).

4.6.5. Dosage de l'acidité volatile

Sa teneur varie suivant les conditions de la fermentation, la composition du moût, l'espèce de levure utilisée. Dans une fermentation saine, l'acidité volatile est faible. Elle se détermine sur un vin privé préalablement du gaz carbonique (CO₂) auquel on ajoute de l'acide tartrique pour libérer les acides volatiles salifiés, puis on recueille les différents acides par entraînement à la vapeur d'eau, et les titre par une solution de soude N/10 en présence de phénolphtaléine(20).

4.6.6. Fermentation du jus extrait de la variété Intuntu par la souche GX₄

Les caractéristiques du jus sont :

- Sucres totaux 20,8 g/100 ml
- Densité 1,0899

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont consignés :

- dans les tableaux 31, 32 et 33 et illustrés par les figures 7 et 8 en ce qui concerne les fermentations menées à température ambiante.
- dans les tableaux 34, 35 et 36 et illustrés par les figures 9 et 10 en ce qui concerne les fermentations menées à 25°C.
- dans les tableaux 37, 38 et 39 et illustrés dans les figures 11 et 12 en ce qui concerne les fermentations menées à 30°C.
- dans les tableaux 40, 41 et 42 et illustrés par les figures 13 et 14 en ce qui concerne les fermentations menées à 35°C.

4.6.6.1. Discussion des résultats

L'étude de la fermentation par des souches isolées de régions de production bananière et de vin de bananes du Rwanda a été menée à 4 températures : température ambiante (20-22°C), température de 25°C, 30°C et 35°C. Trois essais ont été réalisés pour chacune des températures (jus en présence de farine de sorgho, jus en présence de phosphate d'ammonium et jus pur).

Nous avons suivi, en fonction du temps, la formation de l'alcool, la dégradation des sucres et l'évolution de l'acidité volatile.

A chaque température, nous avons étudié l'action soit du phosphate d'ammonium, soit de la farine de sorgho sur la fermentation. La farine de sorgho est utilisée dans la fermentation du jus de bananes à l'échelle familiale. Des expériences réalisées à l'échelle de la production au sein de l'O.V.I.B.A.R. ont confirmé le bien fondé de cette pratique. Nous avons pensé que la farine de sorgho serait une source de matières azotées pour les levures au même titre que le

phosphate d'ammonium utilisé couramment en vinification des jus de raisin pauvres en matières azotées.

Les figures 7,8,9,10,11,12,13 et 14 représentent pour les différentes températures l'évolution de l'alcool éthylique de l'acidité volatile et de la dégradation des sucres.

En analysant ces éléments qui jouent un rôle non négligeable dans l'appréciation des vins, nous espérons pouvoir tirer des conclusions quant à l'utilisation des souches pures isolées au niveau de la fabrication de vins de bananes.

4.6.6.1.1. Alcool éthylique et sucres fermentés

Dans une fermentation normale, la teneur en alcool des vins, lorsque la richesse du moût le permet, peut atteindre au maximum 16 %, car l'alcool bloque l'activité des levures.

Ainsi, l'alcool éthylique dans les vins représente de 7 à 16 % du volume (RIBEREAU-GAYON, 1976) (20).

En considérant la quantité d'alcool produite et celle des sucres dégradés à la température ambiante, nous constatons que la souche GX4 se comporte mieux dans le jus contenant de la farine de sorgho où elle produit 10,8 % d'alcool éthylique en 7 jours. Le taux de sucres restant est de 1,1 %.

Le phosphate d'ammonium à cette température ne semble pas stimuler la fermentation puisque les quantités d'alcool formé et de sucres dégradés restent inférieures à celles atteintes dans le jus fermenté sans ajout de farine de sorgho ou de phosphate d'ammonium.

4.6.6.1.2. Acidité volatile

L'acidité volatile d'après les textes officiels en vigueur en France (20) est définie comme suit :

"L'acidité volatile est constituée par les parties des acides gras appartenant à la série acétique qui se trouvent dans le vin soit à l'état libre, soit à l'état salifié". Elle provient soit de l'oxy-

dation de l'alcool par des bactéries acétiques, soit du métabolisme des bactéries lactiques aux dépens de substrats autres que l'acide malique (la décomposition de l'acide citrique par exemple, la fermentation lactique des pentoses), soit par une déviation du métabolisme levurien induite par les conditions du milieu" (22,24).

"Ainsi, l'acidité volatile est considérée comme l'indice d'une altération bactérienne, et pour éviter la commercialisation des vins impropres à la consommation, sa teneur est réglementée et ne peut pas dépasser 18,3 méq/l pour le commerce de gros et 20,33 méq/l pour le vin de consommation courante, vendu par le commerce de détail" (20).

Si l'on considère la quantité d'acidité volatile produite dans le jus de bananes fermenté par la souche GX4 à la température ambiante, nous constatons que les teneurs de 15,5 et de 15,6 méq/l ont été atteintes dans les essais où le jus de bananes a été fermenté en présence de farine de sorgho ou de phosphate d'ammonium.

Comme ces teneurs restent inférieures aux normes réglementaires, nous concluons que la fermentation est "saine" et que la farine de sorgho a contribué à la formation d'un taux d'alcool plus élevé que celui obtenu en son absence.

Pour les essais de fermentation effectués respectivement à 25, 30 et 35°C, nous constatons que :

1. la dégradation des sucres est presque totale en 5 jours avec la formation d'un taux d'alcool élevé (11,5 %) et d'acidité volatile assez faible (10 méq/l) dans le jus fermenté à 25°C avec addition de farine de sorgho.
2. pour le jus fermenté à 25°C avec addition de phosphate d'ammonium, le degré alcoolique atteint, dans un même laps de temps, est moins important (10,4 %). L'acidité volatile formée est plus élevée bien qu'inférieure aux normes réglementaires (12 méq/l).
3. le jus de bananes fermenté à 25°C sans ajout accuse un degré alcoolique faible (9,6 %) et une teneur en acidité volatile faible (12,1 méq/l).

4. le jus fermenté à 30°C avec addition de farine de sorgho donne un taux d'alcool de 11,8 % après 6 jours de fermentation avec une teneur en acidité volatile de 24 méq/l, bien au-dessus des normes réglementaires. Après 6 jours, le degré alcoolique tombe de 11,8 % à 11,3 % et l'acidité volatile passe de 24 à 31 méq/l.
5. le jus fermenté à 30°C en présence de phosphate d'ammonium atteint un degré d'alcool de 10,7 % et une acidité volatile de 11,3 méq/l. Après 8 jours de fermentation, le sucre est presque épuisé, le degré d'alcool passe de 10,7 % à 10,4 % avec une acidité volatile de 30,5 méq/l.
6. pour le jus fermenté à 30°C sans ajout, la dégradation des sucres est moins rapide. Après 5 jours de fermentation le degré alcoolique est de 9,6 %. Après 8 jours de fermentation, on observe également une augmentation de l'acidité volatile aux dépens de l'alcool formé
7. à 35°C, la fermentation est saine et la quantité d'alcool produite est respectivement de 9,4 % pour le jus avec la farine de sorgho, de 10,2 % pour le jus additionné de phosphate d'ammonium et de 9,6% pour le jus fermenté sans ajout.

4.6.7. Fermentation à différentes températures du jus extrait de la variété Intuntu par la souche J2a

Les caractéristiques du jus sont les mêmes que pour la souche GX4.

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont consignés

- dans les tableaux 43, 44 et 45 et illustrés par les figures 15 et 16 en ce qui concerne les fermentations menées à 25°C.
- dans les tableaux 46, 47 et 48 et illustrés par les figures 17 et 18 en ce qui concerne les fermentations menées à 35°C.

4.6.7.1. Discussion des résultats obtenus dans les essais de fermentation du jus de bananes de variété Intuntu par la souche J2a

En analysant la cinétique de la dégradation des

sucres et de la formation de l'alcool au cours de la fermentation, nous constatons que :

1. comme la souche GX4, la souche J2a fermente mieux le jus de bananes à 25°C (figures 15 et 17).
2. le phosphate d'ammonium ne semble pas activer la fermentation alcoolique à la température de 25°C, puisque la quantité d'alcool produite dans le jus additionné de phosphate d'ammonium est égale à celle atteinte dans le jus témoin.
3. la fermentation du jus additionné de farine de sorgho met de nouveau en évidence la rôle du sorgho comme activateur de la fermentation, puisque la quantité d'alcool produit est la plus élevée de tous les essais.
4. l'acidité volatile formée au cours de la fermentation par la souche J2a à 25°C reste dans les normes réglementaires dans les fermentations où le jus a été additionné de farine de sorgho et dans le jus témoin. Dans les fermentations avec addition de phosphate d'ammonium, la teneur en acidité volatile sort des normes réglementaires (figure 16).
5. les essais de fermentation effectués à 35°C accusent des taux d'acidité volatile élevés à l'exception du jus additionné de farine de sorgho.
6. la quantité d'alcool produit à 35°C reste inférieure à celle atteinte dans la fermentation à 25°C du jus de bananes additionné de farine de sorgho.

D'une manière générale, nous pouvons conclure que la souche J2a se comporte dans le jus de bananes de la même façon que la souche GX4 précédemment étudiée, et que la farine de sorgho active la fermentation alcoolique du jus de bananes.

4.6.8. Fermentation du jus extrait de la variété Kayinja à différentes températures par la souche C1

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont consignés :

- dans les tableaux 49, 50 et 51 et illustrés par les figures 19 et 20 en ce qui concerne les fermentations menées à 30°C.
- dans les tableaux 52, 53 et 54 et illustrés par les figures 21, 22 en ce qui concerne les fermentations menées à 35°C.

4.6.8.1. Discussion des résultats

D'après les courbes de fermentation, nous constatons qu'à 30°C la fermentation du jus additionné de farine de sorgho aboutit au taux d'alcool le plus élevé (12,2°C) et à une acidité volatile inférieure aux normes réglementaires. Comme le jus utilisé pour la fermentation a un potentiel alcoogène de 14,4°C, le rendement en alcool est de

$$\frac{12,2 \times 100}{14,4} = 84 \%$$

En revanche, la fermentation de ce même jus additionné de phosphate d'ammonium n'atteint qu'un taux d'alcool de 11,2°C avec une acidité volatile de 16,5 meq/l, supérieure à celle formée dans la fermentation du jus additionné de farine de sorgho, ce qui souligne encore une fois le rôle du sorgho dans la fermentation du jus de bananes.

Le jus fermenté sans ajout aboutit à une teneur en alcool moins élevée (10,9°C) et à une acidité volatile normale.

La fermentation à 35°C conduit aux conclusions suivantes :

1. le taux d'alcool obtenu est inférieur à celui atteint dans les essais de fermentation à 30°C.
2. la fermentation à une température élevée occasionne une forte augmentation de l'acidité volatile, ce qui peut conduire à un arrêt de la fermentation avec le risque de développement de bactéries acétiques.
3. la farine de sorgho active la fermentation du jus de bananes, puisque la teneur la plus élevée en alcool (10,8°C) a été atteinte dans le jus additionné de farine de sorgho.

Tableau 31. Fermentation à la température ambiante 20-22°C du jus additionné de la farine de sorgho à raison de 5g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Alcool volume %	Densité à 20°C	Extrait densimétrique gr/100ml	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	pH
1	17,7	1,8	1,0762	20,5	70,5	9,5	4,42
2	12,8	4	1,0561	16,7	83,5	13	4,35
3	8,5	7,6	1,0422	13,9	86	11,1	4,34
4	6,6	8,2	1,0339	12,2	86,5	13	4,48
5	5,2	8,7	1,0149	7,0	86	13,4	4,54
6	3,3	9,9	1,0138	7,0	81,9	13,5	4,56
7	2,4	10,8	-	-	74	15,6	4,60

Tableau 32. Fermentation à la température ambiante du jus additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Alcool volume %	Densité à 20°C	Extrait densimétrique gr/100ml	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	pH
1	17,9	1,7	1,0760	20,5	69	9,3	4,42
2	9,6	4,8	1,0601	17,5	82	12,3	4,38
3	7,5	6,9	1,0467	14,6	83,5	12,1	4,31
4	6,2	7,5	1,0403	13,4	86,5	13,5	4,45
5	5,7	8,4	1,0317	11,5	84,3	13,5	4,40
6	4,5	9,2	1,0252	10,2	83,5	13,0	4,42
7	2,8	9,6	1,0191	8,5	83	12,1	4,49

Fermentation à la température ambiante
du jus pur sans ajout.

Tableau n° 33

Jours de fermentation	Sucres totaux ggr/100ml	Alcool volume %	Densité à 20°C	Extrait densimétrique g/100ml	Acidité titrable méq/l	Acidité volatile méq/l
1	17,1	1,6	1,0705	19	60,5	12,7
2	12,3	4,4	1,0584	17,1	66,5	14
3	7,4	6,3	1,0467	14,8	79,4	14,3
4	5,7	7,4	1,0317	11,3	77,3	14,4
5	4,6	9,3	1,0197	8,9	63,5	-
6	2	10	1,0136	7,7	62,4	15,5

Fermentation à 25°C par la souche GX4 du jus
additionné de farine de sorgho à raison de
5 g/l.

Tableau n° 34

Jours de fermentation	Sucres totaux g/100ml	Alcool volume %	Densité à 20°C	Acidité totale méq/l	Extrait densimétrique g/100ml	Acidité volatile méq/l
1	15,2	3,3	1,0688	61	18	7
2	9,8	6,3	1,0467	62	12	8
3	4	9,7	1,0247	65	6,4	11
4	2,4	10,6	1,0125	66	3,3	9
5	0,5	11,5	1,003	68	0,8	10

..//..

Tableau 35 . Fermentation à 25°C par la souche GX₄
du jus additionné de phosphate d'ammonium
à raison de 0,1 g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100ml	Alcool volume %	Densité à 20°C	Acidité totale méq/l	Extrait densimétrique gr/100ml	Acidité volatile méq/l
1	17,5	2,8	1,0730	62	19	7
2	11,9	5,1	1,0543	54	14,2	9
3	7,1	7,9	1,0355	61	9,3	9,5
4	4,7	9,1	1,0260	77	6,8	11
5	3,2	10,4	1,0155	82	4	12

Tableau 36 . Fermentation à 25°C par la souche GX₄
du jus pur sans ajout

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100	Alcool volume %	Densité à 20°C	Extrait densimétrique g/100ml	Acidité titrable méq/l	Acidité volatile méq/l
1	17,2	2,6	1,0740	19,3	59	6
2	12,2	4,9	1,0564	14,7	54	8
3	8,4	7,1	1,0388	10,1	63	10
4	5,2	8,8	1,0266	6,9	73	11
5	4	9,6	1,0172	4,5	78	12,1
	!	!	!	!	!	!

Tableau 37. Fermentation à 20°C par la souche GM₃ du jus additionné de farine de sorgho à raison de 5 g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Sucres réduct. en gr/100 ml	Alcool volume %	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	pH	Densité à 20°C
1	18,3	16,8	2°	72,5	9	4,42	1,0751
2	8,9	7,7	6°8	85	11,5	4,39	1,0485
3	7,6	6,1	7°4	85	19,5	4,36	1,0308
4	6,3	5,2	8°5	83,5	18	4,34	1,0207
5	2,4	1,9	10°4	80,3	19,5	4,44	1,0087
6	1,9	0,86	10°8	78,5	20,4	4,52	1,0021
7	1,3	0,77	11°8	69,5	24	4,58	0,9999
8	0,2	0,14	11°8	66,5	31	4,57	-

Tableau 38. Fermentation à 20°C par la souche GM₄ du jus additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 g/l

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Sucres réduct. en gr/100 ml	Alcool volume %	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	pH	Densité à 20°C
1	18,6	16,8	2°	71,0	9	4,43	1,0771
2	10	9,8	6°9	78	10,7	4,38	1,0498
3	8,2	7,9	7°6	80	11	4,33	1,0356
4	7,5	7	8°1	84,5	12,5	4,34	1,0271
5	3,4	3,1	9°3	72,5	11,3	4,47	1,0150
6	2	1,5	10°7	76,3	17,5	4,62	1,0057
7	1,8	1	10°7	65,5	22,5	4,59	1,0010
8	1,1	1,1	10°7	65	30,5	4,52	-

Tableau 39: Fermentation à 30° c par la souche GX₄
du jus pur sans ajout

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Sucres réduct. en gr/100 ml	Alcool volume %	Acidité totale m ^é q/l	Acidité volatile m ^é q/l	pH	Densité à 20°C
1	16,7	16,5	1°9	72	9	4,41	1,0755
2	10,4	10,2	6°7	78	10,7	4,38	1,0498
3	9,0	8,6	7°1	84	9,8	4,35	1,0396
4	8,7	7,9	7°6	78	11	4,40	1,0310
5	3,5	3,5	9°6	72,5	11,3	4,47	1,0050
6	2,7	1,8	10°2	69,4	19,2	4,62	1,0073
7	2,0	1,1	10°4	54,5	20	4,67	1,0010
8	1,9	0,12	11°4	63	20	4,59	-

Tableau 4.0 Fermentation à 25°c par la souche GX₄ du
jus additionné de farine de sorgho à raison
de 5 g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Alcool volume %	Acidité totale m ^é q/l	Acidité volatile m ^é q/l	Densité à 20°C	Extrait densimétrique en gr/100 ml	pH
1	16,5	3,7	74,5	9,1	1,0705	18,9	4,40
2	8	7,4	75	9,3	1,0371	12,0	4,39
3	7,1	8,3	82,5	10,5	1,0245	9,0	4,38
4	6,3	9,0	82,6	11	1,0208	8,5	4,41
5	5,6	9	83	15	1,0206	8,4	4,45
6	4,5	9,2	85,3	12,6	1,0189	7,8	4,42
7	3,5	9,4	85,5	10,9	1,0188	2,8	4,41
8	3,7	9,4	87,5	10	-	-	4,41

Tableau 41. Fermentation à 35°C par la souche GX₁
du jus additionné de phosphate d'ammonium
à raison de 0,1 g/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100 ml	Alcool Volume %	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Densité à 20°C	Extrait densimétrique en gr/100 ml	pH
1	15,8	3,7	72	9,2	1,0690	18,5	4,39
2	6,9	7,9	76	10,1	1,0382	12,2	4,39
3	5,7	8,4	86	11,5	1,0245	10	4,38
4	4,6	9,2	86	11,5	1,0152	7,0	4,40
5	4,4	9,3	88	15,4	1,0128	7	4,43
6	4	9,5	90,1	17	1,0126	6,6	4,42
7	2,6	9,9	87,4	11,3	1,0102	6,1	4,48
8	2,3	10,2	84,5	11,1	-	-	4,50

Tableau 42. Fermentation à 35°C par la souche GX₂
du jus pur sans ajout

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Densité	Extrait densimétrique	Acidité totale	Acidité volatile	pH
1	15,6	3,6	1,0705	19,8	73,5	9	4,36
2	7,6	7,9	1,0392	12,2	74	11,2	4,39
3	6,5	8,2	1,0224	9,2	85	11	4,34
4	5,7	8,7	1,0172	7,7	82	13	4,41
5	4,8	8,9	1,0159	7,3		15	4,45
6	3,9	9,1	1,0136	7,2	86,3	11	4,45
7	2,8	9,4	1,0138	7	81,5	10,6	4,49
8	2,6	9,6	-	-	78,3	10,4	4,56

Tableau 43. Fermentation à 25°C par la souche J2a du jus additionné de la farine de sorgho à raison de 5 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en g/100ml	Alcool Volume %	Acidité volatile még/l	Acidité totale még/l	pH
1	16,6	2°4	16	65	4,49
2	8,7	6°9	16,5	67,5	4,48
3	5,9	8°5	14	80	4,49
4	2,4	10°5	19	88	4,50
5	0,7	11°5	16,5	79	-

Tableau 44. Fermentation à 25°C par la souche J2a du jus additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux g/100 ml	Alcool volume %	Acidité volatile még/l	Acidité totale még/l	pH
1	17,2	2°	14	66	4,49
2	10,8	5°7	17,5	67	4,46
3	7,0	7°3	16,5	76	4,47
4	4,7	9°2	20	89,5	4,52
5	2	10°7	24	77	-

Tableau Fermentation à 25°C par la souche
J₂ du jus pur sans ajout.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100ml	Alcool Volume %	Acidité volatile mg/l	Acidité totale mg/l	pH
1	16,4	2°1	10,5	63,0	4,43
2	9,8	6°3	11	71,5	4,45
3	5,7	8°3	14	73,0	4,48
4	3,5	10°0	17,5	64,0	4,59
5	1,9	10°7	19,5	77	-

Tableau 46 Fermentation à 35°C par la souche J₂ du
jus additionné de la farine de sorgho.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100ml	Alcool Volume %	Acidité volatile mg/l	Acidité totale mg/l	pH
1	15,3	3°1	11,5	73	4,37
2	4,8	9°1	13,0	79	4,46
3	3,3	10°5	16,0	79	4,43
4	1,7	10°9	19	79	4,50

Tableau 47 . Fermentation à 35°c par la souche J_{2a} du jus additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100ml	Alcool volume %	Acidité volatile méq/l	Acidité totale méq/l	pH
1	16	2°7	17,0	75	4,37
2	5,4	8°8	17,5	81,5	4,40
3	1,9	10°8	19,5	82,0	4,46
4	1,5	10°8	21	76	4,53
	!	!	!	!	!

Tableau 48. Fermentation à température de 35°c par la souche J_{2a} du jus pur, sans ajout.

Jours de fermentation	Sucres totaux en gr/100ml	Alcool volume %	Acidité volatile méq/l	Acidité totale méq/l	pH
1	16,0	2°7	13,5	74	4,41
2	5,9	8°5	18,0	77,5	4,45
3	4,5	9°3	22,5	84,0	4,47
4	2,4	10°5	31,0	84,5	4,45
	!	!	!	!	!

Tableau 49 - Fermentation à 30°C par la souche C₁ du jus de KAYINJA additionné de farine de sorgho à raison de 5 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir d'oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,50
2	23,3	1°6	7,4	60	144	4,55
3	14,1	6°8	13	61	151	4,43
4	8,2	9°3	13,5	67	149	4,46
5	4,4	11°4	14,5	66,5	149	4,47
6	0,9	12°2	15	63	144	4,55

Tableau 50 Fermentation à 30°C par la souche C₁ du jus extrait de la variété KAYINJA additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir d'oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,50
2	23,5	1°5	15,5	60	148	4,48
3	16,5	5°5	15	68	153	4,39
4	8,2	5°3	14,5	72,5	152	4,41
5	7,8	9°7	15,0	75,5	152	4,42
6	3,6	11°2	16,5	74,5	149	4,47

Tableau 51 Fermentation à 30°C par la souche C₁ du jus pur extrait de la variété KAYINJA

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,50
2	23,3	1°6	7,5	55	147	4,50
3	14,9	6°4	13	67,5	155	4,37
4	12	8°2	14	73,5	153	4,40
5	9	9°3	14,5	77	152	4,41
6	4,8	10°9	15,5	73,0	149	4,46

Tableau 52 Fermentation à 35°C par la souche C₁ du jus additionné de farine de sorgho à raison de 5 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,5
2	22,3	2°2	7,5	52	150	4,44
3	13,2	7°4	14,5	72	153	4,39
4	9,1	9°8	13,5	70	147	4,50
5	7,2	10°8	15,5	70,5	148	4,48
6	6,6	10°8	15	72	148	4,48

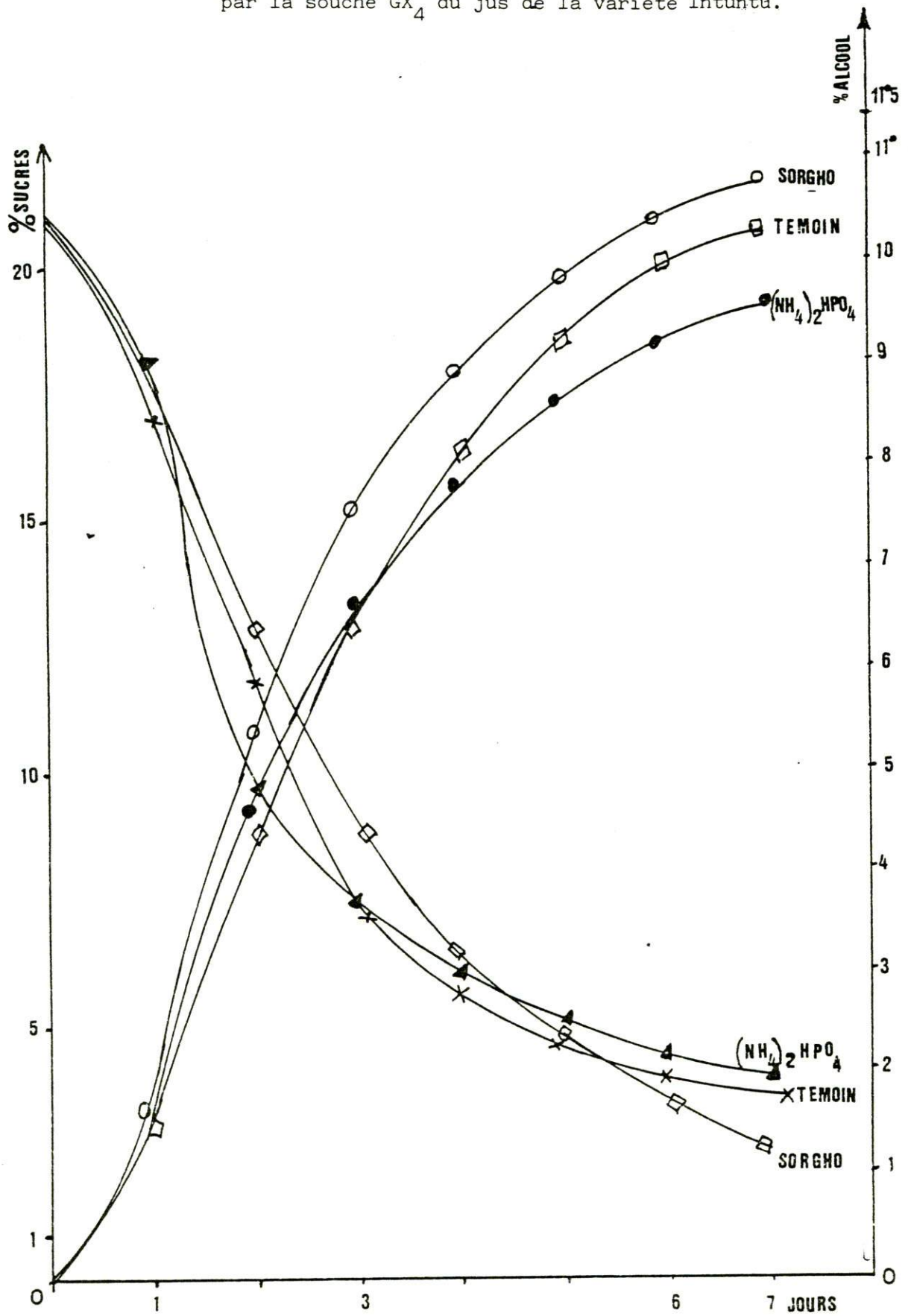
Tableau 53 . Fermentation à 25°C par la souche C₁ du jus additionné de phosphate d'ammonium à raison de 0,1 gr/l.

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,50
2	22	2°3	7,7	54	152	4,41
3	14,7	7°	16,5	76,5	154	4,38
4	9,5	9°6	16,5	74	149	4,49
5	8,4	10°3	17,5	74	150	4,45
6	7,9	10°3	18,5	75	149	4,46

Tableau 54 Fermentation à 35°C par la souche C₁ du jus pur, sans ajout.

Jours de fermentation	Sucres totaux	Alcool	Acidité totale	Acidité volatile	Pouvoir oxydo-réduct.	pH
1	26,1	0	9,5	58	147	4,50
2	21,7	2°4	7,6	50	150	4,44
3	14,6	6°8	16	77	152	4,41
4	9,4	9°6	16,5	74	149	4,47
5	7,6	10°7	17	69,5	148	4,48
6	6,9	10°6	17	70	146	4,50

Figure 7 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation à la température ambiante par la souche GX_4 du jus de la variété Intuntu.



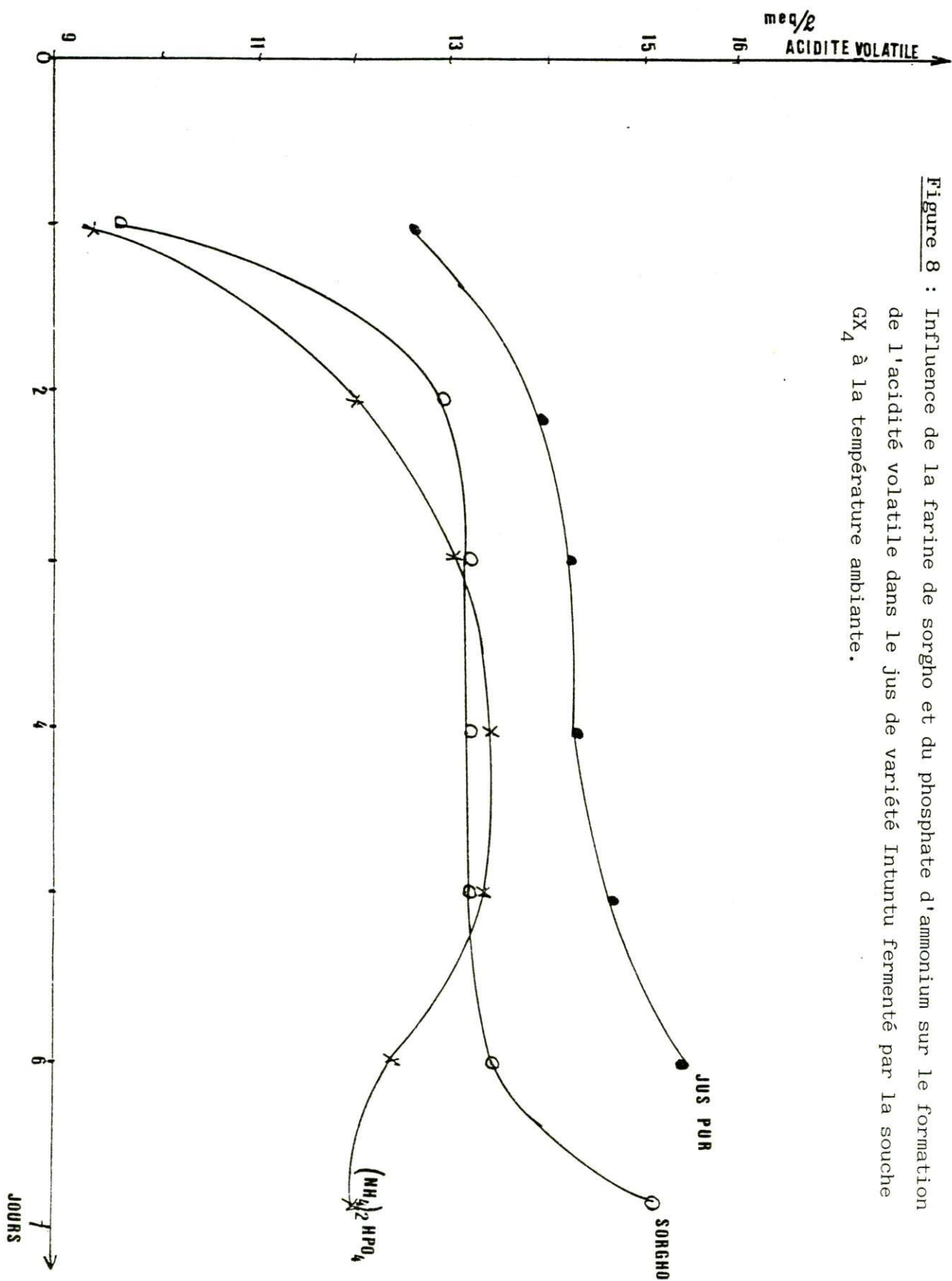


Figure 8 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté par la souche GX₄ à la température ambiante.

Figure 9 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation à 25°C du jus de la variété Intuntu par la souche GX₄.

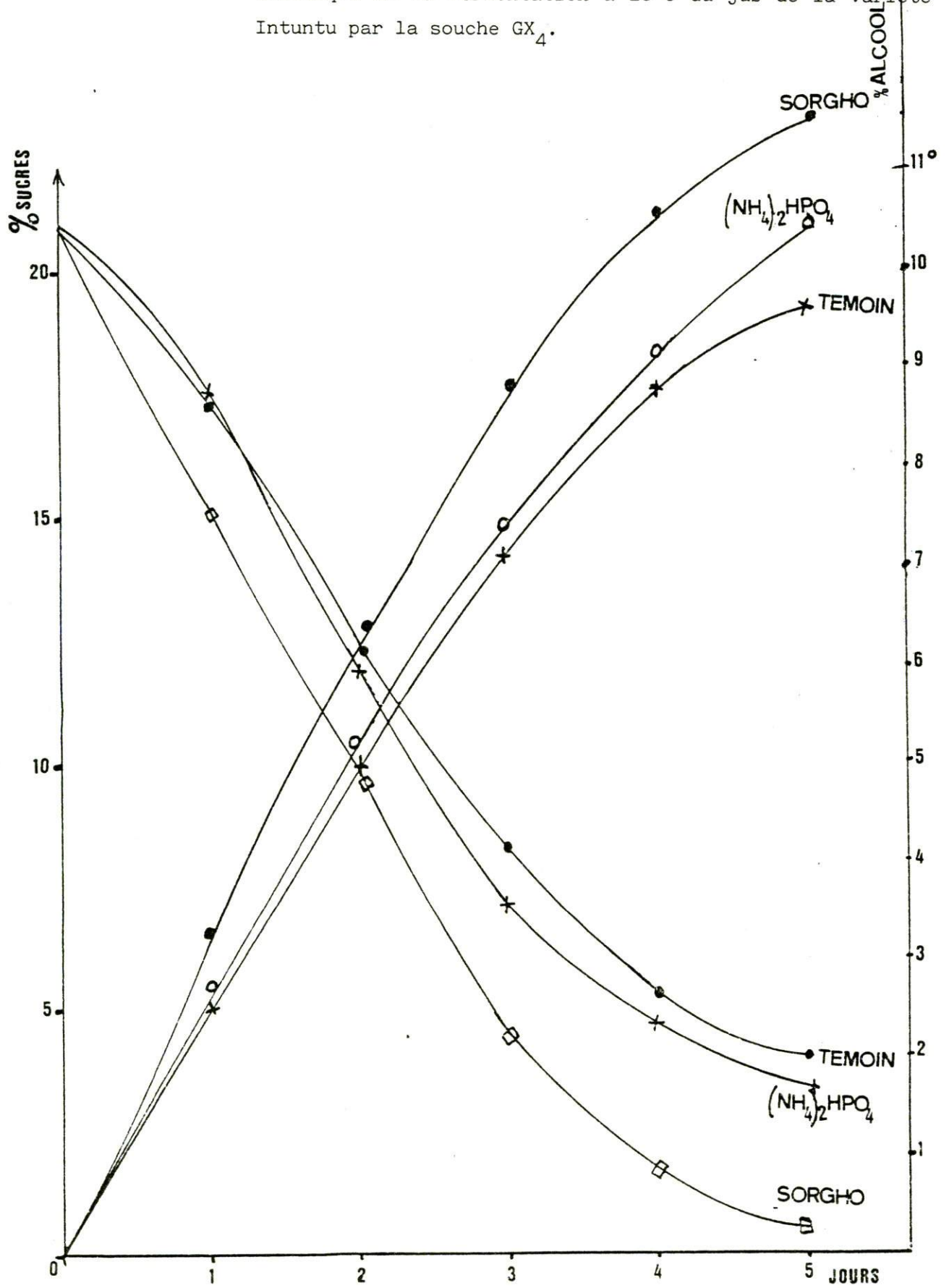


Figure 10 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté par la souche GX₄ à 25°C.

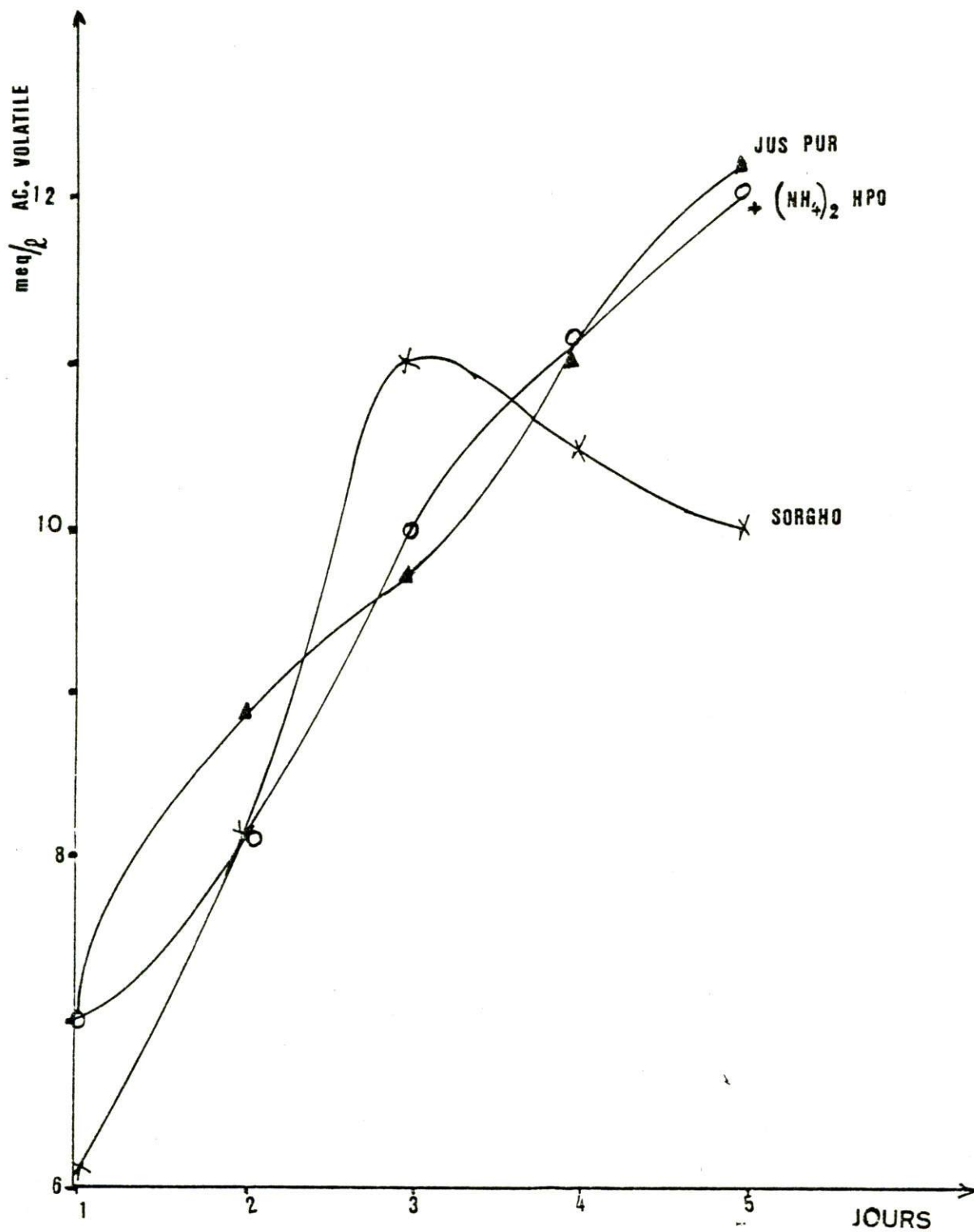


Figure 11 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation à 30°C du jus de bananes de la variété Intuntu par la souche GX₄.

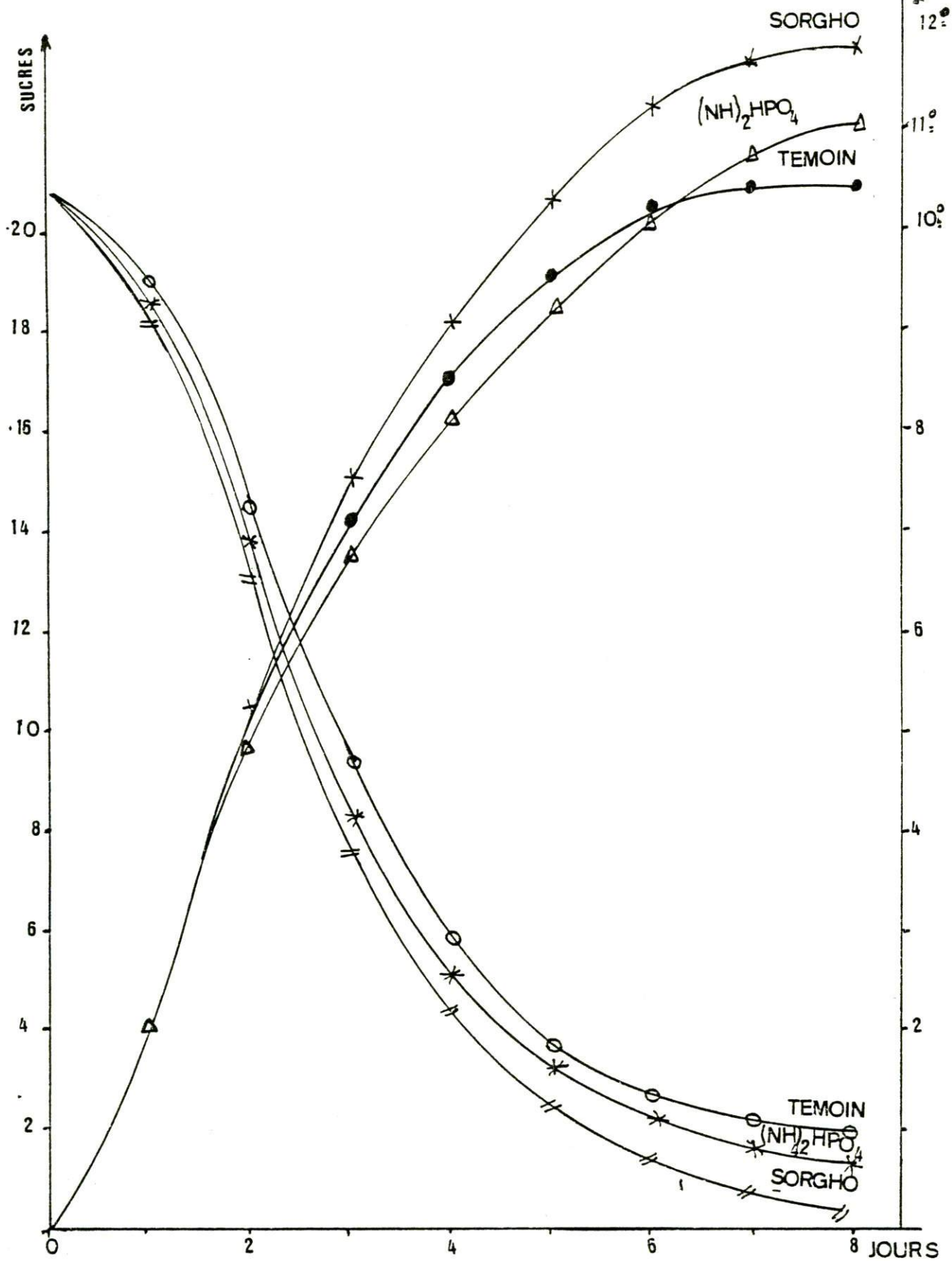


Figure 12 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté par le souche GX₄ à 30°C.

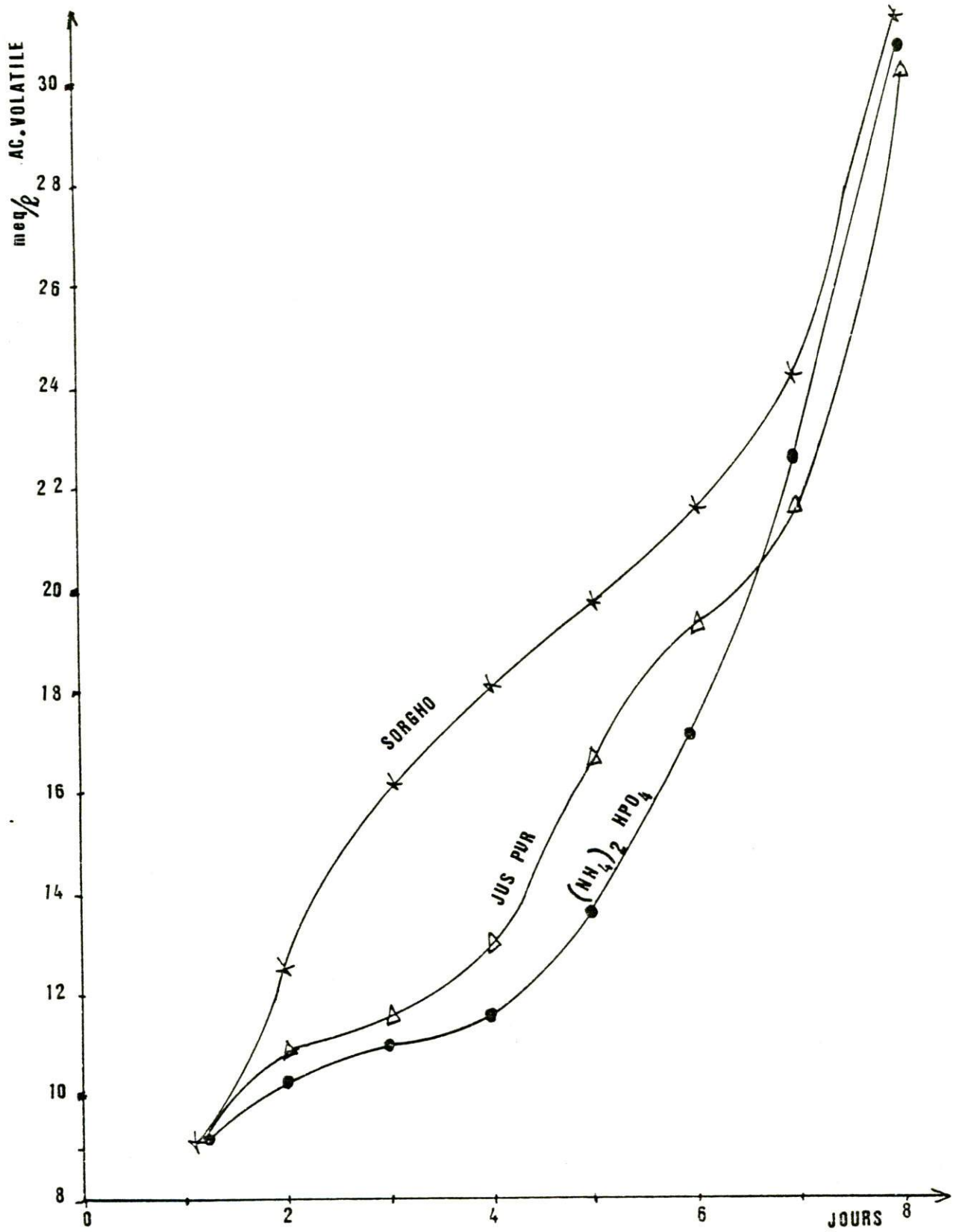


Figure 13 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation à 35°C du jus de la variété Intuntu par la souche GX₄.

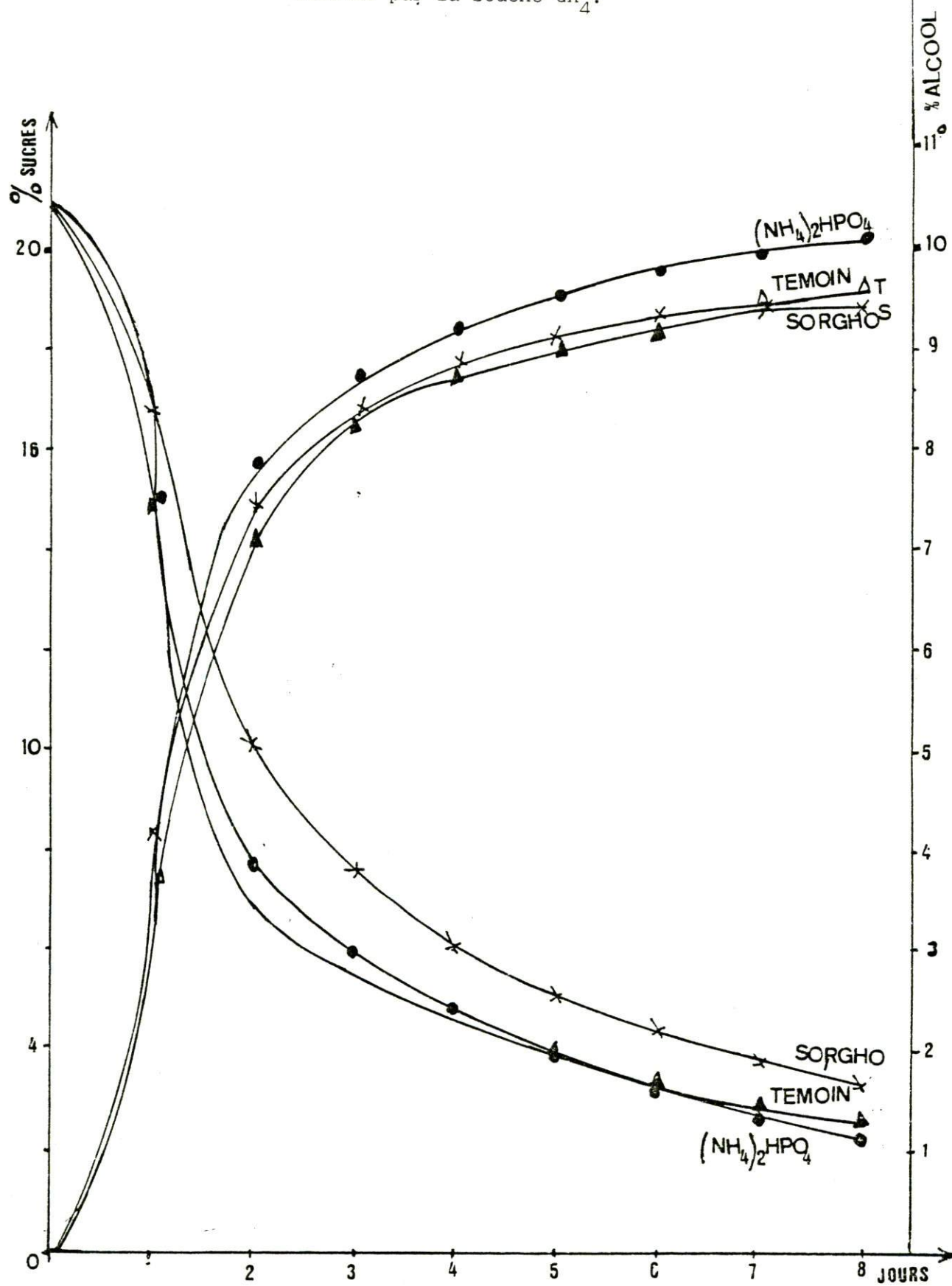


Figure 14 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté par la souche GX₄ à 35°C.

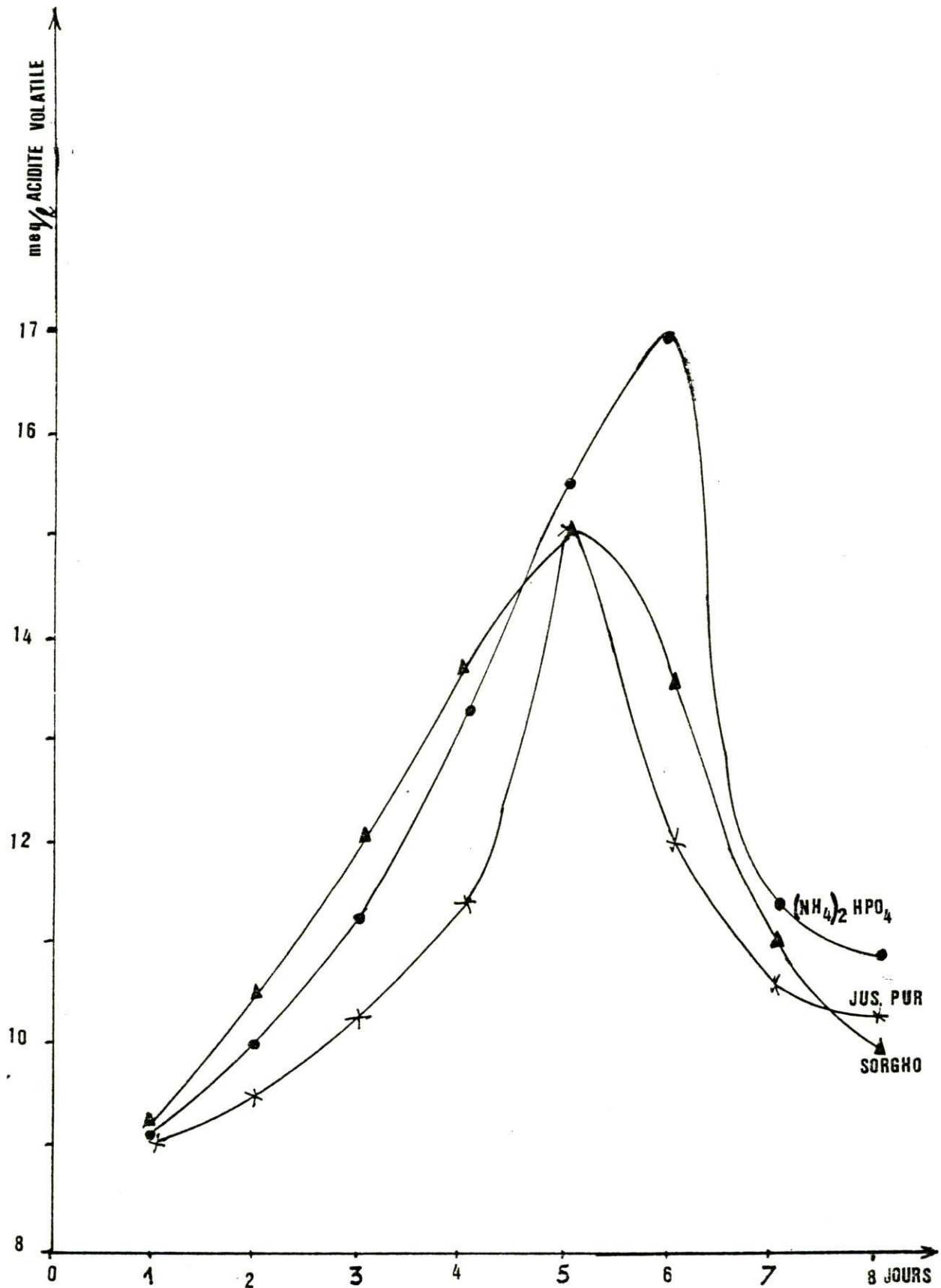


Figure 15 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la cinétique de la fermentation à 25°C du jus de variété Intuntu par la souche J_{2a} .

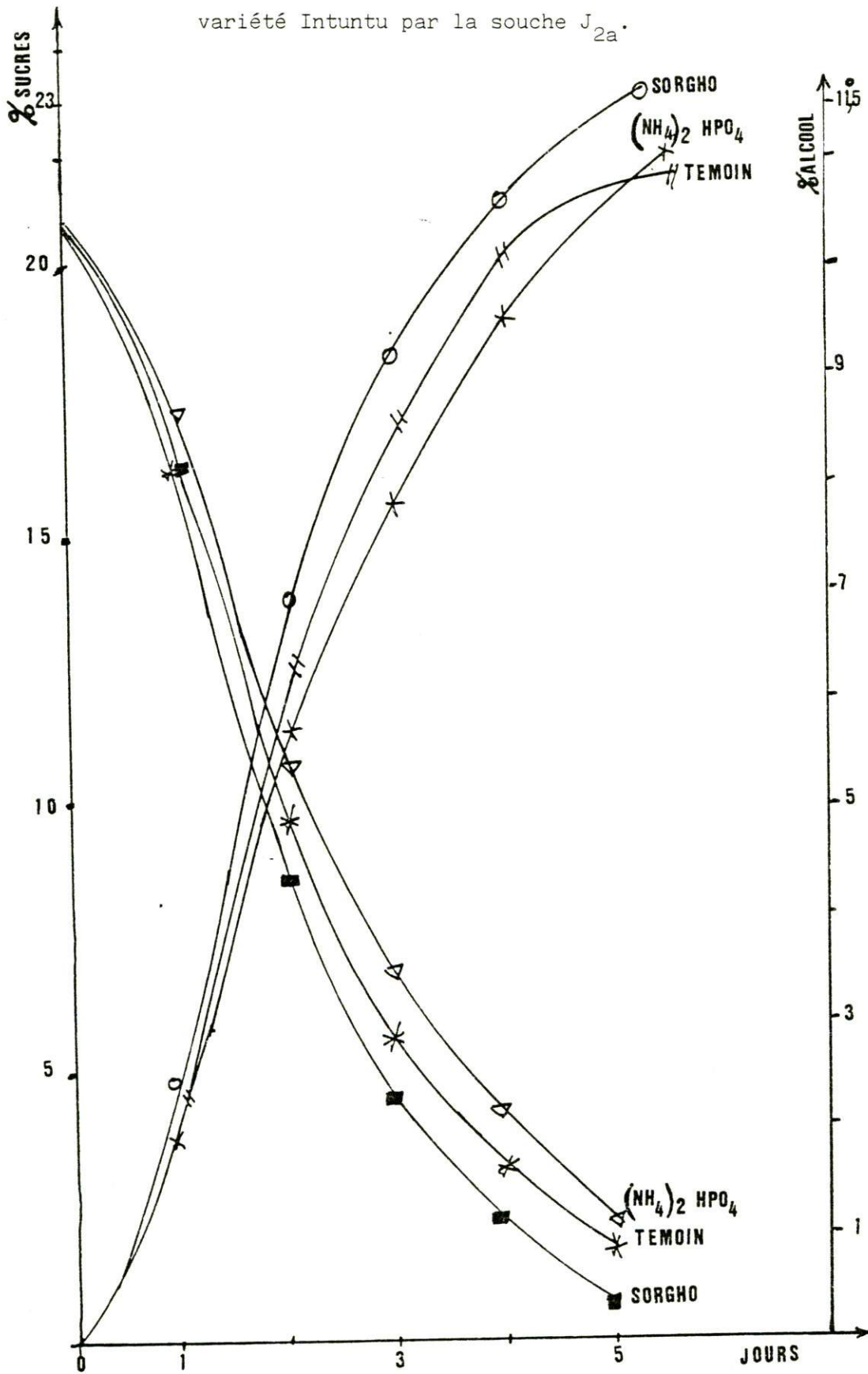


Figure 16 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté à 25°C par la souche J_{2a}.

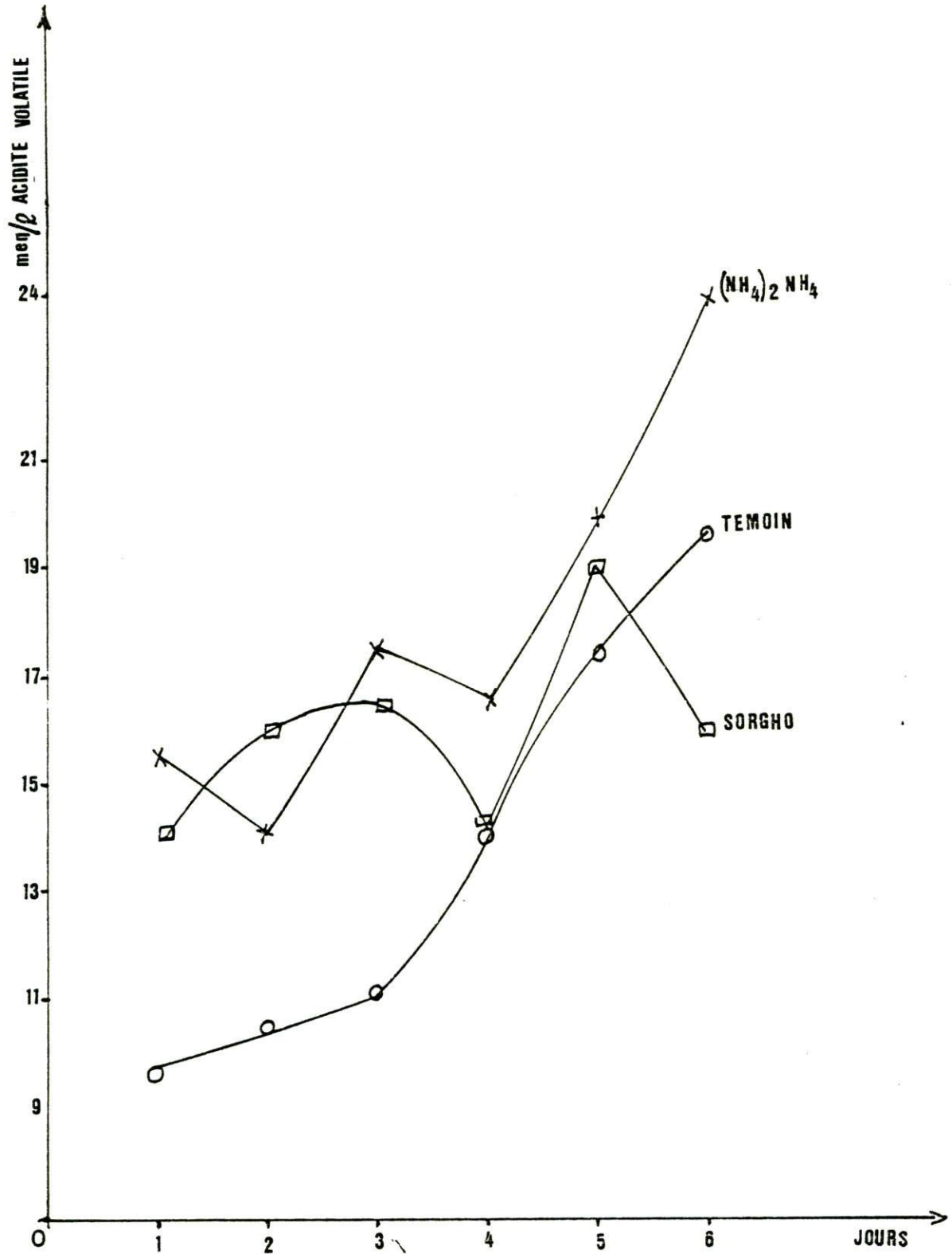


Figure 17 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation à 35°C du jus de variété Intuntu par la souche J_{2a} .

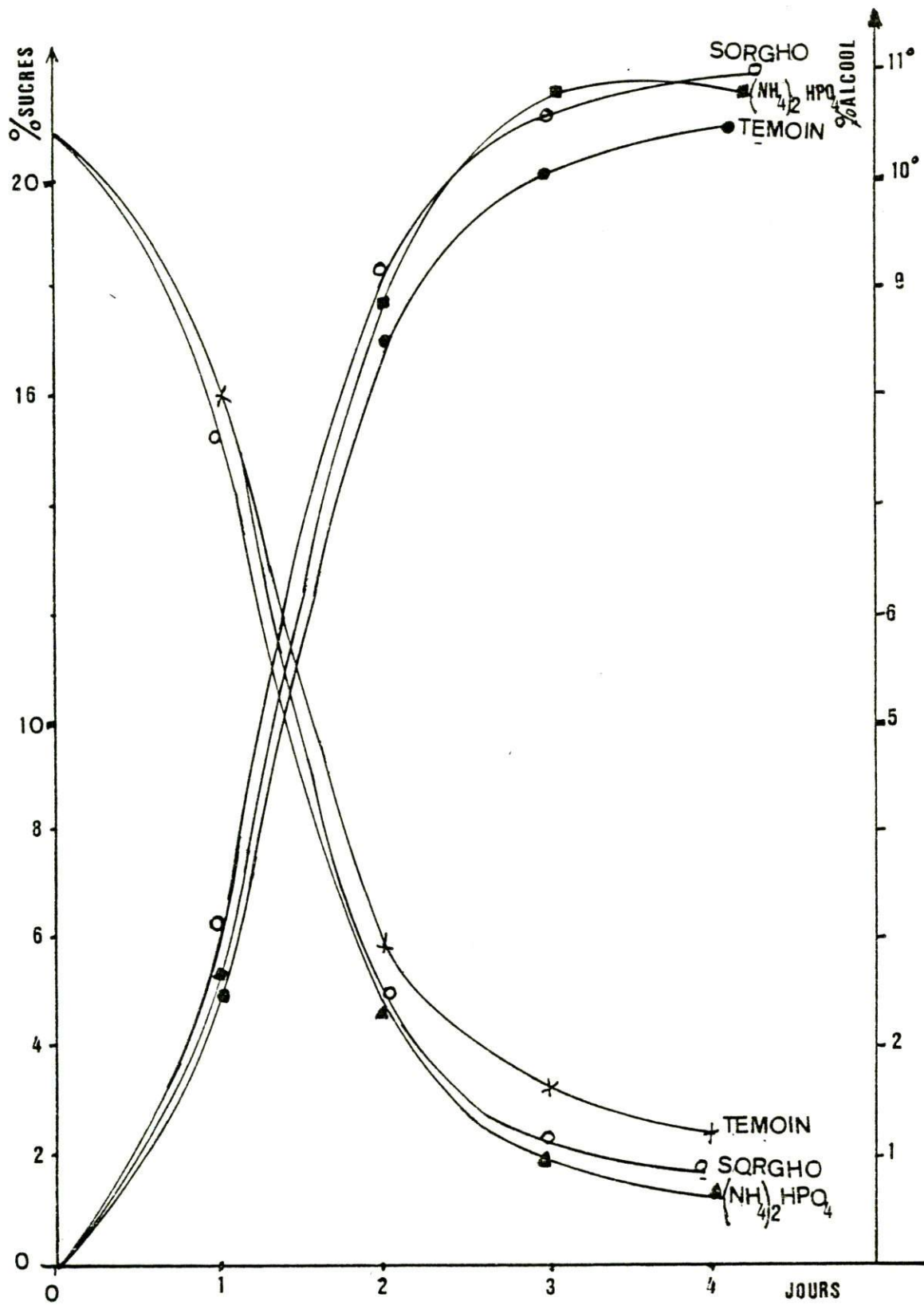


Figure 18 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Intuntu fermenté à 35°C par la souche J_{2a}.

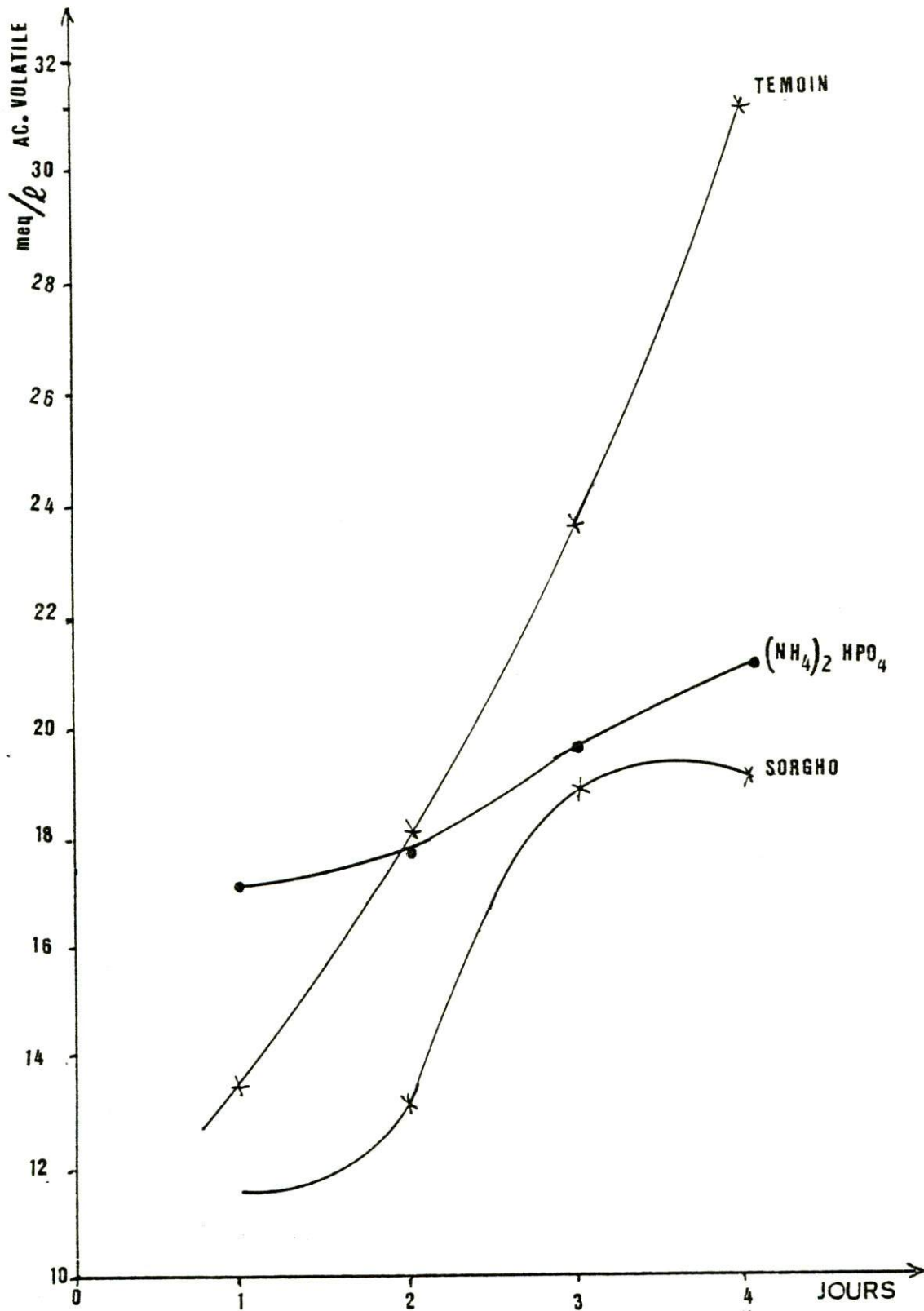


Figure 19 : Influence de la farine de sorgho et du $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sur la cinétique de la fermentation du jus de Kayinka par la souche C_1 à 30°C .

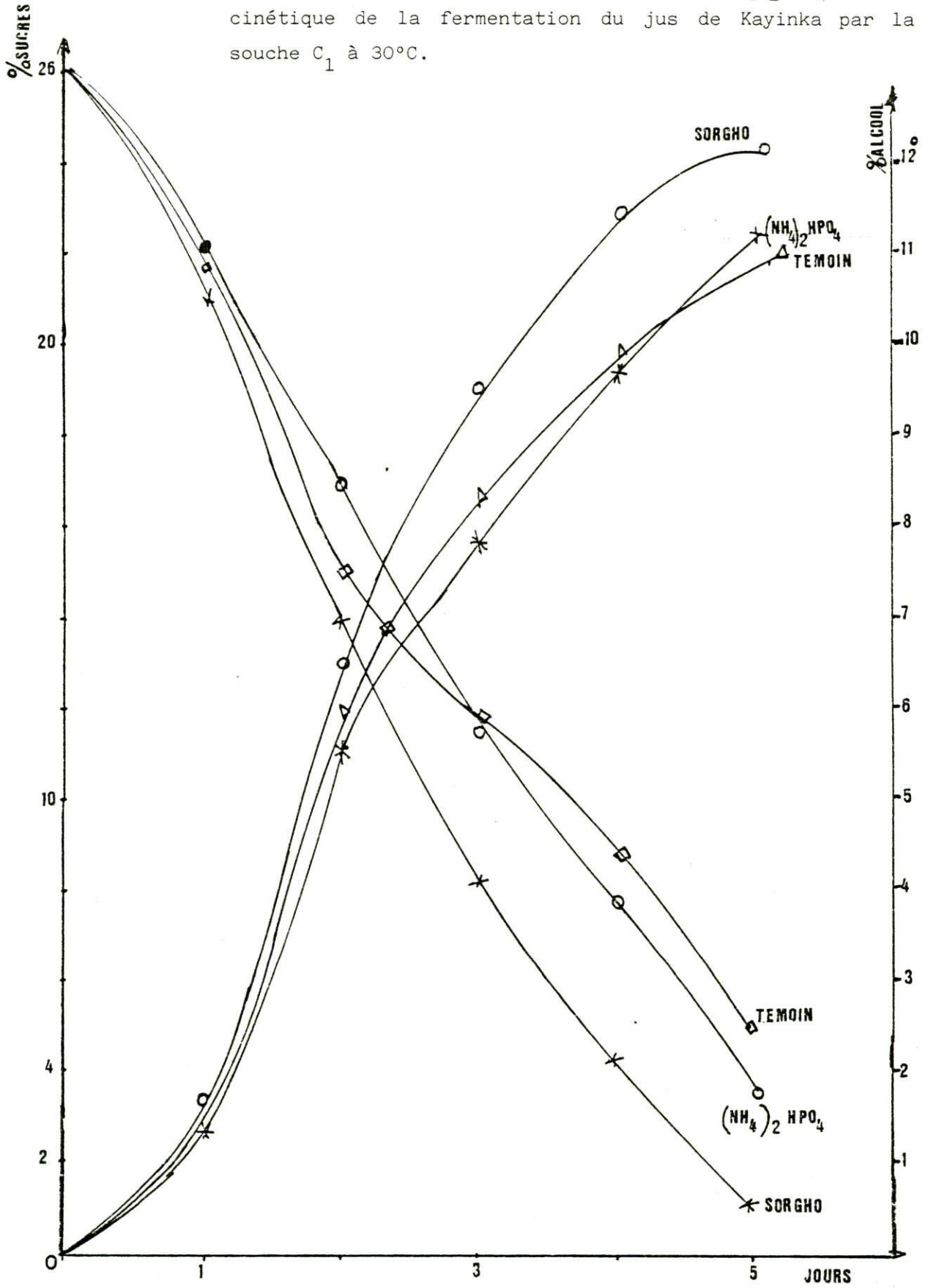


Figure 20 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Kayinja fermenté à 30°C par la souche C₁.

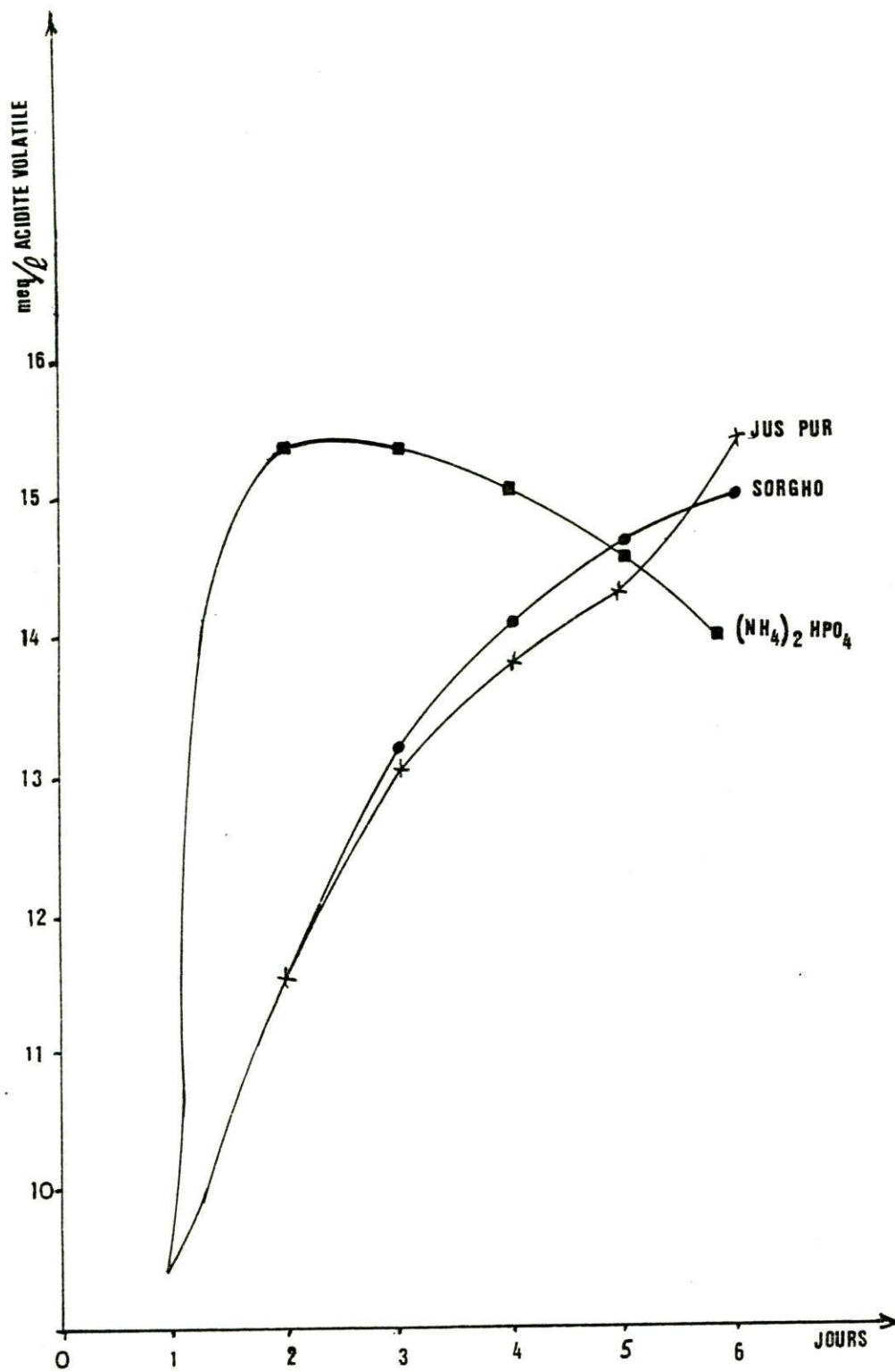


Figure 21 : Influence de la farine de sorgho et du $(NH_4)_2HPO_4$ sur la cinétique de la fermentation du jus de Kayinja par la souche C_1 à 35°C.

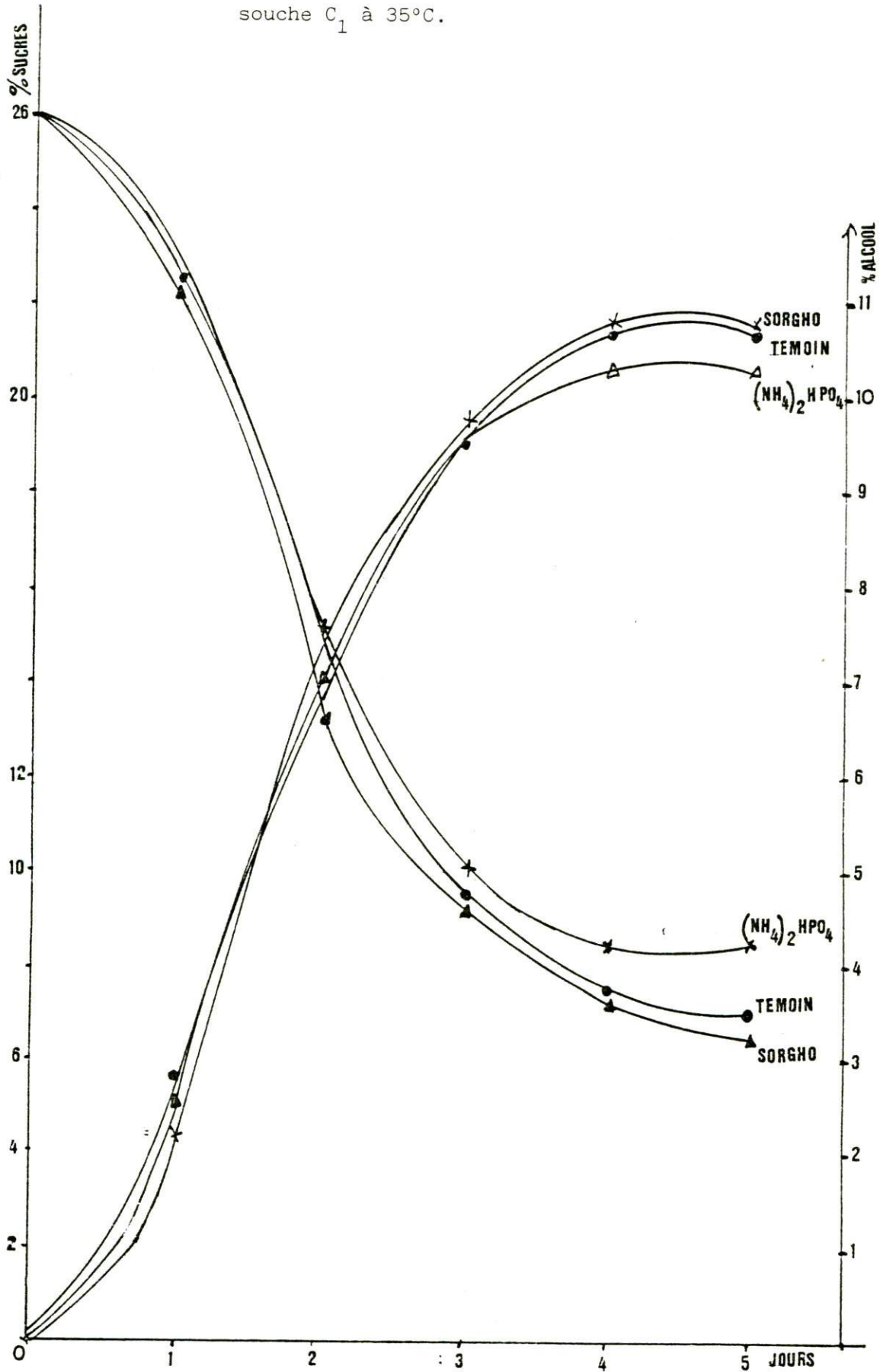
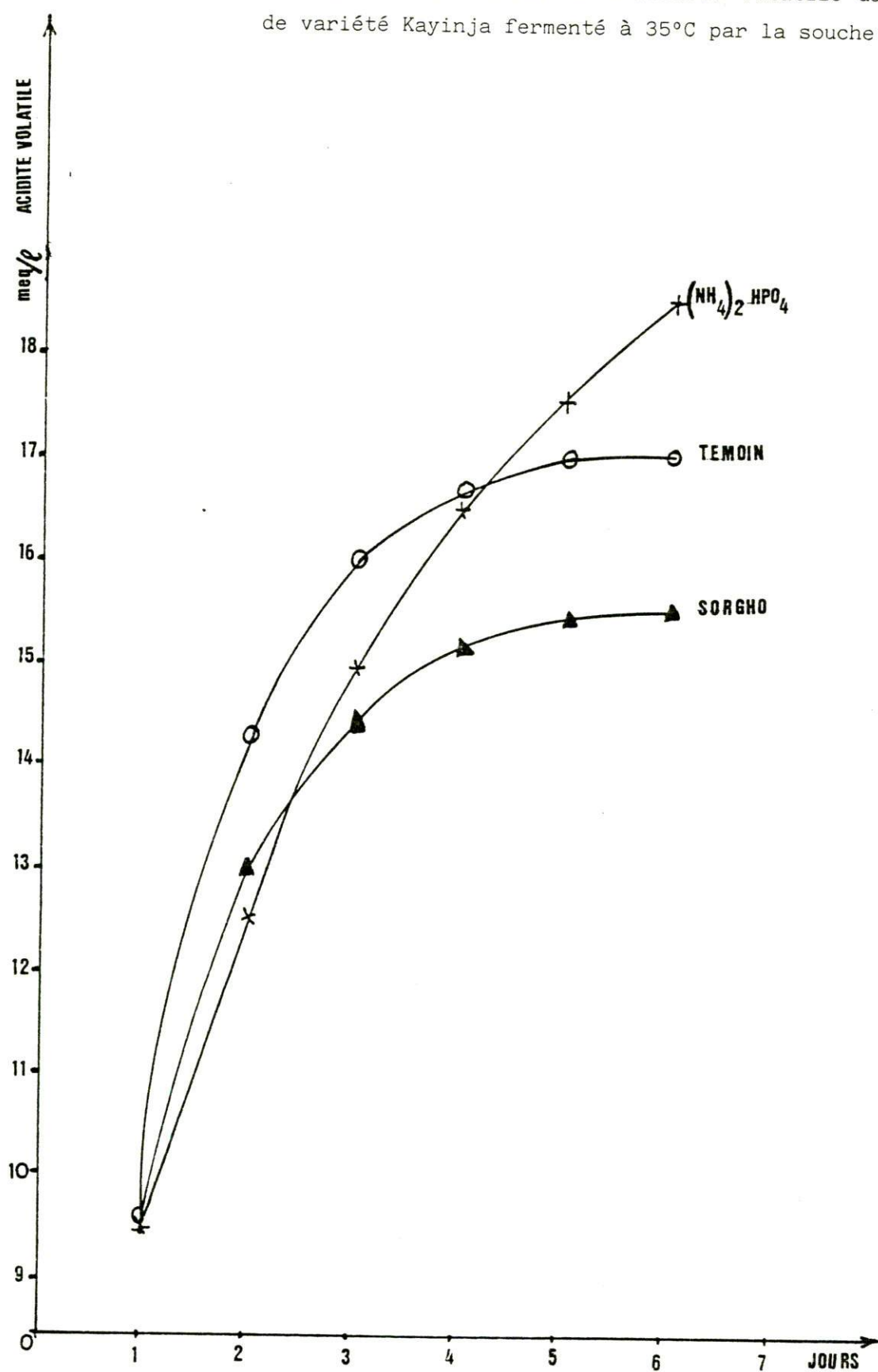


Figure 22 : Influence de la farine de sorgho et du phosphate d'ammonium sur la formation de l'acidité volatile dans le jus de variété Kayinja fermenté à 35°C par la souche C₁.



4.6.9. Conclusion générale

Les essais de fermentation effectués à différentes températures avec ou sans ajout (sorgho ou phosphate d'ammonium) ont montré que les souches isolées de vins de bananes fabriqués à l'échelle familiale se développent normalement à des températures comprises entre 25 et 30°C. Au-dessus de 30°C, la fermentation est normale dans les 4 premiers jours, ensuite elle devient lente, et des risques d'altération bactériennes sont imminents ; ceci est confirmé par la teneur en acidité volatile sans cesse croissance et la diminution du degré d'alcool dans certains essais. Ce phénomène de diminution du degré d'alcool du jus dans le cas où la fermentation n'évolue plus nous conduit à penser qu'après le 4ème jour les levures ne sont plus aptes à se multiplier et ainsi les conditions deviennent favorable au développement des microorganismes nuisibles à la fermentation.(51).

Par ailleurs, les essais confirment que la farine de sorgho active la fermentation du jus de bananes. Ainsi le sorgho peut être considéré comme une source d'éléments nutritifs dont les levures ont besoin pour constituer leurs cellules et pour se reproduire. Ces éléments pourraient être par exemple des matières azotées assimilables, des éléments minéraux, des vitamines...

4.7. EVOLUTION DES MATIERES AZOTEES AU COURS DE LA FERMENTATION DU JUS DE BANANES DE LA VARIETE KAYINJA FERMENTE PAR LA SOUCHE C1 ET CROISSANCE DE LA SOUCHE DANS LE MILIEU EN FERMENTATION.

4.7.1. Evolution des matières azotées

Nous avons vu que dans la fabrication du vin de bananes traditionnel, le paysan rwandais utilise de la farine de sorgho qu'il considère comme un "levain".

Fermenté sans addition de farine de sorgho, le jus de bananes est souvent un milieu favorable au développement de microorga-

nismes tels que les bactéries acétiques, qui bloquent complètement la fermentation alcoolique. C'est pourquoi dans le milieu rural, la farine de sorgho est considérée comme un levain. En réalité, elle n'est pas un levain ; elle renferme certains éléments nutritifs qui stimulent la fermentation et la multiplication des levures.

Nous avons pensé que le sorgho, au même titre que le phosphate d'ammonium enrichit le moût de bananes en matières azotées facilement assimilables par les levures, stimulant ainsi la fermentation alcoolique. C'est pourquoi, il a été décidé d'étudier l'évolution des matières azotées au cours de la fermentation du jus de bananes. Dans cette étude, trois cas sont envisagés :

1. L'évolution des matières azotées au cours de la fermentation du jus additionné de farine de sorgho.
2. L'évolution des matières azotées au cours de la fermentation du jus de bananes additionné de phosphate d'ammonium.
3. L'évolution des matières azotées au cours de la fermentation du jus témoin, non additionné de phosphate d'ammonium ou de farine de sorgho.

4.7.1.1. Dosage de l'azote total

L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl proposée par RIBEREAU-GAYON (20), méthode basée sur la minéralisation de l'échantillon par attaque sulfurique afin de transformer l'azote organique en sulfate d'ammonium que l'on traite ensuite par la soude pour libérer l'ammoniac que l'on fixe par une solution titrée d'acide sulfurique. Pour déterminer la teneur en azote, l'acide en excès qui n'a pas réagit avec l'ammoniac est titré par une solution de soude décinormale.

Calcul de l'azote total

- 2 moles NH_3 correspondent à 1 mole H_2SO_4
- 1 mole NH_3 correspond à un équivalent-gramme H_2SO_4
- 14 g N correspondent à un équivalent-gramme H_2SO_4

4.7.1.2. Dosage de l'azote ammoniacal et aminé

L'ammoniaque se trouve dans les vins à l'état de sels d'ammonium. Son dosage consiste à déplacer cette base par un alcali et à recueillir NH_3 après distillation dans une solution titrée d'acide sulfurique en excès. La détermination de l'azote ammoniacal se fait par titration de l'acide sulfurique en excès par la soude (20).

4.7.1.3. Les acides aminés

Le dosage des acides aminés a été effectué par le laboratoire de Biochimie de la Nutrition de l'Université Catholique de LOUVAIN-LA-NEUVE, en Belgique sur le jus de bananes variété Intuntu.

L'échantillon a été envoyé après pasteurisation pour en assurer sa conservation pendant le voyage. Les différents acides aminés ont été déterminés par chromatographie sur colonne d'échange d'ions. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 55.

4.7.1.4. Détermination de l'azote aminé

Selon RIBEREAU-GAYON (20), la détermination de l'azote aminé est basée sur des réactions spécifiques de la fonction aminée qui permet son dosage en bloc par titrage acidimétrique en présence du méthanal (méthode SORENSEN), d'alcool éthylique (méthode HARRIS), ou réaction avec l'acide nitreux et mesure de l'azote gazeux dégagé (méthode VANSLYKE).

Nous avons utilisé la méthode SORENSEN (20) qui consiste à bloquer la fonction aminée par addition massive de méthanal. Le méthanal en réagissant forme un dérivé méthylénique contenant le carbonyle de l'acide aminé mais ne possédant plus de groupement basique. De ce fait, la fonction acide ne subissant plus l'influence du radical électropositif NH_2 est beaucoup plus dissociée que celle des acides aminés et peut être titrée par la soude en présence d'un indicateur la phénolphtaléine.

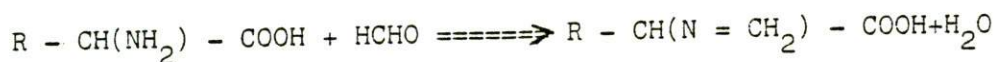


Tableau n° 55 : Teneur en acides aminés du jus de bananes
(variété INTUNTU)

Acides aminés	! gr. pour 100 gr. ! ! de matières ! ! azotées totales !	! gr. pour 100 gr. ! ! de jus lyophilisé !
Acide aspartique	! 5,52 !	! 0,094 !
Thréonine	! 0,02 !	! 0,014 !
Sérine	! 1,16 !	! 0,020 !
Acide glutamique	! 4,78 !	! 0,082 !
Proline	! 1,30 !	! 0,022 !
Glycine	! 1,26 !	! 0,022 !
Alanine	! 1,76 !	! 0,030 !
Valine	! 2,67 !	! 0,049 !
Méthionine	! 0,12 !	! 0,002 !
Isoleucine	! 0,76 !	! 0,013 !
Leucine	! 2,70 !	! 0,046 !
Tyrosine	! 0,07 !	! 0,006 !
Phénylalanine	! 0,00 !	! 0,014 !
Lysine	! 0,06 !	! 0,015 !
Histidine	! 17,74 !	! 0,303 !
Arginine	! 4,17 !	! 0,071 !
Cystine	! 0,19 !	! 0,003 !

NH_4 étant également bloqué par le méthanal, les sels d'ammonium laissent titrer leur acide et on obtient la somme azote aminé et azote ammoniacal.

4.7.2. Croissance de la souche C1 dans le jus en fermentation

Les levures se développent dans des conditions bien déterminées de température et de pH. Par ailleurs, elles exigent, pour se multiplier que le milieu dans lequel elles se développent renferme des éléments nutritifs suffisants comme les hydrates de carbone, les éléments minéraux, les matières azotées, les facteurs de croissance notamment les vitamines. (35).

Mais dans la pratique, même si ces conditions sont réunies, les difficultés apparaissent, résultant surtout du fait que la plupart des souches de levures ne parviennent pas à épuiser complètement les sucres du milieu en fermentation, d'où les arrêts prématurés de celle-ci. De tels arrêts de fermentation conduisent à la constitution de milieux favorables au développement des bactéries produisant des vins piqués (acidité volatile élevée) (16).

La fermentation des sucres étant toujours liée à la multiplication des levures, l'arrêt de la croissance de ces dernières est suivi de l'arrêt de la fermentation. Il y a intérêt à accroître le nombre des levures et à connaître à tout moment le nombre de cellules présentes dans le milieu afin d'intervenir à temps en cas d'arrêt de la fermentation avant l'épuisement des sucres. Pour cela, le dénombrement des levures dans le jus en fermentation s'avère nécessaire.

4.7.2.1. Méthode de dénombrement

Nous avons compté au microscope le nombre de levures présentes dans un volume précis du milieu en fermentation. Les résultats trouvés ont été rapportés au millilitre. Pour ce faire, nous avons utilisé la cellule hématimètre de NEUBAUER qui est une lame de verre épaisse avec deux chambres gravées par un quadrillage microscopique précis, correspondant à un volume exact. Les 2 chambres sont couvertes au moment du comptage par une lamelle spéciale (optiquement plane). Cette cellule est formée par 9 grands carrés dont le grand carré

central est constitué par 25 carrés moyens et chacun de ces carrés moyens est formé de 16 petits carrés.(41).

Pour effectuer le dénombrement des levures, l'échantillon est d'abord fortement agité, afin d'avoir une suspension levurienne homogène. La population levurienne devient très dense après le premier jour de fermentation, ce qui nous a obligé de diluer l'échantillon au 1/10 afin de ramener le nombre de levures à une cinquantaine par carré.

A l'aide d'une baguette de verre, on pose une goutte de l'échantillon sur la cellule hématimètre que l'on place sur la platine du microscope. Le grossissement de 480 nous a permis de voir nettement les 25 carrés et les levures qui s'y trouvent. Le dénombrement est fait en cinq endroits différents et le nombre de cellules a été rapporté au millimètre en tenant compte du facteur de dilution.

4.7.2.2. Calcul de cellules

$$1 \text{ carré moyen} = \frac{4}{1000} \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ grand carré} = 0,1 \text{ mm}^3$$

$$\text{Toute la cellule} = 0,9 \text{ mm}^3$$

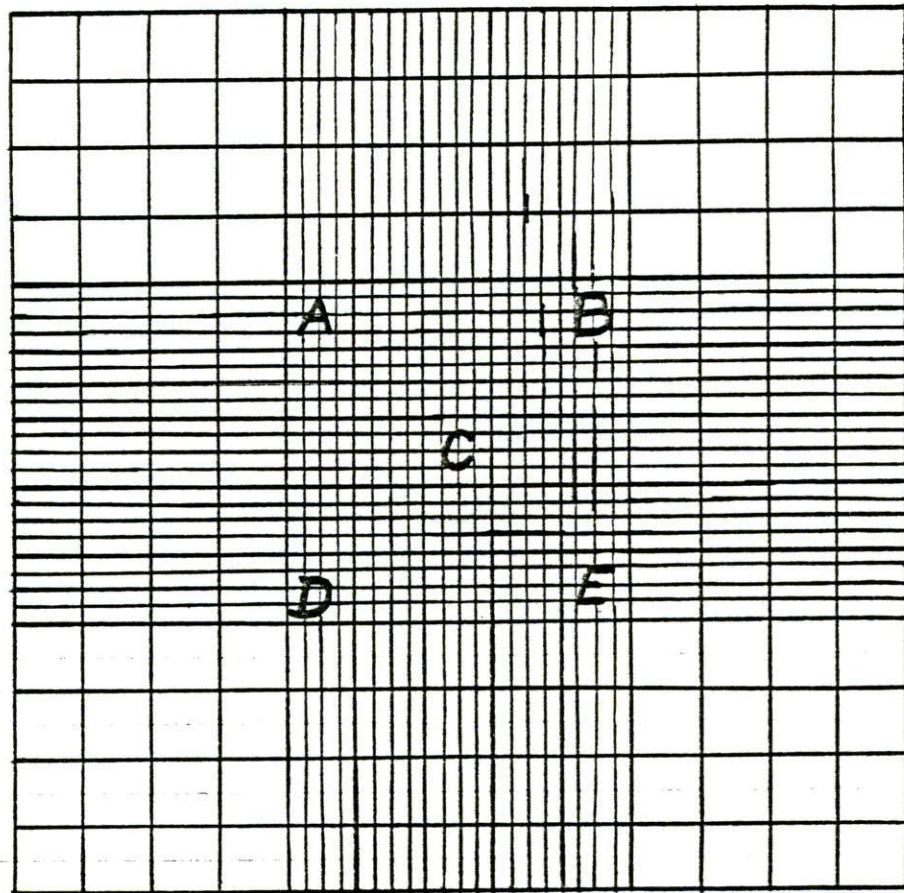
Soit N le nombre de levures comptées dans 5 carrés moyens ; le nombre de levures par mm^3 du milieu est : $N \times 500$.

En effet, 1 carré moyen = $\frac{4}{1000} \text{ mm}^3$, d'où dans 5 carrés :

$\frac{4}{1000} \times 5 \text{ mm}^3 = \frac{20 \text{ mm}^3}{1000}$. Comme on a compté N levures dans 5 carrés moyens, il y a N levures dans $\frac{20 \text{ mm}^3}{1000}$ de jus dilué, soit $\frac{N \times 1000}{20} = N \times 50$ levures dans 1 mm^3 de jus dilué au 1/10.

Le jus non dilué contient donc $N \times 50 \times 10 = N \times 500$ levures/ mm^3 soit $N \times 500 \times 1000$ levures/ml = $5 N 10^5$ levures/ml.

CELLULE HEMATIMETRE DE NEUBAUER



La cellule de Neubauer est
formée par : 9 grands carrés
le grand carré central est
formé de : 25 carrés moyens

Compter les levures dans
5 de ces carrés moyens =

A, B, C, D, E

Chacun de ces carrés moyens
est formé de 16 petits
carrés

capacité de la cellule

$$1 \text{ Carré moyen} = \frac{4}{1000} \text{ mm}^3$$

$$1 \text{ Grand carré} = 0,1 \text{ mm}^3$$

$$\text{Toute la cellule} \dots = 0,9 \text{ mm}^3$$

4.7.2.3. Résultats de l'étude de l'évolution des matières azotées au cours de fermentations réalisées à trois températures différentes, du jus de bananes de la variété Kayinja par la souche de levure C1

Les résultats obtenus à température ambiante, à 30°C et à 35°C sont consignés dans les tableaux 56, 57 et 58 et illustrés par les figures 23, 24, 25, 26, 27 et 28.

4.7.2.4. Résultats de l'étude de la croissance de la souche de levure C1 au cours de fermentations réalisées à trois températures différentes, sur du jus de bananes de la variété Kayinja

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 59, 60 et 61 et illustrés par les figures 29, 30 et 31.

4.7.3. Discussion des résultats

En considérant la teneur du jus de bananes en matières azotées, en analysant leur évolution au cours de la fermentation et en étudiant la croissance des levures dans le jus fermenté à différentes températures, nous tirons les conclusions suivantes :

1. la teneur du jus de bananes en matières azotées est suffisante pour permettre le développement normal des levures au cours de la fermentation.
2. au début de la fermentation, une forte proportion de l'azote du jus de bananes est fixée par les levures, surtout pour le jus témoin fermenté à la température ambiante. Ainsi, après une journée de fermentation, plus de 40 % de l'azote total est assimilé par les levures dans tous les essais, tandis que l'azote aminé et ammoniacal est consommé à plus de 80 %.
3. la diminution des matières azotées continue jusqu'en fin de la deu-

Tableau n° 55 Evolution des matières azotées pendant la fermentation du jus de Kavinja par la souche C1 à la température ambiante.

Jours de fermentation	Azote total (mg/l)			Azote animé + Azote ammoniacal (mg/l)		
	Jus + sorgho	Jus (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoins (jus pur)	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoins (jus pur)
0	115,6	319,3	515,5	140	126	147
1	121,2	240,8	162,4	33,6	23,1	33,6
2	110	210	145,6	26,25	17,5	24,5
3	143,8	204,4	154	24,5	22,75	33,25
4	140	212,8	"	35	28	28
5	138,8	201,6	145,6	36,8	28	31,8
6	140	212,8	148,4	-	-	-

Evolution des matières azotées au cours de la fermentation
du jus kayinja par la souche C1 à la température de 30°C.

Tableau n° 57

Jours de fermentation	Azote total (mg/l)			Azote ammoniacal (mg/l)			Azote amine + Azote ammoniacal (mg/l)		
	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoin (jus pur)	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoin (jus pur)	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoin (jus pur)
0	313,6	319,3	313,6	42	53,8	36,4	140	136	117
1	201,6	162,4	218,4	22,4	11,3	14	29,4	27,3	29,9
2	190,4	165,2	212,8	-	-	-	14	12,25	22,75
3	308	168	218,4	-	-	-	19,25	17,5	31,25
4	173,6	196	218,4	-	-	-	35	24,5	31,5
5	190,4	187,4	221,2	33,6	33,6	33,6	42	44,1	65,2
6	218,4	193,8	235,2	33,6	33,6	36,4	0	0	0

Evolution des matières azotées pendant la
fermentation du jus de Kavinja par la souche C₁
à 35°c.

Tableau n° 58

Jours de fermentation	Azote total (mg/l)			Azote aminé + Azote ammoniacal (mg/l)		
	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoin (jus pur)	Jus + sorgho	Jus + (NH ₄) ₂ PO ₄	Témoin (jus pur)
0	312,6	312,2	313,6	134,75	120,75	138,2
1	207,2	156,0	151,2	27,3	27,3	29,3
2	190,4	151,2	142,8	12,25	15,75	12,25
3	263,8	168,	154	22,25	24,5	14,0
4	224	179,2	168	42	28	31,5
5	204	184,8	173,6	58,9	46,2	37,8

Figure 23 : Evolution de l'azote total au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja, par la souche C_1 à la température ambiante (20-22°C).

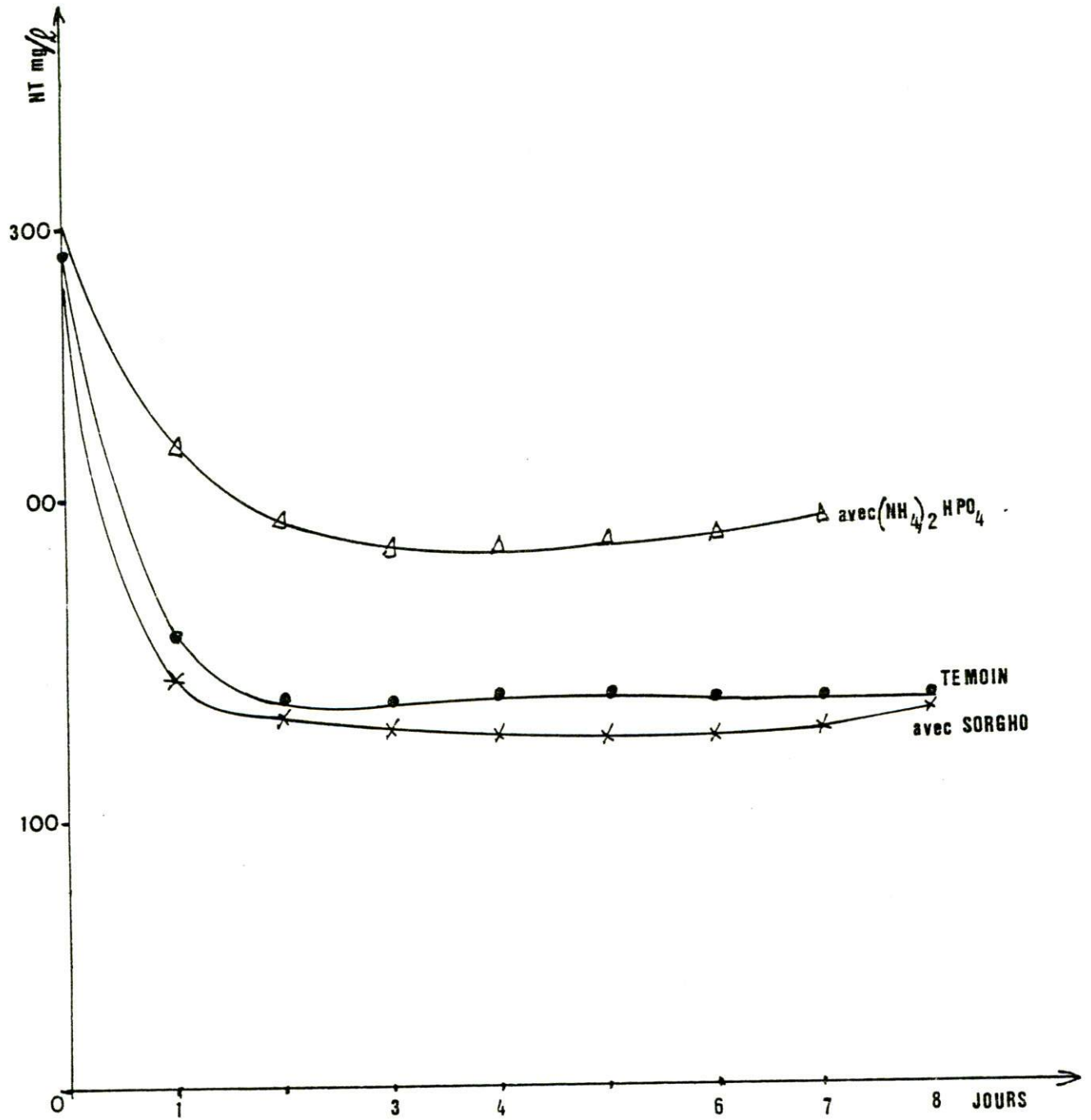


Figure 24 : Evolution de l'azote total au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja par la souche C_1 à 30°C.

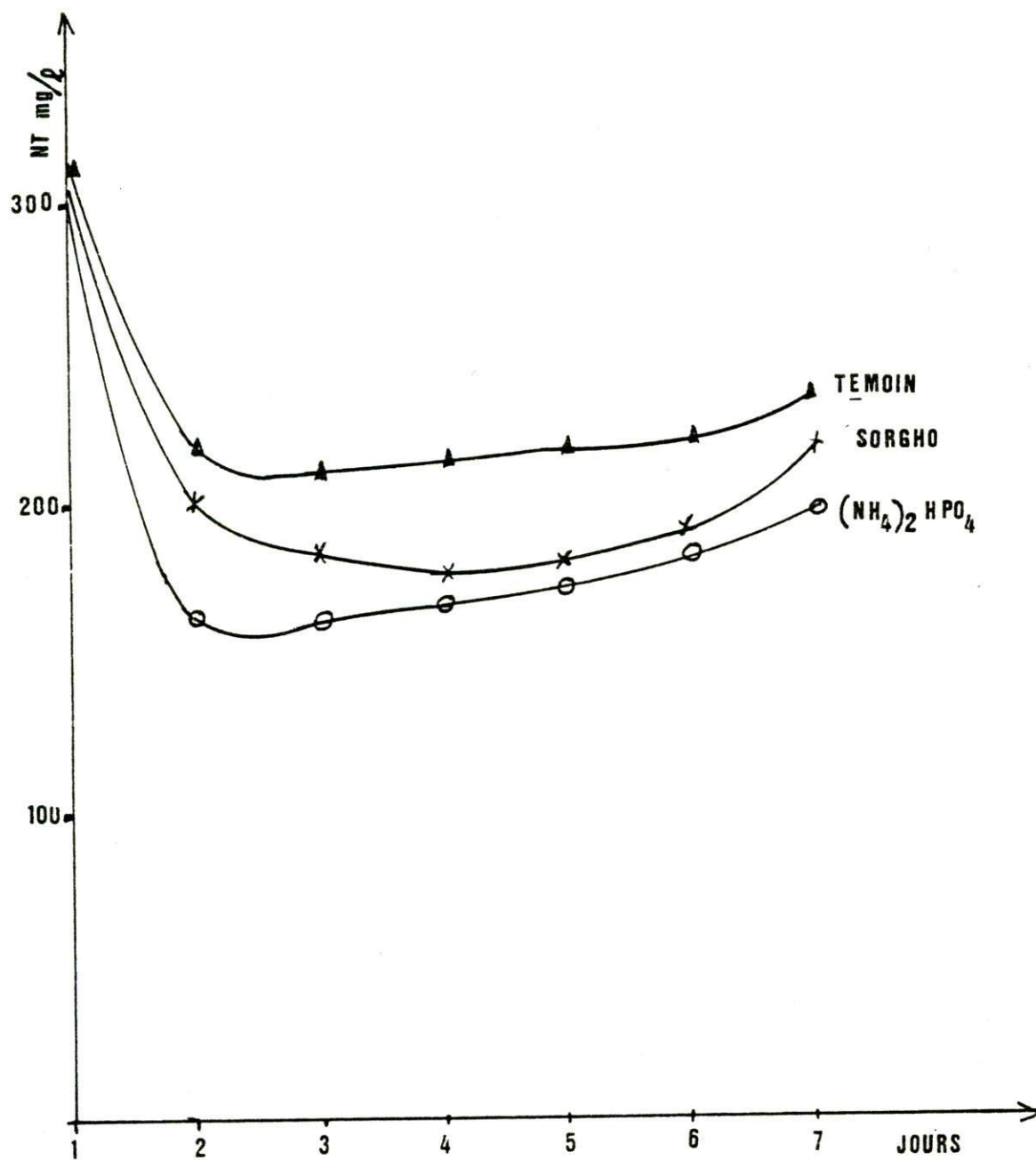


Figure 25 : Evolution de l'azote total au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja par la souche C₁ à 35°C.

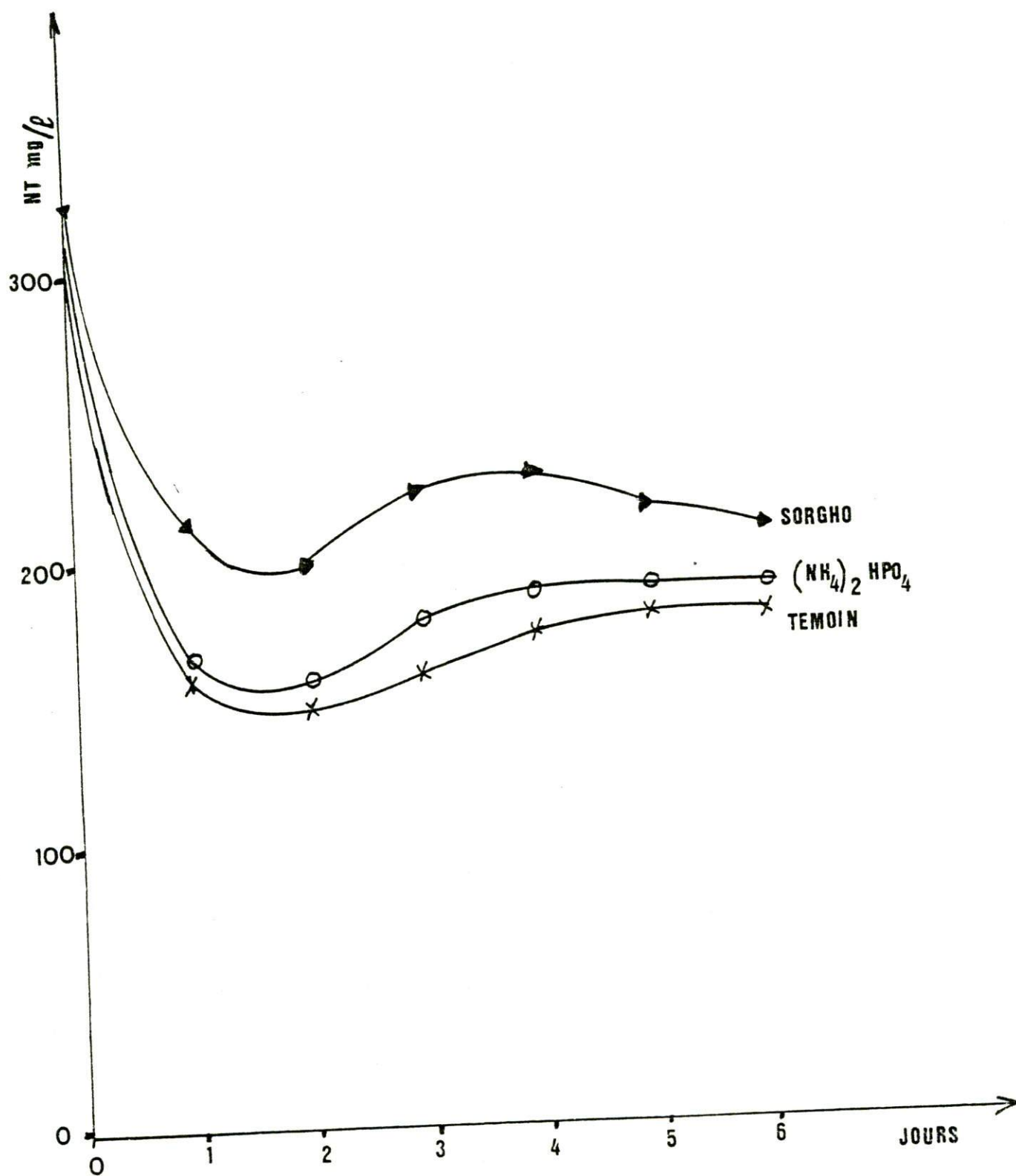


Figure 26 : Evolution de l'azote aminé et ammoniacal au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja par la souche C₁ à 35°C.

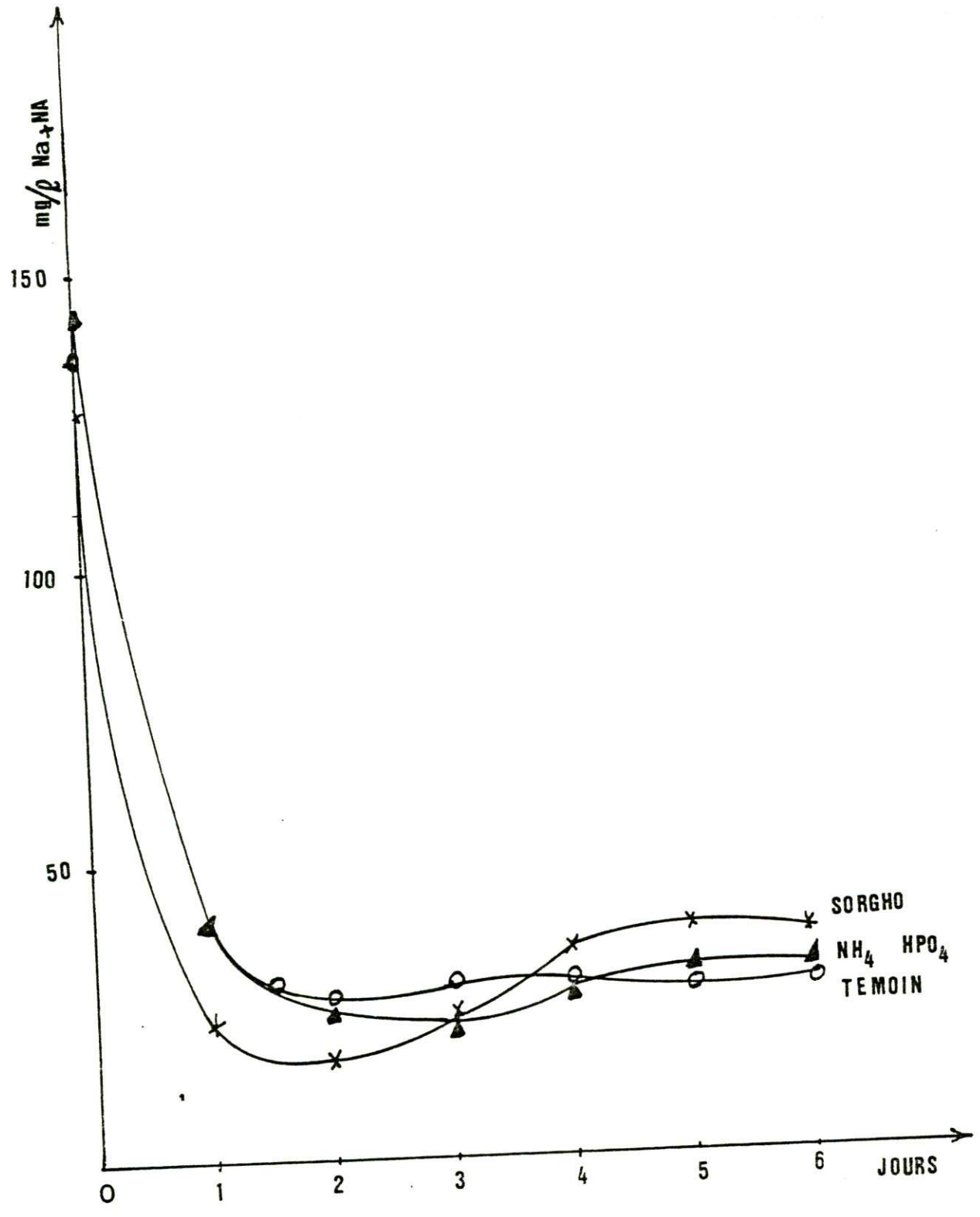


Figure 27 : Evolution de l'azote aminé et ammoniacal au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja par la souche C_1 à 30°C .

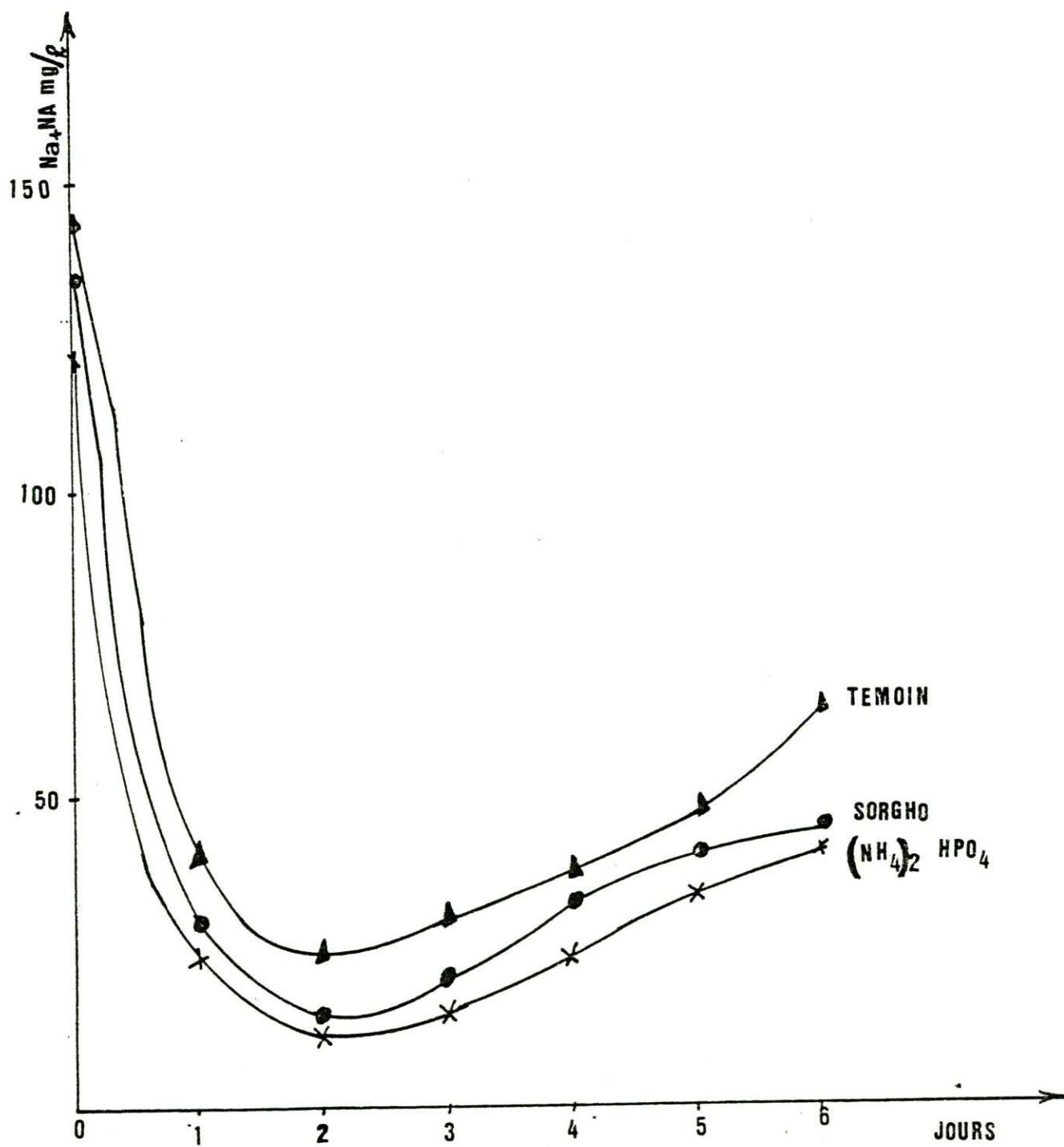


Figure 28 : Evolution de l'azote aminé et ammoniacal au cours de la fermentation du jus de bananes variété Kayinja par la souche C_1 à 35°C.

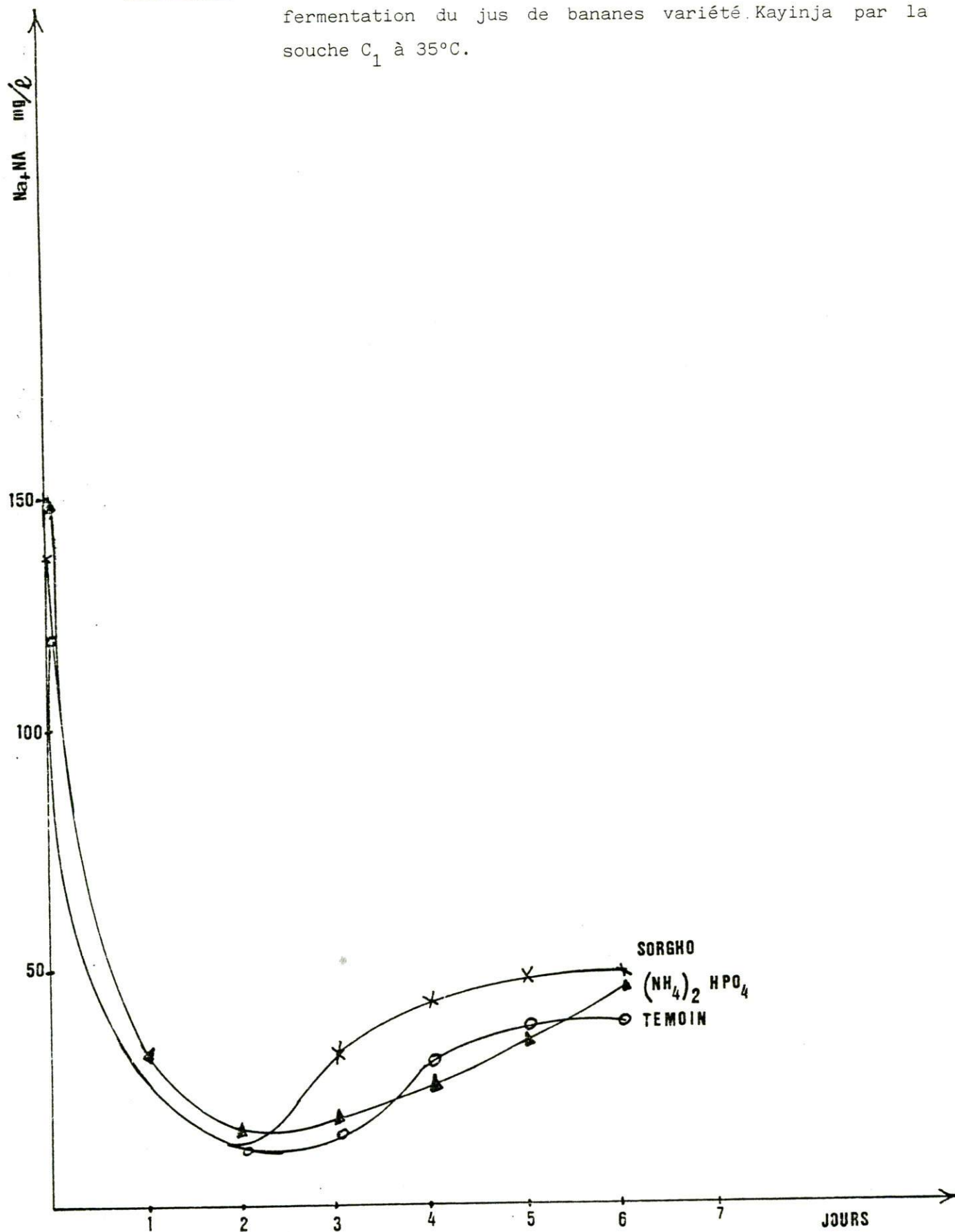


Tableau n° 59

Numération des levures : Souche C1 à température ambiante

Jours de fermentation	Nombre de levures $\times 10^7$ /ml			
	Avec sorgho	Avec $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$		Témoin
0	0,13	0,13		0,13
2	6,9	9,6		9,5
3	9,85			
4	10,45	12,3		12,75
5	9,95			
6	7,55	8,75		9,0
7	5,40	6,15		7,05
8	4,60	5,10		5,90
9				
10	3,6	3,9		4,0
11	3,2	3,15		3,2
15	2,85	2,95		2,85

Tableau n° 60

Numération des levures : Souche C1 à 30°C

Jours de fermentation	Nombre de levures $\times 10^7$ /ml		
	Avec sorgho	Avec $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	Témoin
0	0,115	0,135	0,135
1	10,20	6,150	7,15
2	11,05	10,70	8,90
3	10,60	11,50	10,45
4	10,10	11,80	10,80
5	9,50	11,70	10,40
7		10,30	9,75
8	7,15	9,20	8,40
9	6,30	8,60	7,20
11	4,45	6,85	4,40
15	2,85	3,20	2,95

Tableau n° 11

Numération de levures : Souche C1 à 35°C

Jours de fermentation	Nombre de levure $\times 10^7$ /ml		
	Avec sorgho	Avec $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	Témoin
0	0,145	0,150	0,145
1		9,4	
2	9,4	11,25	8,85
3	9,75	12,0	9,35
4	9,70	11,95	9,60
5	8,70	10,60	9,35
7	8,05	9,70	
8	6,40	8,35	8,35
9	4,10	7,25	7,60
10	3,85	5,70	6,85
11	3,25	4,45	6,00
15	2,95		

Figure 29 : Croissance de la souche C_1 dans le jus de bananes variété Kayinja , fermenté à la température ambiante (20-22°C).

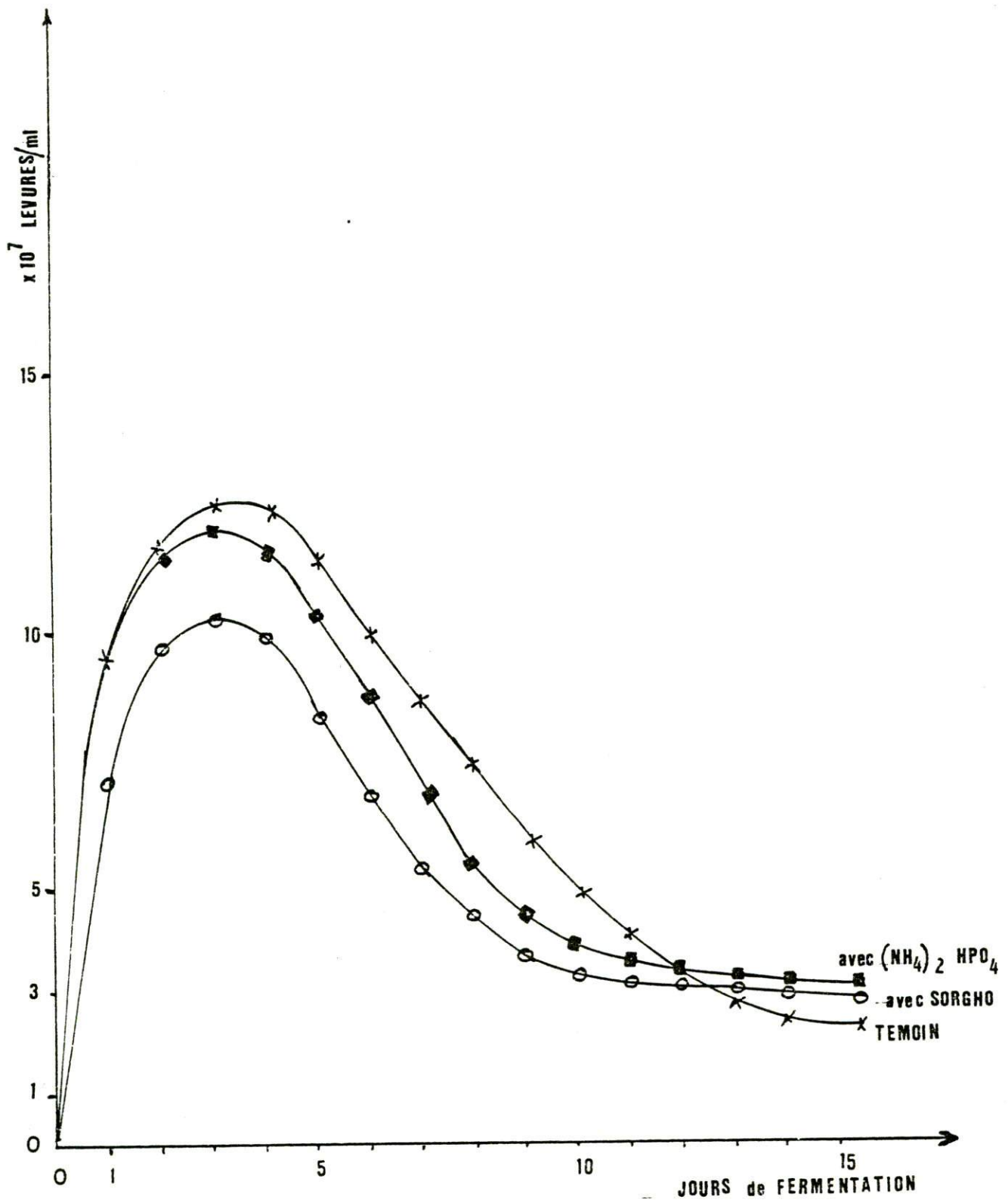


Figure 30 : Croissance de la souche C_1 dans le jus de bananes variété Kayinja , fermenté à 30°C.

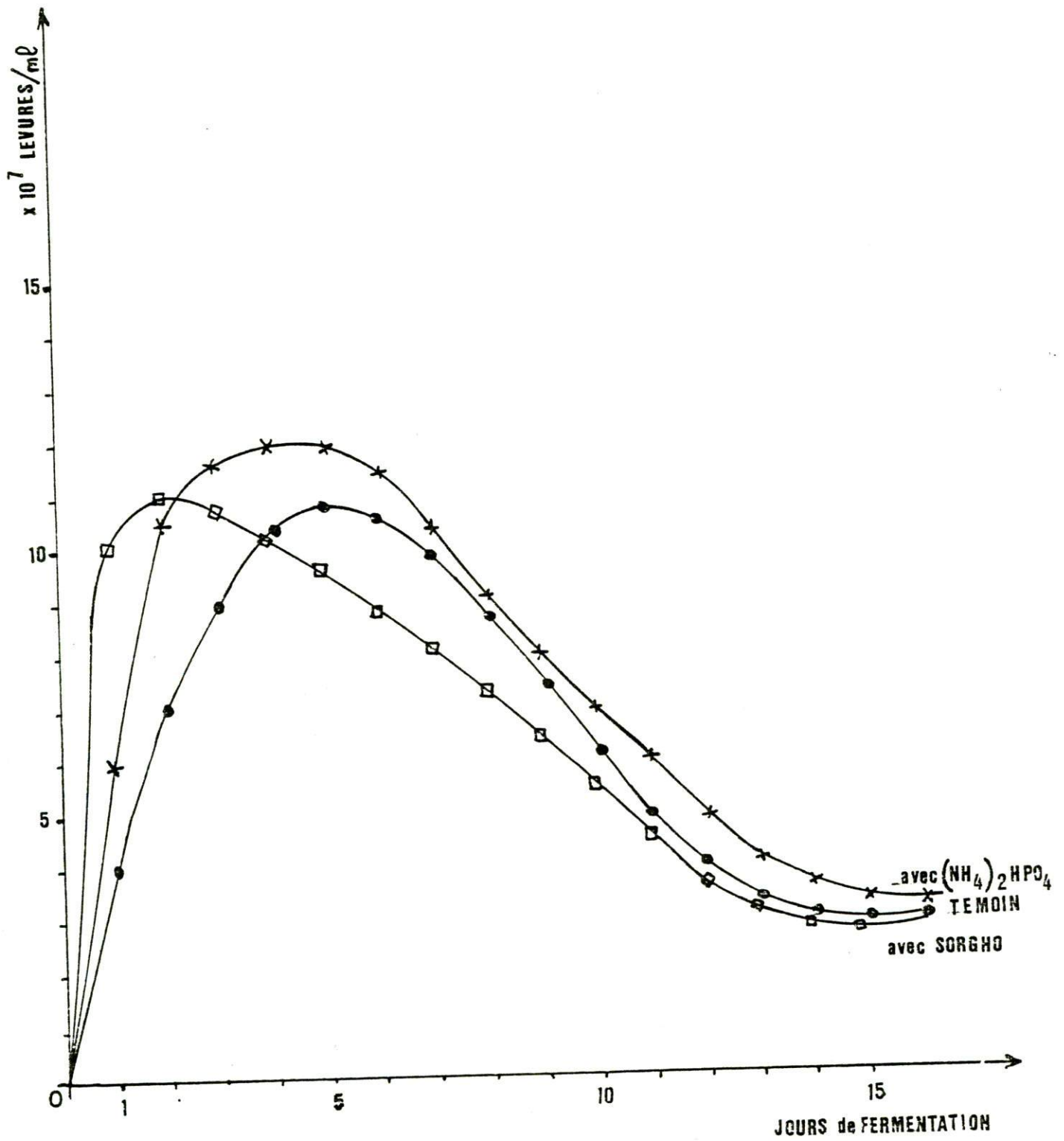
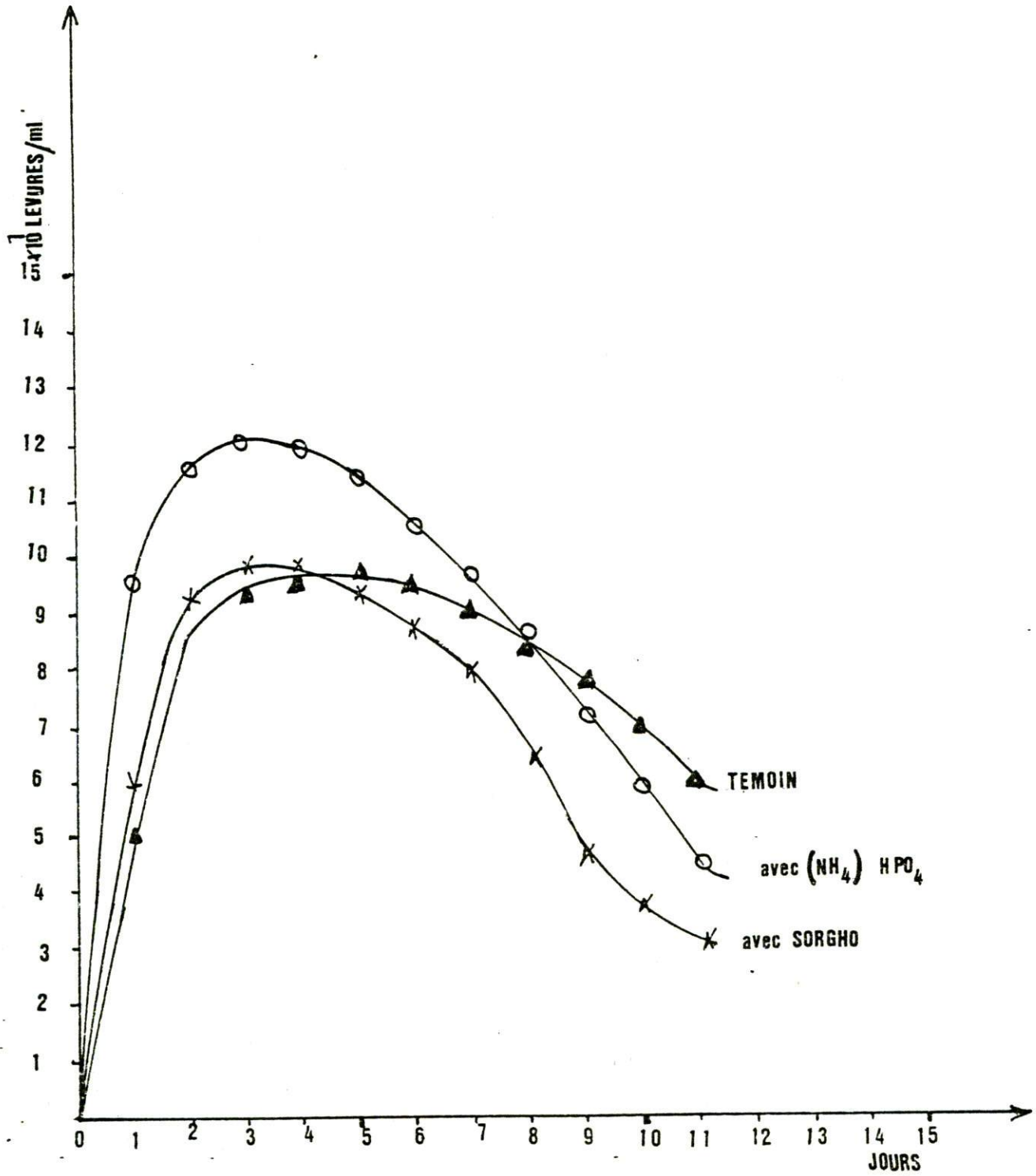


Figure 31 : Croissance de la souche C_1 dans le jus de bananes variété Kayinja fermenté à 35°C.



xième journée de fermentation, mais avec une vitesse plus faible qu'au premier jour.

4. comme le montrent les graphiques de l'évolution des matières azotées au cours de la fermentation et les courbes de croissance des levures, plus l'azote est consommé, plus la concentration de levures est importante.
5. dès la 3ème journée de fermentation, les matières azotées cessent de diminuer, et commencent à augmenter.

Ce phénomène intervient au moment où le cycle de croissance des levures atteint sa phase de ralentissement pour les essais de fermentation conduits à la température ambiante, alors que dans les essais de fermentation conduits aux températures de 30 et 35°C, la multiplication des cellules est déjà entrée dans la phase stationnaire ou même de déclin dans le jus additionné de farine de sorgho et fermenté à 30°C.

6. dès de 4ème jour de fermentation, la population levurienne décroît dans tous les essais, tandis que les matières azotées continuent à augmenter.

Nous pensons que ce phénomène provient du fait que la phase logarithmique de multiplication des levures correspond à une consommation maximale des matières azotées assimilables.

Quant à la reconstitution des matières azotées qui se manifeste dès le 3ème jour, le phénomène pourrait s'expliquer par le fait que les levures ayant épuisé les matières azotées assimilables dans le milieu en fermentation cessent de se multiplier et décroissent en cédant dans le milieu des acides aminés synthétisés à l'intérieur de la cellule. Ce phénomène d'excrétion serait alors à l'origine de l'augmentation des matières azotées qui se manifeste à la fin de la phase logarithmique de multiplication des cellules (16).

Par ailleurs, il est à remarquer que :

- les matières azotées sont mieux assimilées dans le jus additionné de farine de sorgho fermenté à la température ambiante, alors qu'elles

le sont moins dans le jus additionné de phosphate d'ammonium fermenté à la même température.

- à la température de 30°C, les matières azotées sont mieux assimilées par les levures dans le jus additionné de farine de sorgho ou de phosphate d'ammonium.
- à 35°C, les matières azotées sont les moins assimilées, surtout dans le jus additionné de farine de sorgho.

Ainsi, comme les levures se multiplient dans la mesure où elles sont capables d'utiliser l'azote du milieu soumis à la fermentation, et comme il ne peut y avoir multiplication des levures sans fermentation des sucres, nous pouvons conclure qu'au dessus de 30°C, les souches que nous avons isolées dans les vins de bananes ne sont plus en mesure d'assurer une fermentation efficace du jus de bananes (40).

Dans tous les essais, nous avons remarqué que la température appropriée au développement des souches isolées se situe entre 25 et 30°C. Ainsi, nous pensons que la température de 28°C, qui est une moyenne, serait appropriée au développement convenable des souches étudiées.

Par ailleurs, nous avons pensé que l'activation de la fermentation du jus de bananes par la farine de sorgho provenait du fait que celle-ci apporte au jus de l'azote assimilable ; mais l'étude de l'évolution des matières azotées dans le jus de bananes témoin et dans le jus additionné de farine de sorgho ou de phosphate d'ammonium, nous a montré que l'activité de la farine de sorgho sur la fermentation du jus de bananes doit être recherchée ailleurs, par exemple dans la présence éventuelle de facteurs de croissance tels que les vitamines.

4.8. COMPORTEMENT DE 37 SOUCHES DE LEVURES DANS LE JUS DE BANANES, VARIETE INTUNTU, FERMENTE A 28°C AVEC OU SANS AJOUT DE FARINE DE SORGHO

Le degré de transformation des sucres en alcool au cours de la fermentation dépend en général de la façon dont la souche utilisée se multiplie dans le milieu en fermentation.

En effet, les levures exigent pour se développer des conditions de température bien déterminées et un milieu renfermant des éléments spécifiques de croissance. C'est pourquoi, après avoir constaté au cours des essais précédents que la plupart des souches étudiées se développent normalement à la température de 28°C, il a été décidé d'étudier l'influence de la farine de sorgho sur la stimulation de la fermentation du jus de bananes à 28°C en suivant au cours de la fermentation, la dégradation des sucres, la formation de l'alcool et de l'acidité volatile.

Nous pensons que les souches produisant jusqu'à 10 % d'alcool, avec formation d'une acidité volatile ne dépassant pas 20 méq/l peuvent être retenues comme étant susceptibles d'achever la fermentation du jus de bananes.

Ainsi, l'étude de la croissance des différentes souches, de la fermentation des sucres et de la formation de l'acidité volatile, nous permettra de déterminer les souches réellement appropriées à la fermentation du jus de bananes.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux 62, 63, 64, 65 et 66.

4.8.1. Discussion des résultats

La fermentation spontanée du jus de bananes conduit souvent à la formation dans le milieu d'une acidité volatile excessivement élevée qui finit par bloquer la fermentation alcoolique.

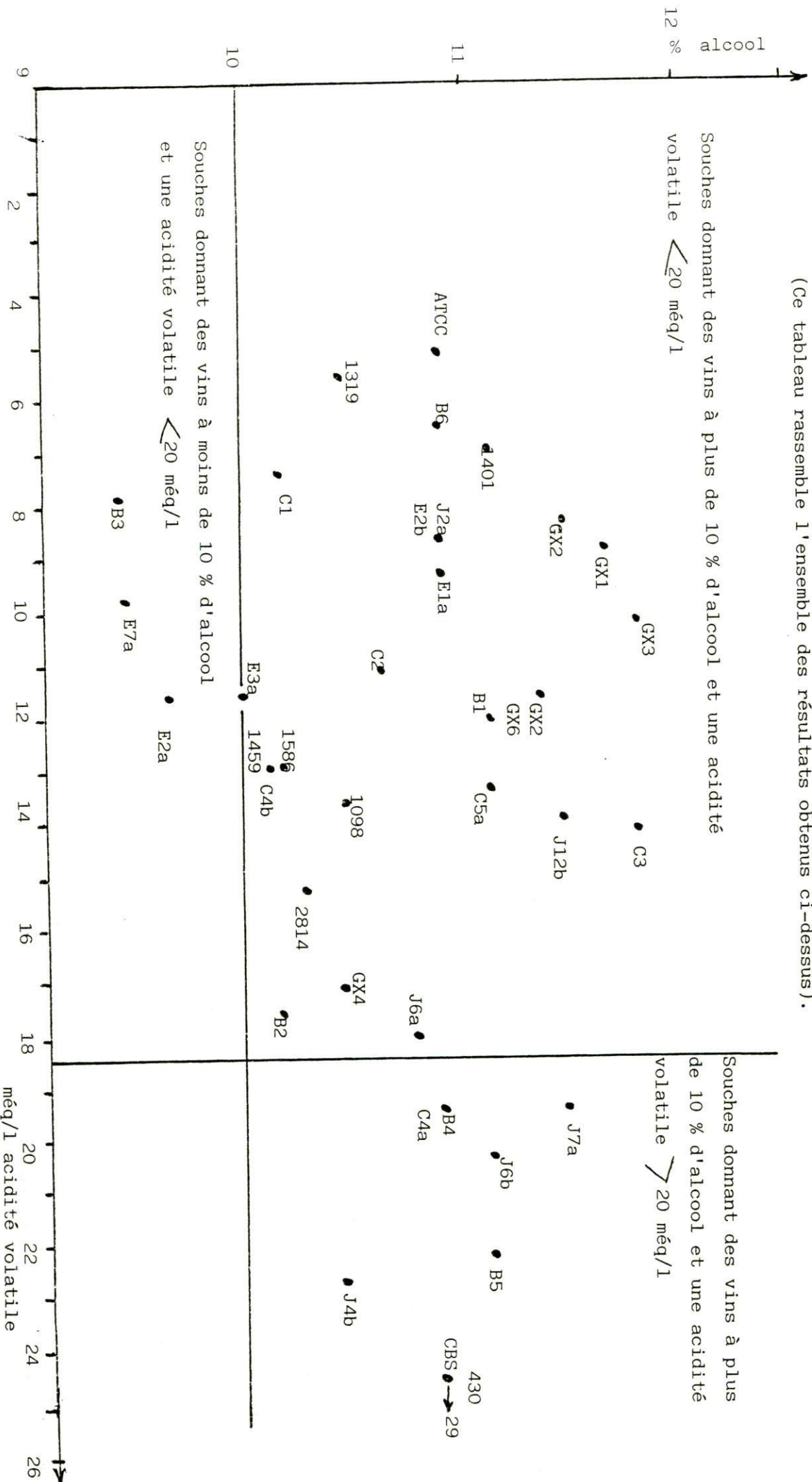
Ces accidents de fermentation sont dus au fait que la plupart des levures indigènes présentes dans le jus de bananes sont incapables de transformer la totalité des sucres présents à concentration élevée et de résister aux fortes concentrations en alcool qui se forment dans le milieu.

Les sucres résiduels peuvent contribuer à la formation d'un milieu favorable au développement de microorganismes responsables de la formation d'une forte acidité volatile.

Dans le cadre des vins obtenus par fermentation de moûts de

JUS DE BANANES + FARINE DE SORGHO

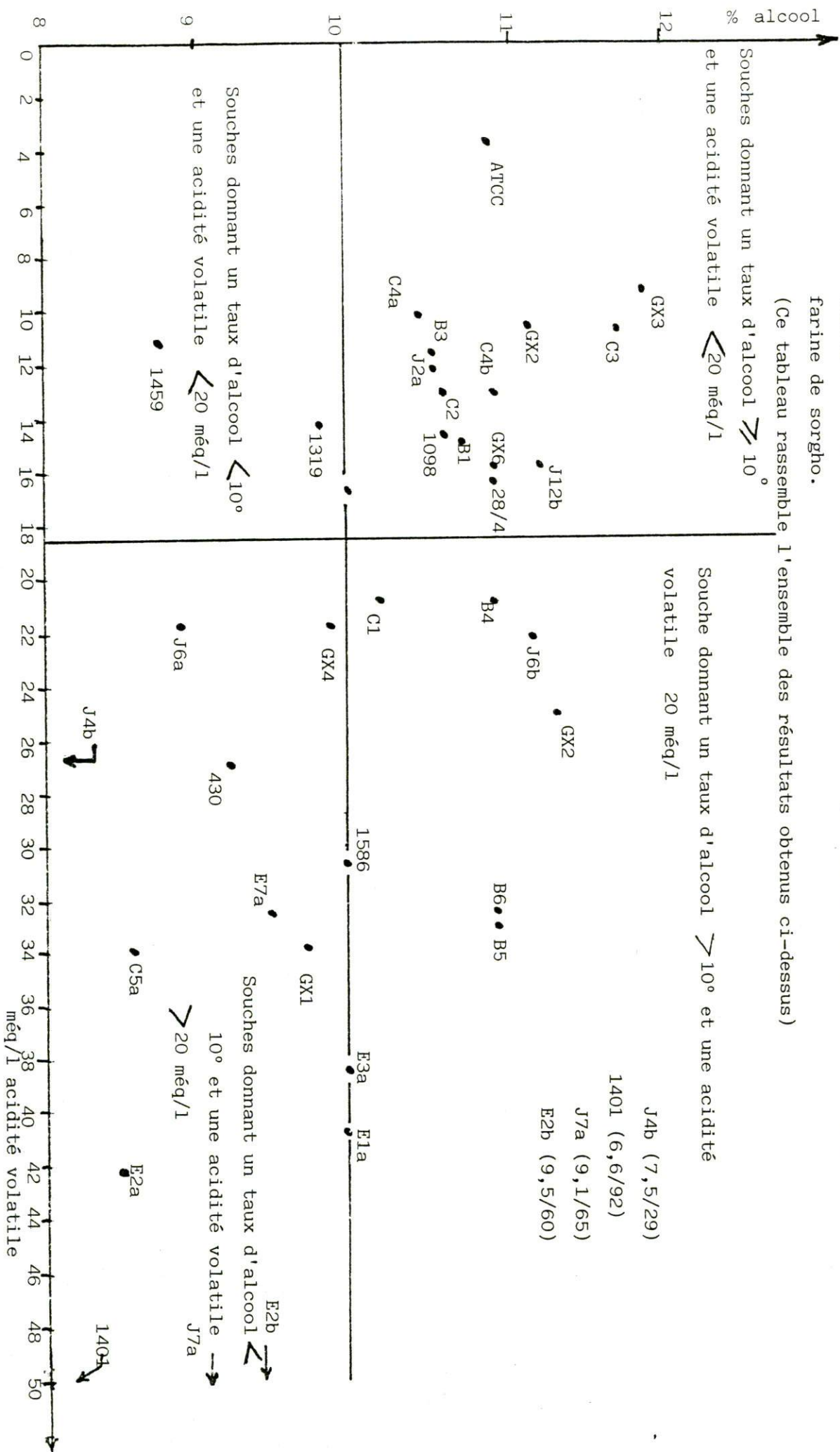
Tableau 62 : Quantité d'alcool formé et taux d'acidité volatile observé lors des fermentations menées avec les 37 souches de levures sur du jus de bananes en présence de farine de sorgho.
(Ce tableau rassemble l'ensemble des résultats obtenus ci-dessus).



JUS DE BANANES PUR

Tableau 63 : Quantité d'alcool formé et taux d'acidité volatile observé lors des fermentations menées avec les 37 souches de levures sur du jus de bananes Intuntu en absence de farine de sorgho.

(Ce tableau rassemble l'ensemble des résultats obtenus ci-dessus)



JUS DE BANANES + FARINE DE SORGHO

Tableau 64 : Quantité d'alcool formé et teneur en sucres résiduels lors des fermentations menées avec les 37 souches de levures sur un jus de bananes de la variété Intuntu en présence de farine de sorgho.

(Ce tableau rassemble l'ensemble des résultats obtenus ci-dessus)

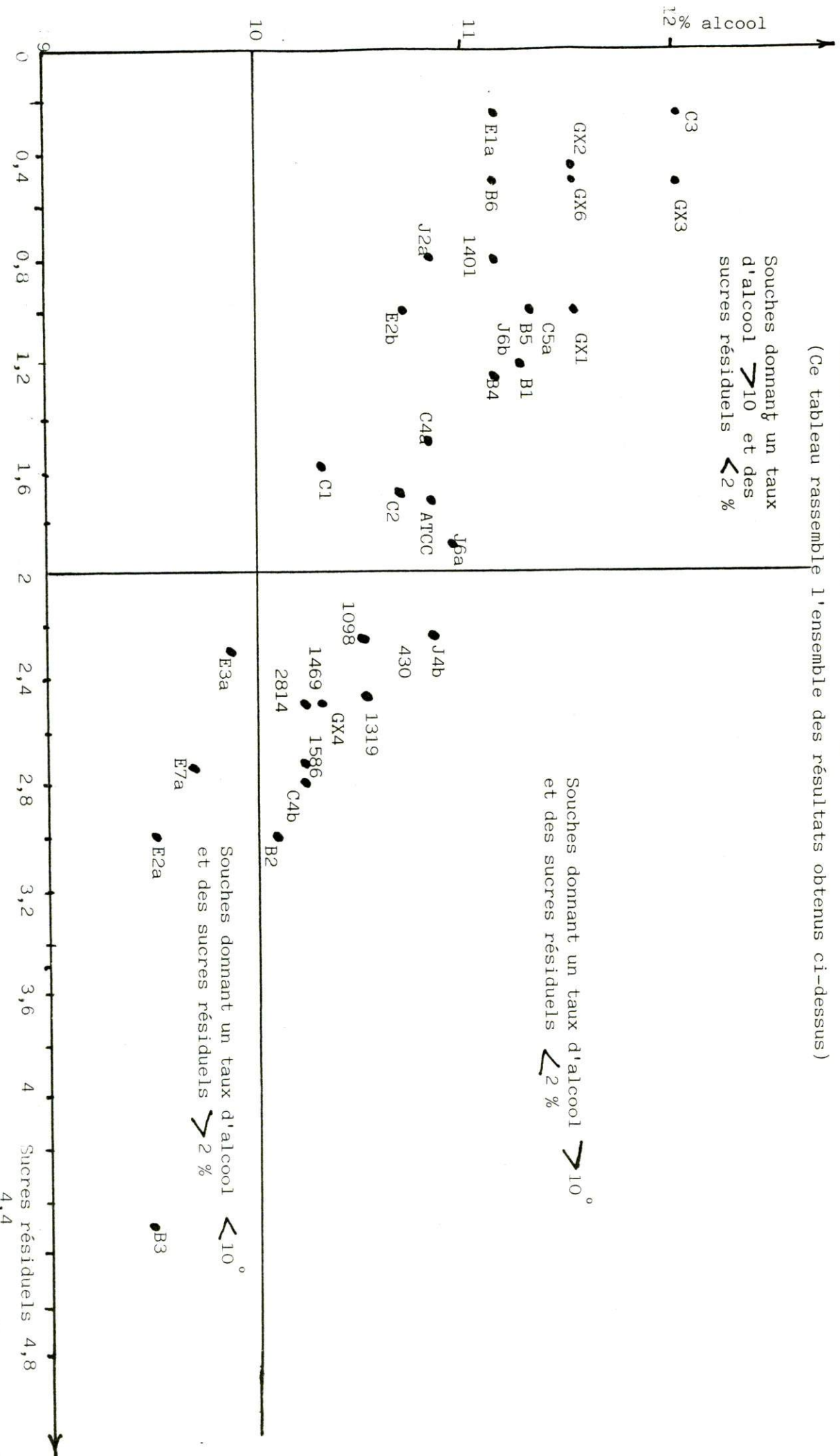


Tableau 65

JUS DE BANANES PUR

Quantité d'alcool formé et teneur en sucres résiduels observés lors des fermentations menées par les 37 souches de levure sur un jus de bananes en absence de farine de sorgho. (Ce tableau rassemble l'ensemble des résultats obtenus ci-dessus).

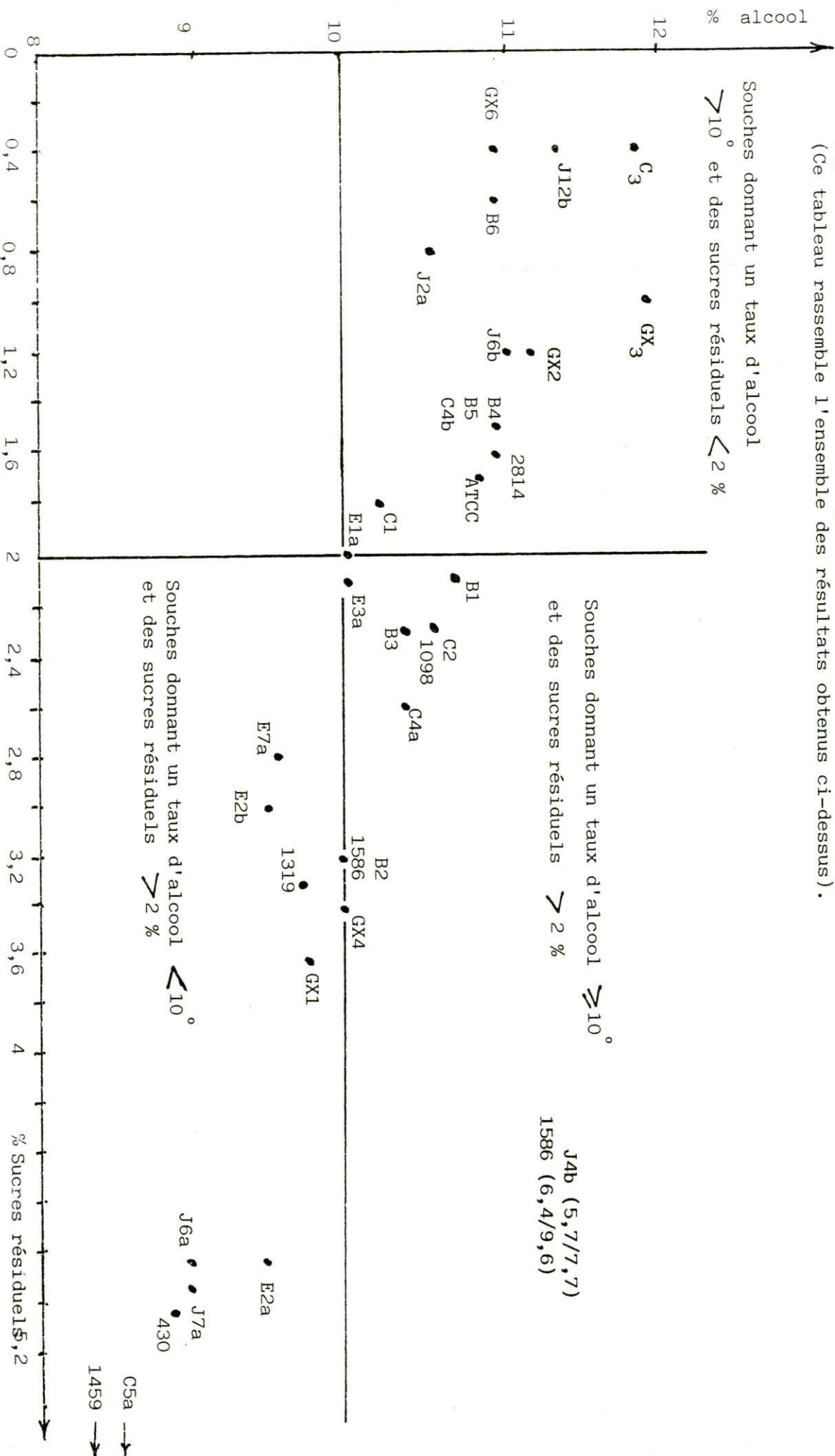


Tableau n° 66

Classement des 37 souches de lavures en fonction de leur pouvoir fermentaire. Ce tableau rassemble les résultats des tableaux n°s 62, 63, 64, et 65.

Souche	Jus + sorgho		Jus pur		Souche
	Alcool	Alcool	Alcool	Alcool	
	Acidité volatile	Sucres résiduels	Acidité volatile	Sucres résiduels	
ATCC	+	+	+	+	ATCC
B1	+	-	+	-	B1
B2	+	-	+	-	B2
B3	-	-	+	-	B3
B4	-	+	-	+	B4
B5	-	+	-	+	B5
B6	+	+	-	+	B6
C1	+	-	+	-	C1
C2	+	-	+	-	C2
C3	+	+	+	+	C3
C4a	-	+	-	-	C4a
C4b	+	-	+	+	C4b
C5a	+	+	-	-	C5a
E1a	+	+	-	+	E1a
E2a	-	-	-	-	E2a
E2b	+	+	-	-	E2b
E3a	+	-	-	-	E3a
E7a	-	-	-	-	E7a
Gx1	+	+	-	-	Gx1
Gx2	+	+	+	+	Gx2
Gx3	+	+	+	+	Gx3
Gx4	+	-	+	-	Gx4
Gx6	+	+	+	+	Gx6
J2a	+	+	+	+	J2a
J4b	-	-	-	-	J4b
J6b	-	+	-	+	J6b
J7b	-	+	+	-	J7b
J12b	+	+	+	+	J12b
85 430	-	-	-	-	430
1098	-	-	+	-	1098
1319	+	-	-	-	1319
1401	+	+	-	-	1401
1459	+	-	-	-	1459
1586	+	-	-	-	1586
2814	+	-	+	-	2814

+ : Souches donnant des résultats satisfaisants.

- : Souches donnant des résultats non satisfaisants.

raisin, S. LAFONT-LAFOURCADE (22) a étudié les origines microbiologiques de l'acidité volatile (terme technologique qui recouvre essentiellement la teneur en acide acétique).

Cette acidité peut avoir une triple origine :

- oxydation de l'alcool par des bactéries acétiques.
- sous-produits du métabolisme des bactéries lactiques.
- produits secondaires formés par la levure au cours de la fermentation, mais en quantité relativement faible.

Il peut en être de même de l'origine de l'acidité volatile observée souvent dans les vins de bananes.

Pour atteindre une dégradation totale des sucres et éviter le développement de microorganismes nuisibles à la fermentation alcoolique normale, il est nécessaire d'utiliser des souches de levures capables de se développer rapidement dans le jus de bananes et de résister aux effets inhibiteurs de l'alcool.

Pour sélectionner des souches de levures répondant à ces conditions, nous avons étudié 37 souches dont 28 ont été isolées de vins de bananes de fabrication traditionnelle.

Pour stimuler le développement des cellules de levure et éviter le développement d'une acidité volatile très élevée au cours de la fermentation, nous avons utilisé de la farine de sorgho sous forme d'ajout à raison de 5 g/l. Nous nous sommes inspirés de la pratique traditionnelle dans la fabrication du vin de bananes au Rwanda.

La fermentation conduite à 28°C a été étudiée en présence ou en absence d'ajout de farine de sorgho en suivant l'évolution de l'alcool formé, des sucres fermentés, de l'acidité volatile et de la multiplication des cellules de levures.

4.8.1.1. Quantité d'alcool formé et taux d'acidité volati
le observé lors des fermentations menées avec
37 souches de levures sur un jus de bananes
de la variété Intuntu avec ou sans ajout de
farine de sorgho.

De l'étude des tableaux 62 et 63 qui rassemblent la totalité des résultats obtenus lors de la fermentation du jus de bananes en présence ou en absence d'ajout de farine de sorgho, il ressort que :

- pour le jus fermenté en présence de farine de sorgho, 23 des 37 souches étudiées donnent des résultats satisfaisants. En fin de fermentation on obtient des vins titrant plus de 10 % d'alcool et possédant une teneur en acidité volatile située dans les limites réglementaires ≤ 20 méq/l.
- les 14 autres souches n'ont pas pu achever la fermentation et ont conduit à la formation d'une acidité volatile supérieure à 20 méq/l, sortant des normes réglementaires.
- pour le jus fermenté sans ajout de farine de sorgho, seulement 15 des 37 souches fermentent efficacement le jus de bananes pur. Elles donnent en fin de fermentation des vins titrant plus de 10 % d'alcool et possédant une acidité volatile située dans les limites réglementaires ≤ 20 méq/l.

4.8.1.2. Quantité d'alcool formé et teneur en sucres
résiduels observée lors des fermentations menées
avec 37 souches de levures sur un jus de bananes
variété Intuntu avec ou sans ajout de farine
de sorgho.

De l'étude des tableaux 64 et 65 qui rasemblent la totalité des résultats obtenus lors de la fermentation du jus de bananes en présence ou en absence d'ajout de farine de sorgho, il ressort que :

- pour le jus fermenté en présence de farine de sorgho 19 souches donnent des résultats satisfaisants. En fin de fermentation, on obtient

des vins titrant plus de 10 % d'alcool et possédant un taux de sucres résiduels faible \leq à 2 %.

- les 18 autres souches n'ont pas fermenté les souches de façon satisfaisante. Les vins obtenus possèdent un taux de sucres résiduels $>$ à 2 %.
- pour le jus fermenté sans ajout de farine de sorgho, seulement 13 souches fermentent le jus de bananes de façon satisfaisante ; les vins obtenus titrent plus de 10 % d'alcool et renferment un taux de sucres résiduels faible \leq à 2 %.

4.8.1.3. Classement des 37 souches de levures en fonction de leur pouvoir fermentaire

Les tableaux 62, 63, 64 et 65 commentés précédemment nous permettent de classer les 37 souches de levures étudiées en fonction de leur aptitude à donner une teneur en alcool élevée ($>$ 10 %), une teneur en acidité volatile faible (\leq 20 méq/l) et un taux de sucres résiduels ($<$ 2 %) lors d'une fermentation d'un jus de bananes contenant ou non un ajout de farine de sorgho. La synthèse de ces 4 tableaux permet de dresser le tableau 6. De son étude, il ressort que 7 levures sont particulièrement bien adaptées à la fermentation du jus de bananes ; il s'agit de :

ATCC, C3, GX2, GX3, GX6, J2a et J12b

La souche ATCC est une souche de vinification classique utilisée pour la fermentation du moût de raisin.

Les 6 autres ont été isolées de vins de bananes traditionnels du Rwanda.

Les souches les plus utilisées à l'O.V.I.B.A.R. sont : GX3 et C3.

4.8.2. Croissance des souches retenues ATCC, C3, GX2, GX3, GX6, J2a et J12b dans le jus de bananes de variété Intutun fermenté à 28°C, influence de la farine de sorgho sur la marche de la fermentation.

La fermentation des sucres étant liée à la multiplication des cellules, il nous a semblé utile de suivre l'évolution des cellules levuriennes dans le jus de bananes fermenté avec ou sans ajout de farine de sorgho à 28°C, température optimale que nous avons retenue pour la croissance normale des souches étudiées.

Les résultats obtenus lors de l'étude des 7 souches de levures sont rassemblés dans les tableaux 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79 et 80 et illustrés par les figures 32, 33, 34 et 35.

4.8.2.1. Discussion des résultats

En analysant les courbes de croissance des souches dans le jus de bananes variété Intuntu additionné de farine de sorgho (figures 32 et 33) des 7 souches retenues, nous observons 3 phases de croissance :

1. une phase exponentielle d'une durée de 4 jours qui porte la population levurienne totale de $0,18 \times 10^7$ à $9,5 \times 10^7$ cellules/ml sauf pour la souche ATCC pour laquelle le nombre des cellules est porté à $7,45 \times 10^7$ cellules/ml.
2. une phase quasi-stationnaire où les cellules totales se maintiennent au-dessus de $9,5 \times 10^7$ cellules/ml.
3. une phase de déclin qui pendant 7 jours ramène la population levurienne totale à 3×10^7 cellules/ml sauf pour les souches GX3 et ATCC pour lesquelles les cellules totales chutent en fin de fermentation à 4×10^7 cellules/ml.

Dans le jus fermenté sans ajout de farine de sorgho, nous constatons que la population levurienne est inférieure à celle dénombrée dans le jus fermenté en présence d'ajout de farine de sorgho, mais le

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes, variété INTUNTU fermenté à 28°C par la souche GX₂ en présence et en absence de farine de sorgho.

Tableau n° 67

Jours de fermentation	SOUCHE GX ₂				Jus Témoin			
	Jus additionné de la farine de sorgho.				Jus Témoin			
	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool volume%	Sucres fermentés gr/100ml	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool volume%	Sucres fermentés gr/100ml
1	57	18	1°5	0,5%	61	9,5	1°6	3,1%
2	62	12	3°5	6,1%	61,0	10,5	3°1	5,4%
3	66,5	13	7°1	12,4%	-	-	-	-
4	-	-	-	-	68,0	11	3°9	6,8%
5	66,5	11	9°8	17,7%	73,5	11,5	8°8	15,4%
6	67,0	12	10°2	17,8%	71,0	11,5	10°1	7,8%
7	67,0	12,5	11°3	19,9%	69,5	12	10°4	18,2%
8	67,0	13,0	11°5	19,9%	70	12	10°9	18,8%
9	68,0	13,0	11°5	19,9%	72,0	11,4	11°2	19,6%

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes variété IMPURU fermenté à 23°C par la souche C₃ en présence et en absence de farine de sorgho.

Jours de fermentation	AVEC LA FARINE DE SORGHO				SANS AJOUTE DE LA FARINE DE SORGHO				
	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool volume %	Sucres fermentés gr/100 ml	Jours de fermentation	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool volume %	Sucres fermentés en gr/100 ml
1	4,5	1,5	1°3	2,5	1	49,5	16,0	0°2	0,4
2	51	16,5	7°4	12,9	2	63,5	11,5	5°3	9,3
3	56,5	15,5	10°	17,5	3	65	11	7°9	13,8
4	-	-	-	-	4	-	-	-	-
5	-	-	11°4	19,9	5	-	-	10°2	17,9
6	71	1,7	11°6	20,3	6	72,5	13	10°9	19,1
7	71	17,5	11°8	20,6	7	72	13,5	11°6	20,3
8	-	-	-	-	8	-	-	-	-
9	71,5	18	11°9	20,7	9	72	11,5	11°7	20,3
10	69	17,5	11°9	20,7	10	71	11,5	11°8	20,3

P.H. n° 29

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes variétés IFFUNTU fermenté à 28°C par la souche ATCC en présence et en absence de farine de sorgho.

Jours de fermentation	Jus additionné de la farine de sorgho					Jus témoin (jus pur, sans ajout)				
	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool volume %	Sucres fermentés gr/100 ml	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool volume %	Sucres fermentés en gr/100 ml		
1	55	5,0	1°3	1,8%	55	5,5	1°7	5%		
2	60,5	4,5	3°4	6,0%	62	4,5	3°5	5,8%		
3	67	5,5	6°8	11,9%	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	75,5	5,5	5°8	10,4%		
5	75,5	4,0	10°5	13%	69,5	4,0	9°4	16,5%		
6	70,5	4,0	10°8	13,5%	76,5	3,5	9°7	17%		
7	72,5	4,0	10°8	18,8%	75,5	4,5	10°5	18,4%		
8	72,0	4,0	10°8	18,9%	76	4,0	10°9	19,1%		
9	74,5	5	10°9	19,1%	-	4	10,9	19,1%		

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool,
de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes
variété INTUTU fermenté à 28°C par la souche GX₃ en
présence et en absence de farine de sorgho.

159.

Tableau 70

S O U C H E GX ₃									
Jours de fermen- tation	Jus additionné de la farine de sorgho				Jus Témoin				
	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool volume% !	Sucres fermentés gr/100ml	Acidité totale még/l	Acidité volatile még/l	Alcool Volume %	Sucres fermen- tés en g/100ml	
1	57,5	9	1°6	2,8	57,5	7,5	1°7	3	
2	58	10	3°6	6,4	58	9	2°3	4,9	
3	65,5	12	7°3	12,8	-	-	-	-	
4					68,5	9,5	4°7	8,2	
5	66,0	9	11°5	19,1	69,0	9,5	10°3	17	
6	64,5	10	11°6	19,4	73,0	12,5	11°2	17,8	
7	64,5	10	11°7	20,1	71	10,5	11°6	19,3	
8	64,5	10	11°9	20,5	71,0	10	12°	19,8	
9	67,0	11	12°	20,6		10	12	19,8	

P.L.I. n° 71

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes variété IPPIPIU fermenté à 28°C par la souche G₆ en présence et en absence de farine de sorgho.

Jours de fermentation	Jus additionné de la farine de sorgho				Sans ajout de la farine de sorgho			
	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés gr/100ml	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés gr/100 ml
1	93,5	9,5	2°	4,7	61	8	2°7	5,9
2	87,5	10	5°3	10,5	64	12,5	5°5	10,8
3	68,5	11,5	7°2	15,9	72,5	12	7°5	14,3
4	71,5	11	9°3	17,5	71,0	11,5	8°9	17,5
5	72,5	11,0	10°8	-	71,0	12,5	10°	-
6	73,5	12	11°3	19,6	71	15	10°2	19,1
7	77,5	12	11°5	20,2	71	14	10°4	19,4
8	75	12	11°5	20,2	69,5	14,5	10°3	20,1
9	72,5	12,5	11°5	20,3	69,0	17,0	11°	20,45

Pap. L. n.º 72

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes variété ITUFUJY fermenté à 28°C par la souche J_{2a} en présence et en absence de farine de sorgho.

Jus additionné de la farine de sorgho	Jus additionné de la farine de sorgho				Sans ajout de la farine de sorgho			
	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés gr/100 ml	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés en gr/100 ml
1	55	8,5	10°3	3,1	58	7,5	1°	2,9
2	61	11,5	6°7	12,9	52,5	9	4°	9,6
3	61,5	10	8°9	15,9	67,0	9,5	7°	13,4
4	61,5	9,0	9°9	18	68	10,5	10°	18,7
5	68,5	9	10°1	-	68,0	10,5	10°6	-
6	69,5	9	10°3	19,5	67	10,5	10°7	19,3
7	66,5	9,5	10°6	19,8	65	11,0	10°8	19,8
8	65,5	10	10°6	19,8	61,5	10,5	10°7	19,8
9	64,5	9,5	10°7	19,9	58,5	13	10°7	19,7

P. 11. n° 72

Evolution des sucres totaux, formation de l'alcool, de l'acidité totale et volatile dans le jus de bananes variété INHUMU fermenté à 23°C par la souche J_{12b} en présence et en absence de farine de sorgho.

Jus additionné de la farine de sorgho	Sans ajout de la farine de sorgho								
	Acidité lactique méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés gr/100ml	Jours de fermentation	Acidité totale méq/l	Acidité volatile méq/l	Alcool %	Sucres fermentés gr/100ml
1	61	12	5°6	7,5	2	70	16,5	4°5	8,9
2	72,5	12,5	5°7	10,7	3	70,5	15,5	6°4	12,4
4	75,5	13	7°5	14,5	4	70,5	12	8°3	15,8
5	74	13,5	8°2	-	5	72,5	14,0	8°6	-
6	78	15	9°8	18,2	6	77,5	15	10°1	18
7	79,5	17	10°6	18,7	7	75,5	17,0	10°5	19,6
8	77,0	15	11°6	19,9	8	63	16	11°3	20,3
9	77,0	15	11°6	20	9	59,5	17,1	11°3	20,3

Tableau n° 74

Croissance de la souche ATCC dans le jus de bananes, variété
 THUPU fermentés à 28°c en présence et en absence de farine
 de sorgho.

Jours de fermentation	S O U C H E A T C C					
	Jus additionné de la farine de sorgho	Cellules mortes x 10 ⁷ /ml	Cellules vivantes x 10 ⁷ /ml	Jus témoin (jus pur sans ajout)	Cellules mortes x 10 ⁷ /ml	Cellules vivantes x 10 ⁷ /ml
1	0,18	-	0,18	0,125	-	0,125
2	6,05	-	6,05	5,3	-	5,3
3	6,9	-	6,9	6,3	-	6,3
4	7,45	0,9	6,55	6,9	0,85	5,45
5	-	-	-	-	-	-
6	6,9	1,15	5,75	5,15	1,15	5,75
7	6,45	1,55	4,90	4,15	1,25	3,9
8	4,8	1,8	3	4,05	1,35	2,80
9	4,45	1,85	2,6	3,8	1,3	2,75
10	4,15	2,0	2,15	3,65	1,35	2,45
11	4,05	2,1	1,95	3,05	1,45	2,2
12	-	-	-	-	-	-
13	3,15	2,2	0,95	3	1,8	1,25

Croissance de la souche C₃ dans le jus de bananes
variété INTUNTU fermenté à 28°C en présence et en
absence de farine de sorgho.

Tableau n° 75

Jours de fermentation	Nombre de cellules dans le jus additionné de la farine de sorgho $\times 10^7/ml$		Nombre de cellules dans le jus témoin (jus sans ajout) $\times 10^7/ml$
	A 7h30'	A 14h30'	A 7h30'
1	-	0,215	-
2	3,2	3,55	2,55
3	9,45	9,7	5,95
4	10,15	10,6	6,95
5	-	-	-
6	10,4	10,10	7,9
7	9,9	9,4	8,7
8	6,5	6,1	8,35
9	-	-	-
10	4,55	3,95	6,55
11	3,1	-	3,35

.../...

Tableau n° 76

Croissance de la souche GX₂ dans le jus de bananes, variété
 INJUNJU fermenté à 28°C en présence et en absence de farine
 de sorgho.

S O U C H E GX₂

Jours de fermentation	Jus additionné de la farine de sorgho		Jus témoin (jus pur, sans ajout)			
	Cellules totales: x 10 ⁷ /ml	Cellules mortes: x 10 ⁷ /ml	Cellules vivantes: x 10 ⁷ /ml	Cellules totales: x 10 ⁷ /ml	Cellules mortes: x 10 ⁷ /ml	Cellules vivantes: x 10 ⁷ /ml
1	0,19	-	0,19	0,185	-	0,185
2	5,25	-	5,25	4,9	0,6	4,3
3	8,35	0,7	7,65	7,05	0,95	6,1
4	9,7	0,85	8,85	9,45	1,05	8,4
5	-	-	-	-	-	-
6	6,35	1,05	5,3	7,95	1,3	6,65
7	6,05	1,15	4,9	7,2	1,45	5,75
8	5,05	1,65	3,4	6,65	1,55	5,10
9	4,65	1,95	2,7	5,4	1,80	3,6
10	3,85	2,1	1,64	5,05	1,95	3,45
11	3,7	2,15	1,75	4,6	2,2	2,4

Tableau n° 77

Croissance de la souche GX_3 dans le jus de bananes, variété IMPURU fermenté à 28°C en présence et en absence de farine de sorgho.

Donnée de fermentation	S O U C H E GX_3							
	Jus additionné de la farine de sorgho	Cellules totales	Cellules mortes	Cellules vivantes	Jus témoin (jus pur, sans ajout)	Cellules totales	Cellules mortes	Cellules vivantes
	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$	$\times 10^7/ml$
1	0,15	-	-	0,15	0,19	-	-	0,19
2	6,45	-	-	6,45	7,65	-	-	7,65
3	8,05	-	-	8,05	9,8	-	-	9,8
4	9,75	1,05	1,05	8,7	9,15	1,05	1,05	8,75
5	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8,75	1,25	1,25	7,5	8,35	1,2	1,2	7,95
7	6,65	1,35	1,35	4,8	7,7	1,3	1,3	7,05
8	6,2	1,95	1,95	4,25	6,65	1,35	1,35	6,35
9	5,3	2,15	2,15	-	6,3	1,65	1,65	5
10	4,9	2,25	2,25	2,65	5,05	1,85	1,85	4,45
11	4,75	2,45	2,45	4,30	4,04	2,25	2,25	2,8
12	-	-	-	-	-	-	-	-
13	4,15	2,4	2,4	1,75	3,4	2,55	2,55	1,49

Croissance de la souche J_2a dans le jus de bananes, variété INTUNTU fermenté à 28°C en présence et en absence de farine de sorgho.

Tableau n° 78

! Jours de ! fermentation	! Nombre de cellules dans ! le jus additionné de lalle ! farine de sorgho $\times 10^7/ml$! Nombre de cellules dans ! jus témoin ! (jus sans ajout) $\times 10^7/ml$
	! A 7h30'	! A 14h30'	! A 7h30'
! 1	! 0,185	! -	! 0,195
! 2	! 4,55	! 5,1	! 4,35
! 3	! 9,4	! 9,7	! 8,65
! 4	! 9,9	! 10,5	! 3,95
! 5	! 9,6	! -	! 9,35
! 6	! 9,15	! -	! 9,8
! 7	! 8,4	! 7,7	! 9,45
! 8	! 4,95	! 3,55	! 5,65
! 9	! 3,2	! 3,05	! 3,95
! 10	! 2,95	! 2,85	! 3,6
! 11	! 2,75	! -	! 3,15

.../...

Croissance de la souche J_{12b} dans le jus de bananes,
variété INTUNTU fermenté à 28°C en présence et en
absence de farine de sorgho.

Tableau n° 79

! Jours de ! fermentation	! Nombre de cellules dans ! le jus additionné de la ! farine de sorgho		! Nombre de cellules dans ! le jus témoin
	! x 10 ⁷ /ml		! x 10 ⁷ /ml
	655 A 7h30'	A 14h30'	A 7h30'
1	0,205	-	0,17
2	4,8	5,05	4,55
3	9,65	9,9	8,45
4	10,15	9,15	10,25
5	10,5	-	9,85
6	10,35	-	9,75
7	9,7	8,85	9,35
8	5,2	4,1	5,45
9	3,45	3,3	3,85
10	3,3	3,2	3,55
11	3,0	-	3,3

Croissance de la souche GX₅ dans le jus de bananes,
variété INTUNTU fermenté à 28°C en présence et en
absence de la farine de sorgho.

Tableau n° 80

! Jours de ! fermentation	! Nombre de cellules dans le ! jus additionné de la ! farine de sorgho. $\times 10^7/ml$! Nombre de cellules ! dans le jus témoin ! (jus sans ajout) $\times 10^7$
	! A 7h30'	! A 14h30'	! A 7h 30'
1	0,19	-	0,17
2	4,7	4,95	4,65
3	9,55	9,85	7,75
4	9,95	9,95	8,7
5	9,85	-	9,4
6	8,45	-	9,6
7	6,9	6,45	9,15
8	4,35	3,45	5,2
9	3,1	2,95	3,8
10	2,8	2,8	3,55
11	2,7	-	3,2

Figure 32 : Cycle de croissance et cinétique de la fermentation dans le jus de bananes variété Intuntu, fermenté à 28°C par 4 des 7 souches retenues en présence de farine de sorgho.

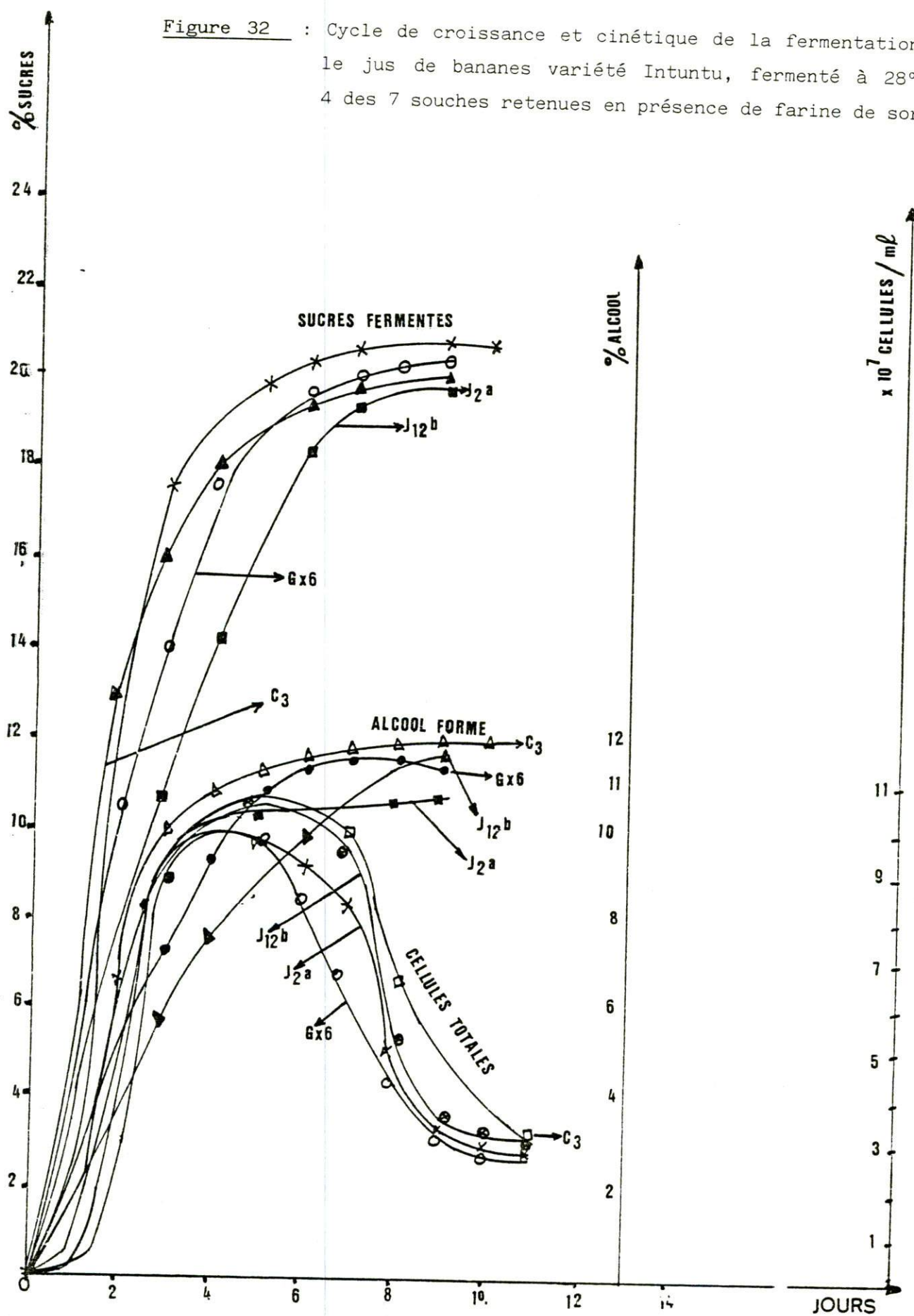


Figure 33 : Cycle de croissance et cinétique de la fermentation dans le jus de bananes variété Intuntu, fermenté à 28°C par 3 des 7 souches retenues, avec ajout de farine de sorgho.

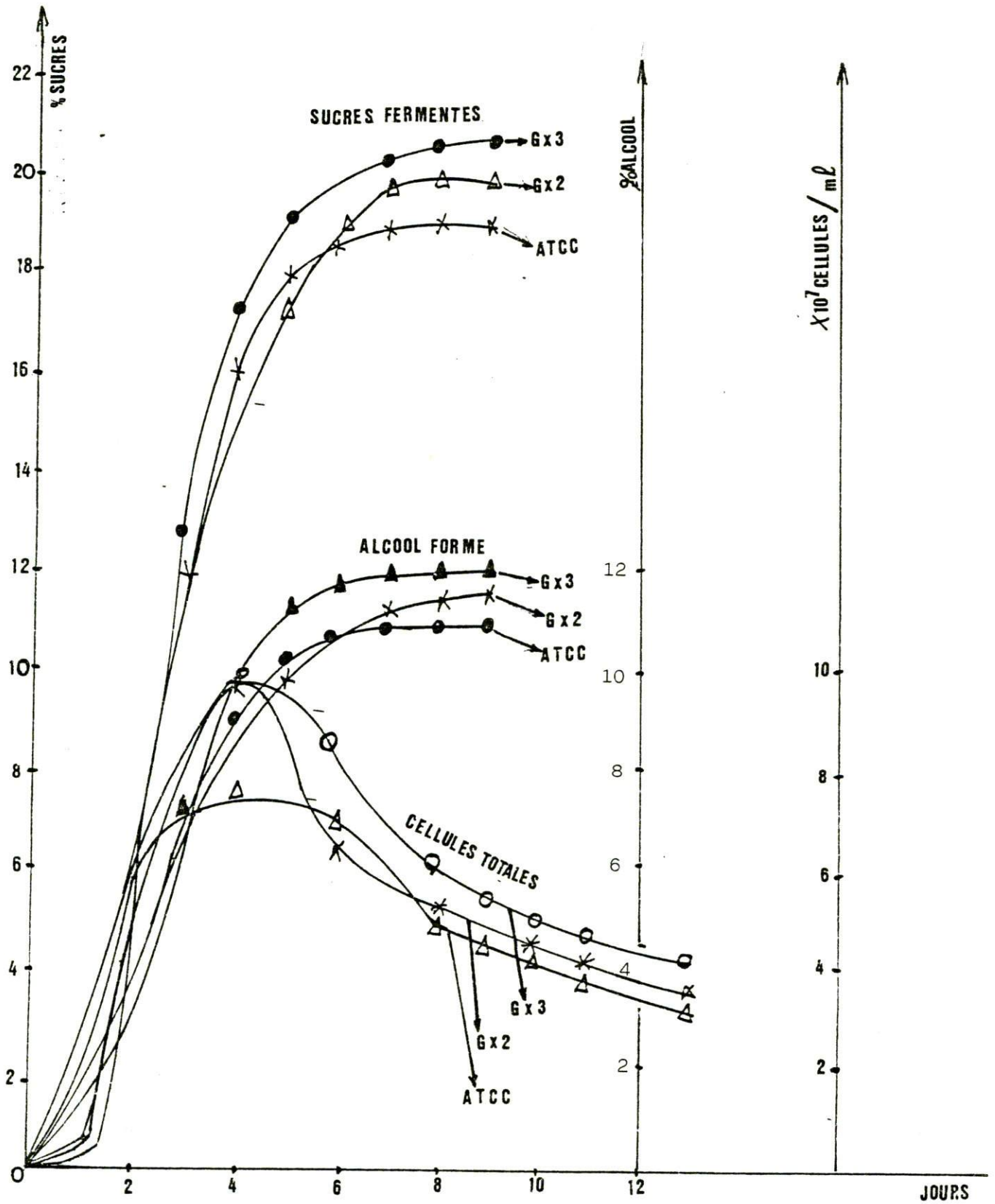


Figure 34 : Cycle de croissance et cinétique de la fermentation dans le jus de bananes variété Intuntu, fermenté à 28°C par 3 des 7 souches retenues, en absence de farine de sorgho.

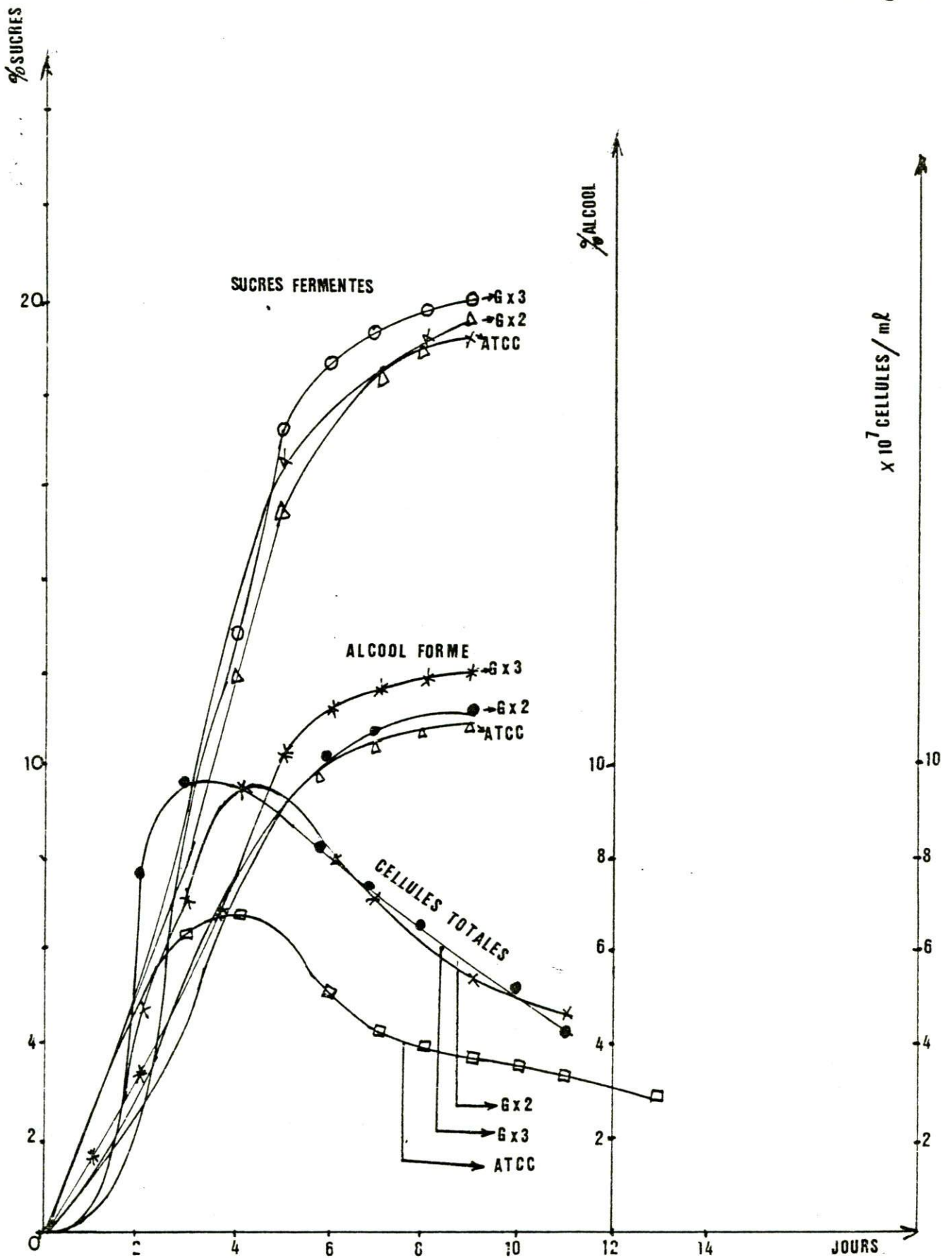
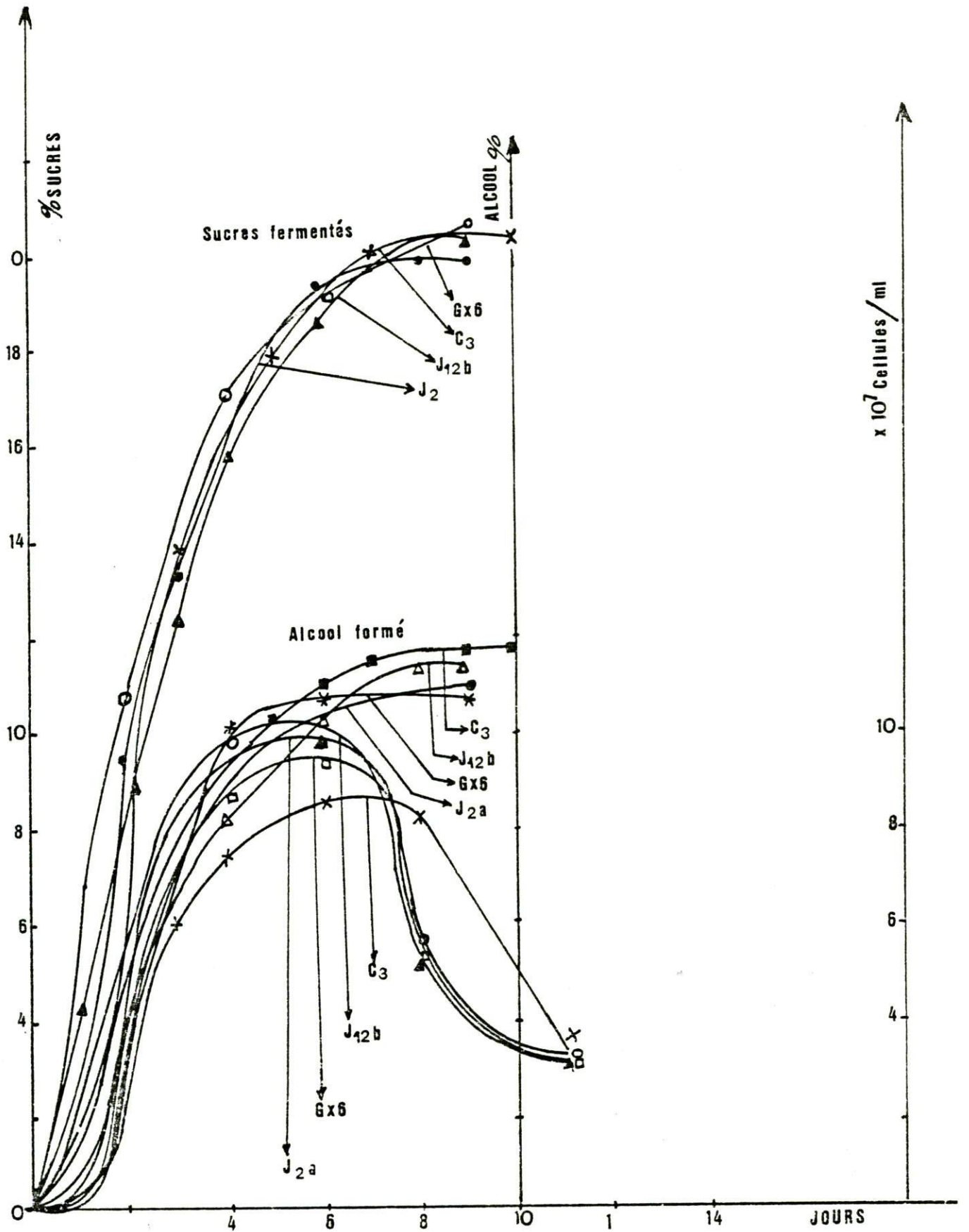


Figure 35 : Cycle de croissance et cinétique de la fermentation dans le jus de bananes fermenté à 28°C par 4 des 7 souches retenues en absence de farine de sorgho.



cycle de croissance est de même allure dans les deux cas. En fin de fermentation, le nombre des cellules totales est sensiblement le même.

Ainsi, en considérant les courbes de la croissance des cellules, de la fermentation des sucres, de l'évolution de l'acidité volatile et de l'alcool au cours de la fermentation, nous constatons que le maximum de concentration cellulaire est atteint après la dégradation d'une quantité de sucres comprise entre 10 et 11 %, sauf pour la souche ATCC, pour laquelle le maximum de cellules formées correspond à un taux de sucres dégradés inférieur à 8 % (figures 33 et 34).

De cette façon, il est visible qu'en dépit de la décroissance du nombre des cellules, la fermentation des sucres se poursuit au delà de la phase de prolifération et de la phase quasi stationnaire ; elle repose sur l'activité métabolique des populations non proliférantes et sans cesse décroissantes (23).

5.FABRICATION DES BOISSONS NON ALCOOLISEES

A PARTIR DE LA BANANE

5. FABRICATION DES BOISSONS NON ALCOOLISEES A PARTIR DE LA BANANE

Le jus de bananes peut être extrait par des procédés mécaniques, chimiques et enzymatiques que nous avons décrits dans le paragraphe 1.7. "Extraction du jus de bananes".

Cependant, le jus fabriqué pose de sérieux problèmes de conservation. En effet, le jus de bananes, comme les autres jus de fruits, se détériore très rapidement, surtout par suite d'une intervention microbienne qui ne tarde pas à se déclencher.

Pour éviter cette détérioration, plusieurs procédés de conservation du jus ont été étudiés :

5.1. PROCEDES DE CONSERVATION DU JUS DE BANANES(33)

5.1.1. Procédés chimiques

1. Pour la conservation du jus, on peut utiliser une dose massive d'un antiseptique autorisé comme par exemple l'acide formique, le benzoate de soude, mais la difficulté dans l'utilisation de ces produits est de trouver un antiseptique que l'on peut éliminer totalement sans laisser de traces dans le produit.

2. Le jus peut être conservé au moyen du gaz carbonique. Pour cela, il suffit de dissoudre 1,5 g de CO_2 pour 100 g de jus pour interdire tout développement de levures et pour détruire la flore microbienne. Mais l'inconvénient est que le jus de fruit ne peut dissoudre une telle quantité de CO_2 dans les conditions normales de pression et de température. Pour maintenir une telle saturation, il faut exercer une pression importante. Ainsi, on ne peut utiliser ce procédé qu'avec des cuves dont l'épaisseur dépasse 1 cm ; ces cuves sont difficiles à fabriquer, lourdes et d'un coût élevé.

3. L'anhydride sulfureux est également utilisé pour la conservation des jus. Pour interdire toute fermentation dans le jus, on utilise dans la pratique des doses de SO_2 allant de 750 à 1500 mg/l. Mais l'inconvénient est qu'à cette dose le jus devient imbuvable.

Pour rendre le jus propre à la consommation, on doit désulfiter le jus en le chauffant pour obtenir le départ du SO_2 lié aux sucres.

Un autre inconvénient est le fait que le SO_2 , par son action corrosive, entraîne le passage d'éléments indésirables dans le jus et détruit les tuyauteries et les cuves. Par ailleurs, la désulfitation des jus riches en sulfites est longue et oblige à chauffer le jus à des températures trop élevées en présence d'oxygène, ce qui entraîne une caramélisation et la dégradation de la saveur.(56).

5.1.2. Procédés physiques

L'utilisation des procédés physiques, à l'exclusion de toute addition d'antiseptique est préconisée surtout par soucis d'hygiène. Les procédés les plus utilisés sont :

1. La conservation soit par la pasteurisation, soit par la stérilisation.
2. La conservation par le froid.
3. La conservation du jus par concentration (évaporation).

5.1.2.1. Pasteurisation

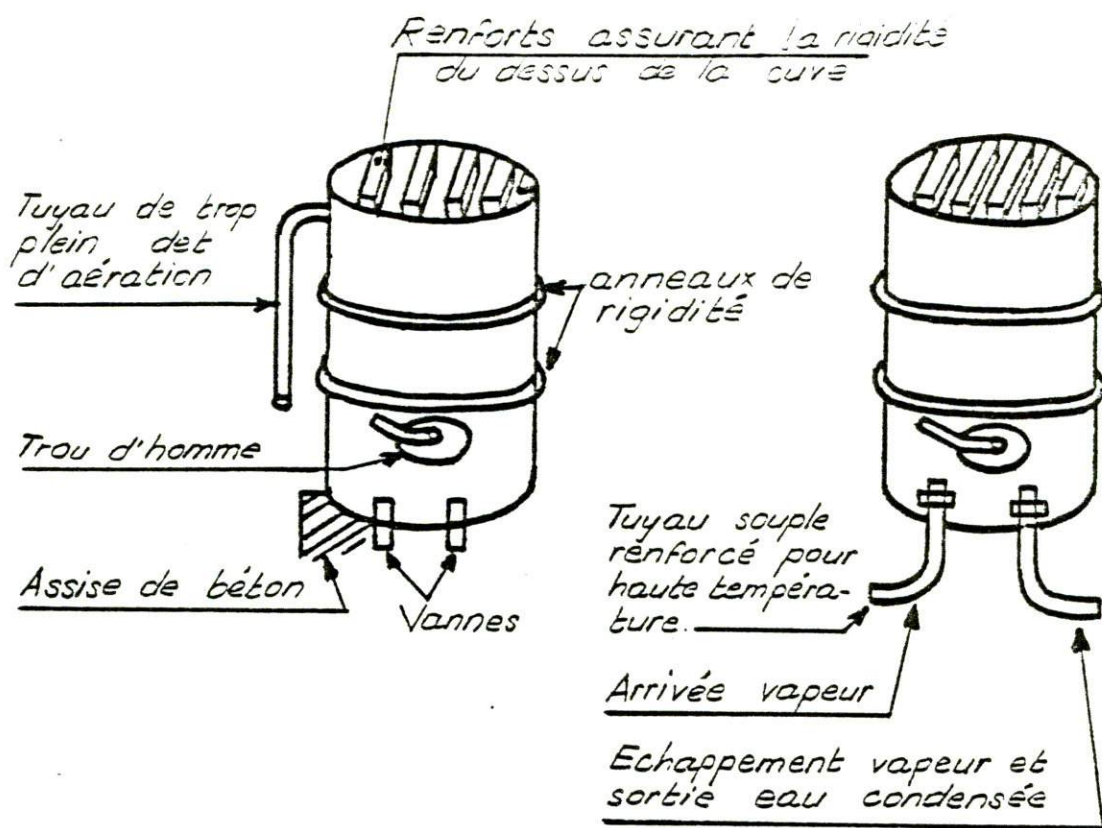
Le jus, porté à 75-80°C est introduit directement dans des récipients en verre préchauffés pour éviter la casse, puis hermétiquement bouchés. Comme le volume de ces récipients est restreint, le refroidissement est assuré par l'air ambiant.

5.1.2.2. Stérilisation

Pour conserver le jus dans une cuve de plusieurs centaines d'hectolitres, il est indispensable de la remplir à chaud pour obtenir la pasteurisation des parois, tuyauteries, joints, et air contenu. Pour ce faire, avant le remplissage, on stérilise le matériel de cuverie, les tuyauteries, les vannes et les joints avec de la vapeur à 98-100°C détendue à 0,5 kg/cm². Comme l'admission du jus pasteurisé entraîne, en se refroidissant une dépression que la cuve ne peut supporter, on admet un volume important d'air stérile dès la fermeture de la vanne de vapeur; ensuite, cet air est déplacé par le jus admis dans la cuve.

Ainsi que le montre la figure 36, le procédé de conservation stérile de jus se présente comme suit :

PROCEDE DE CONSERVATION STERILE DE JUS DE FRUITS



PRESENTATION DE LA CUVE

Phase A. Stérilisation de la cuve par la vapeur 1/2 heure 98°C

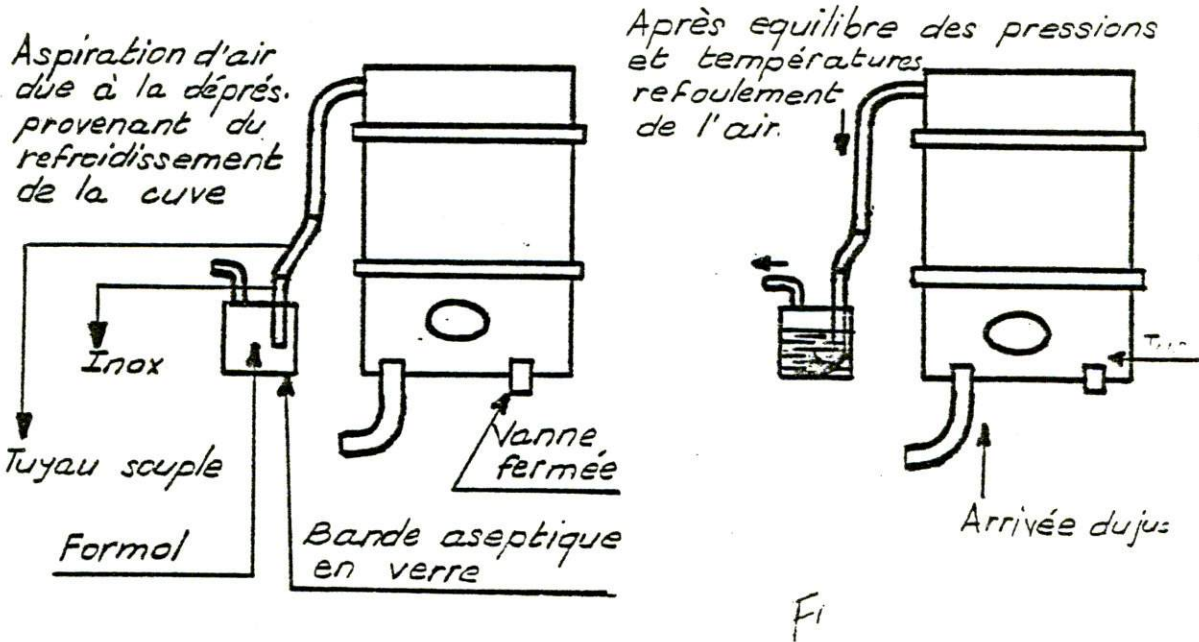
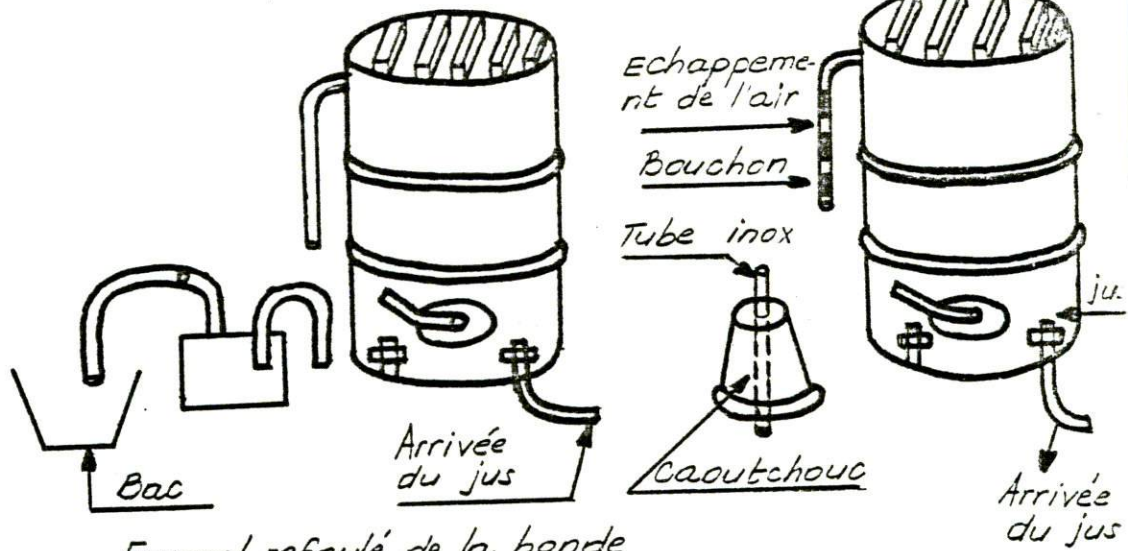


Fig. 36 Procédé de conservation stérile de jus de fruits

Phase B - arrêt de la vapeur

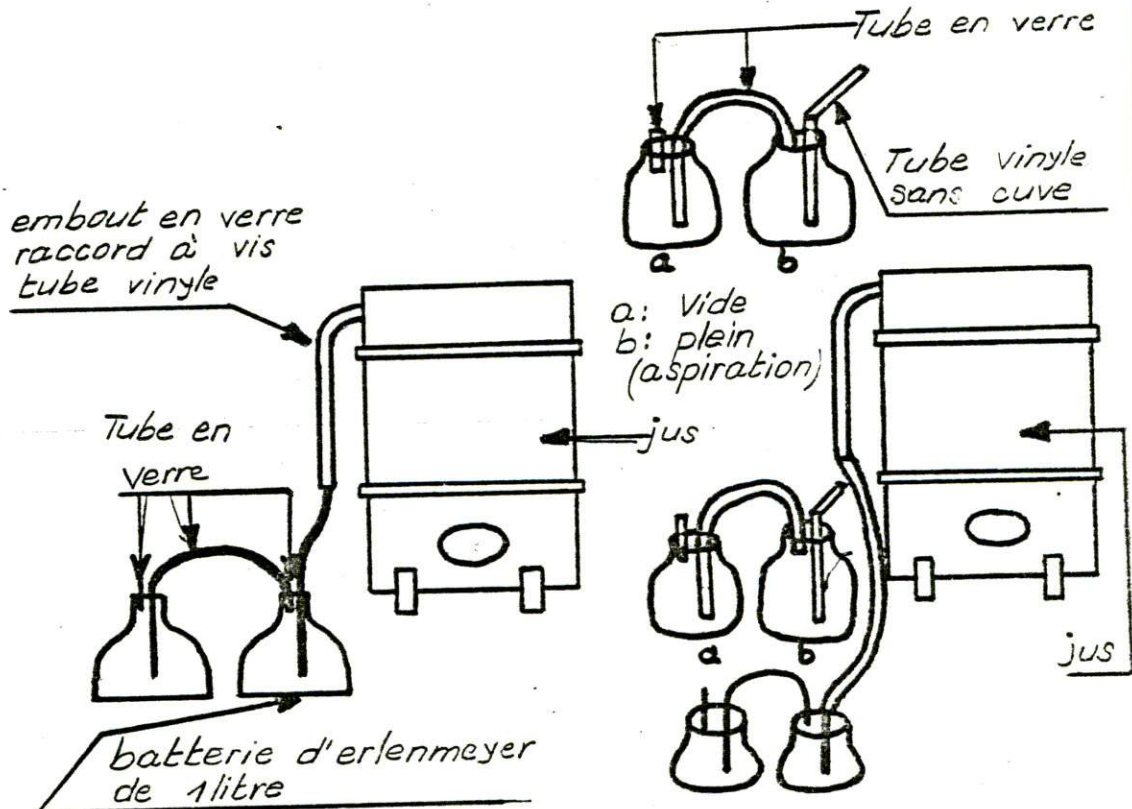
Phase C - Remplissage



Formol refoulé de la bonde par l'échappement de l'air

Phase D - suppression de la bonde

Phase E - Pose d'un bouchon sur le tuyau d'aération



Bonde aseptique acide sulfurique au 1/3

a : plein
b : vide (refoulement)

- 1°) Phase A : La cuve est stérilisée à la vapeur à 100°C pendant 30 minutes.
- 2°) Phase B : Après la stérilisation, le tuyau de trop plein est raccordé à la bonde aseptique qui elle-même communique avec l'atmosphère. Ainsi l'air aspiré, suite à la dépression provenant du refroidissement de la cuve (condensation des vapeurs), traverse une solution de formol et devient lui-même stérile.
- 3°) Phase C : L'équilibre de pression et de température se réalise grâce au refoulement de l'air de la cuve vers l'atmosphère. Après la réalisation de cet équilibre, on commence le remplissage de la cuve avec du jus pasteurisé en masse à 95°C et refroidi.
- 4°) Phase D : Pendant que la cuve se remplit, on supprime la bonde aseptique.
- 5°) Phase E : Après la suppression de cette dernière, on bouche le tuyau d'aération.
- 6°) Phase F : Le tuyau d'aération est à nouveau raccordé à la bonde aseptique. Ainsi, le jus est conservé d'une façon stérile excluant toute contamination.

5.1.2.3. Conservation par le froid

La conservation du jus à 0° ou à -1°C permet d'éviter le développement de microorganismes.

5.1.2.4. Conservation du jus par évaporation

En évaporant l'eau contenue dans un jus de fruits, on obtient un concentré infermentescible grâce à sa teneur élevée en sucres. On utilise surtout le procédé de concentration sous vide qui permet d'abaisser le point d'ébullition et d'éviter la caramélisation des sucres.

Les jus les plus propices à la concentration sont les jus les plus riches en sucres qui ne nécessitent pas une élimination d'eau très poussée pour l'obtention d'une haute teneur en sucres indispensable à la bonne conservation.

L'avantage de la concentration des jus réside dans le fait qu'elle réduit considérablement le volume du produit, d'où le coût moins élevé d'emmagasinage et de transport. Par ailleurs, la concentration des jus permet leur expédition à de longues distances.

Au moment de la consommation, le jus est reconstitué par l'adjonction d'eau.

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le procédé de conservation par pasteurisation.

5.2. LA PASTEURISATION DU JUS DE BANANES A L'O.V.I.B.A.R.

5.2.1. Fonctionnement de l'appareillage

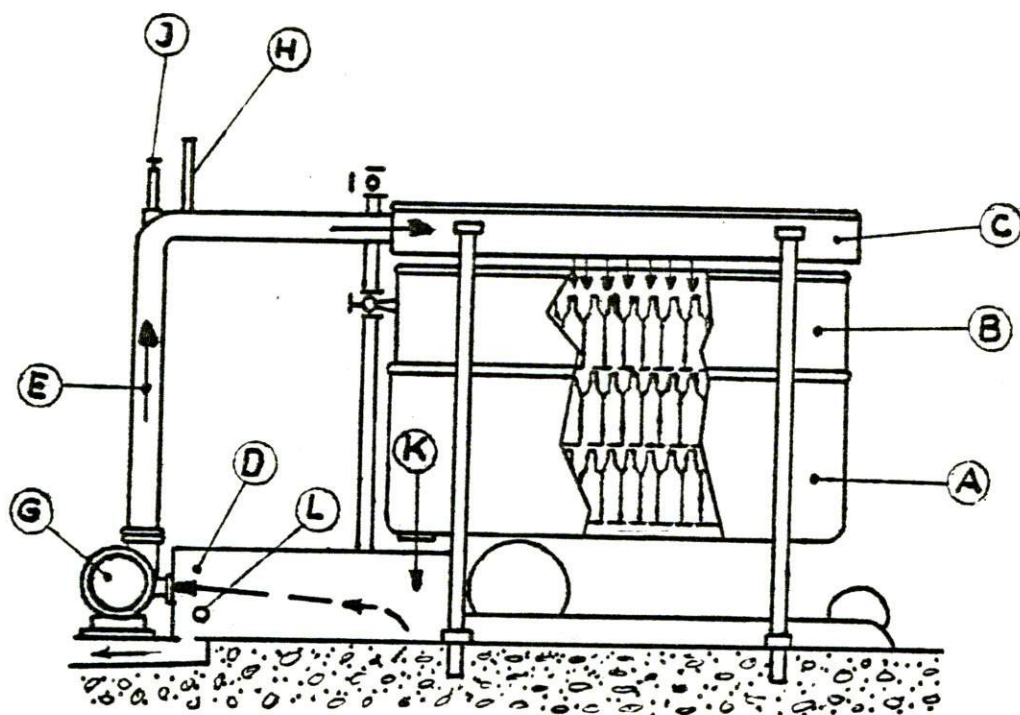
La pasteurisation est réalisée à l'aide d'un pasteurisateur Gasquet "DELUGE" modèle 00 (figure 37). Le bassin de chauffe contient de l'eau qu'un dispositif à vapeur à réglage thermostatique chauffe et maintient à une température de 70 ou 75°C. Un électropompe aspire l'eau de ce bassin et la refoule dans ce bassin arroseur dont le fond est perforé. A travers les trous, l'eau chaude s'écoule en pluie dense sur les bouteilles à pasteuriser, disposées en étage dans un chariot. L'eau chaude, après avoir cédé sa température aux bouteilles, retombe dans le bassin de chauffe où elle est à nouveau portée à la température de pasteurisation et remontée ensuite dans le bassin arroseur. Le contrôle de la température de l'eau est effectué au moyen d'un thermomètre. La pasteurisation se fait pendant 15 minutes aux températures suivantes 70 et 75°C.

5.2.2. Efficacité de la pasteurisation

L'efficacité de la pasteurisation est caractérisée par deux paramètres : le temps et la température. L'efficacité d'un traitement thermique est une fonction linéaire du temps et exponentielle de la température.

Par définition, une unité de pasteurisation (1 PU) est l'action de la température de 60°C pendant 1 minute.

Figure 37

Schéma du pasteurisateur

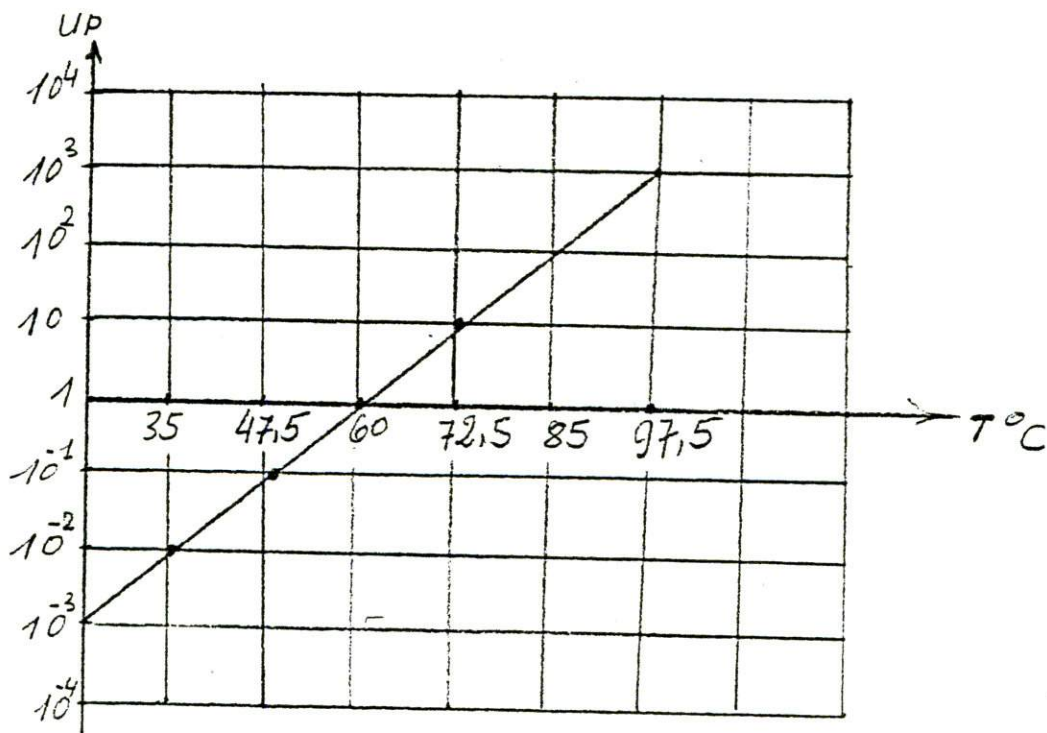
- A Bac mobile
- B Housse amovible
- C Bassin d'arrosage
- D Bassin de chauffage
- E Circulation de l'eau chaude
- G Electro-pompe
- H Thermomètre
- J Thermostat
- K vidange du bac mobile A
- L Trop-plein du bassin D

L'écart de température qui multiplie l'efficacité par 10 est désigné par q_{10} .

Pour le jus de fruits, on admet en général que le q_{10} varie entre 10 et 15°C selon la nature du jus. Nous retiendrons la moyenne de 12,5°C. Ceci signifie que pour une action de la température pendant 1 minute on a :

- à 72,5°C, le nombre d'unités fournies au jus est de 10 UP
- à 85°C, le nombre d'unités fournies au jus est de 100 UP
- à 97,5°C, le nombre d'unités fournies au jus est de 1000 UP

Le tracé de la courbe donnant les unités de pasteurisation (UP) en fonction de la température (T) en coordonnées semi-logarithmique est donné en figure 38 .



La formule générale est la suivante :

$$U_{PTi} = 10^{\frac{Ti-60}{12,5}}$$

Figure 38 - Tracé de la courbe des unités de pasteurisation

On admet que le nombre d'unités de pasteurisation nécessaires (UP) pour un traitement de jus pollué moyennement doit être compris entre 150 et 200.

D'après le fonctionnement du pasteurisateur décrit plus haut, le cycle de pasteurisation du jus est le suivant :

1. Introduction des bacs contenant les bouteilles et mise en route de la pompe de circulation d'eau.
2. Ouverture de la vanne de vapeur pour accroître progressivement la température.
3. Fermeture de la vanne de vapeur et maintien de la température de traitement.
4. Fermeture de la vanne et admission d'eau froide pour refroidir les bouteilles jusqu'à la température ambiante.
5. Arrêt de l'eau et retrait du chariot.

5.2.3. Test de conservation du jus pasteurisé

Après la pasteurisation, le jus est conservé à température ambiante et l'on suit son évolution au point de vue stabilité (52). Les résultats des essais sont consignés dans le tableau 81.

Il est visible que le jus de bananes constitue un milieu particulièrement instable qui subit très rapidement des modifications profondes après son extraction. Ainsi, l'O.V.I.B.A.R. a connu depuis son entrée en phase opérationnelle de sérieuses difficultés en ce qui concerne la stabilité du jus de bananes destiné à la consommation sous forme de boissons non alcoolisées. En effet, après sa fabrication, même pasteurisé à 75°C, le jus, après quelques jours de conservation accusait des dépôts et des troubles qui le rendaient impropre à la commercialisation. (tableau 81).

En observant au microscope ces échantillons, il a été décelé des cristaux et des levures bourgeonnantes.

Nous avons conclu que le dépôt qui se forme dans le jus après

Tableau n° 81

Résultats de test de conservation pendant une semaine
du jus de bananes pasteurisé à différentes températures

Jours observation	Pasteurisation à 65°c		Pasteurisation à 70°c		Pasteurisation à 72°c		Pasteurisation à 75°c	
	Précipité	Trouble	Préci- pité	Troub- le	Préci- pité	Troub- le	Préci- pité	Trouble
Fabrication n° 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabrication n° 2	0	+	0	+	0	+	0	+
Fabrication n° 3	0	+	0	+	0	+	0	+
Fabrication n° 4	0	+	0	+	0	+	0	+
Fabrication n° 5	++	+	++	+	++	+	++	+
Fabrication n° 6	0	++	0	++	0	++	0	+
Fabrication n° 7	0	++	0	++	0	++	0	+
Fabrication n° 8	0	++	0	++	0	++	0	+
Fabrication n° 9	0	++	0	++	0	++	0	+

0 = pas de trouble ou de précipité
+ = trouble ou précipité léger
++ = très troublé ou fort précipité

quelques jours d'entreposage proviendrait soit des protéines issues des enzymes pectolytiques utilisées lors de l'extraction du jus, soit de la coagulation des protéines de la banane, ou soit encore de l'amidon qui n'a pas été complètement hydrolysé au cours du mûrissement.

Quant à la présence passive des levures bourgeonnantes dans le jus troublé, nous avons conclu que cette contamination provient du matériel utilisé pour l'extraction, la filtration et la mise en bouteilles du jus. En effet, le jus et le vin de bananes sont actuellement fabriqués dans un même atelier et le matériel qui sert à la fabrication du vin est celui utilisé pour la fabrication du jus (cuvées, tuyauteries, centrifugeuse, filtres, bouteilles etc..). Ce matériel utilisé pour la fabrication du vin, retient des levures qui, en contact avec le jus, retrouvent des conditions de développement favorables et ainsi, par fermentation, provoquent des troubles.

Comme il a été découvert que les difficultés de conservation résultent de la contamination du jus par les levures restées sur le matériel utilisé alternativement pour la fabrication du jus et du vin, des essais de destruction des microflores levuriennes ont été entrepris.

Tout d'abord le matériel de fabrication et les tuyauteries ont été nettoyés et désinfectés en y faisant circuler de l'eau chaude, puis de la soude caustique à 3 % et du détergent acide.

Après ces opérations, le jus subit les traitements physiques suivants :

- a) débouillage par centrifugation
- b) stérilisation par flash-pasteurisation à 95°C au moyen d'un échangeur de chaleur à plaques (52).
- c) filtration et mise immédiate en bouteilles et capsulage de celles-ci.

Après la mise en bouteilles, le jus est pasteurisé.

Le contrôle de la pasteurisation est effectué au moyen d'un thermographe qui permet d'enregistrer avec précision la température à l'intérieur d'une bouteille témoin (figure 39).

A l'aide du graphique tracé par le thermographe, nous pouvons calculer les unités de pasteurisation pour chaque essais (Figure 40).

Figure 39

Schéma du Thermographe utilisé pour le contrôle de la pasteurisation

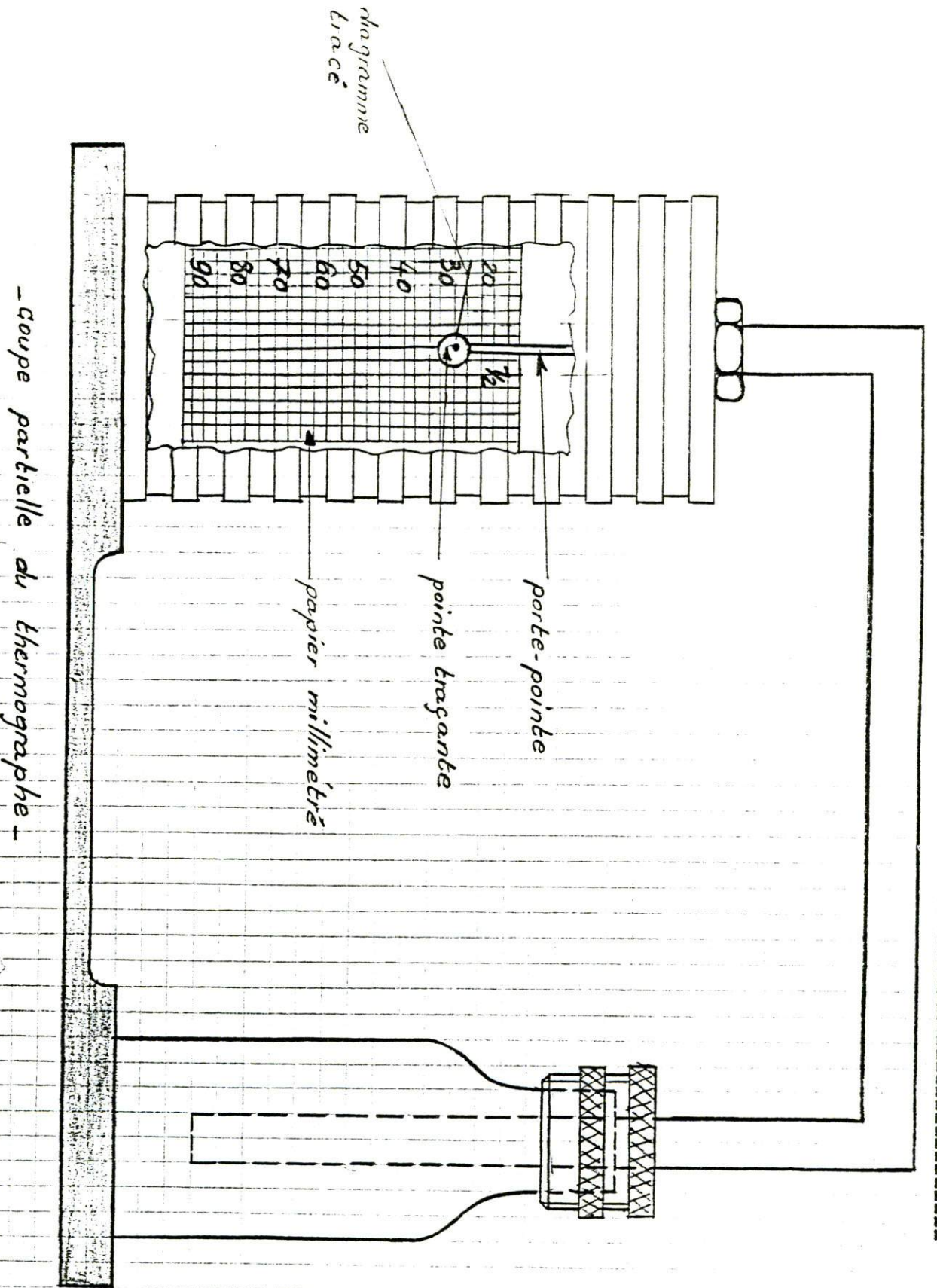
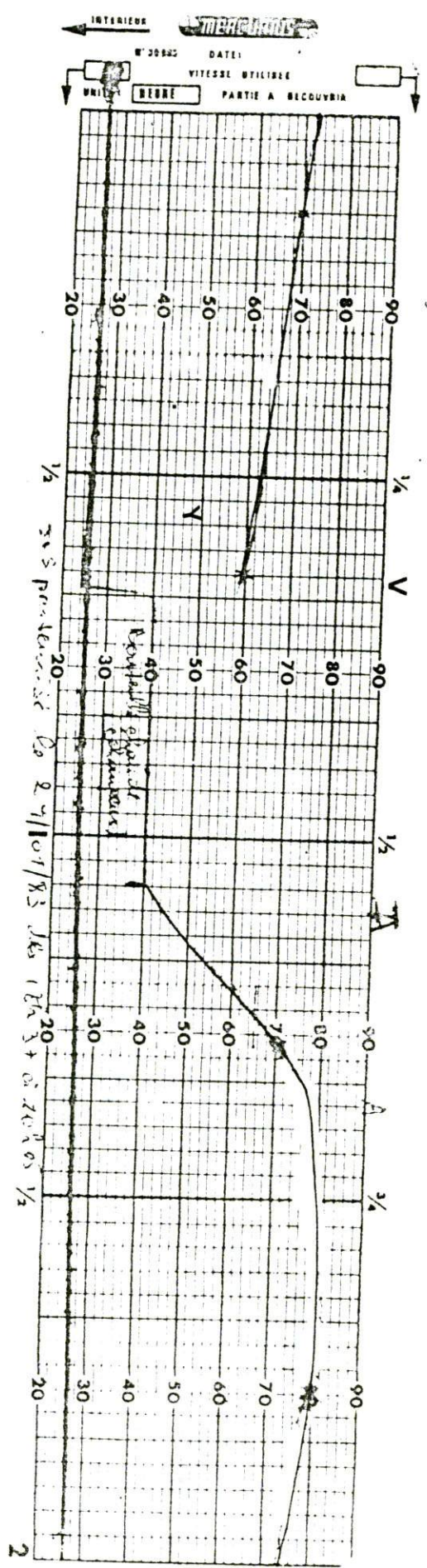


Figure 40 :

TRACÉ DU THERMOGRAPHE LORS DE LA PASTEURISATION



D'après la formule ci-dessous, les unités de pasteurisation UP se calculent comme suit :

$$UP = 10 \frac{T-60}{12,5} \times t$$

T étant la moyenne entre deux températures considérées au moment de la pasteurisation.

t étant le temps de pasteurisation.

Conformément aux indications du thermographe, le jus a été pasteurisé de 60 à 80°C en 20 minutes, maintenu ensuite à cette température pendant 14 minutes, puis refroidi de 80° à 60°C en 52 minutes.

Ainsi, les unités de pasteurisation fournies sont :

$$\begin{array}{l} \text{De 60 à 80 :} \\ 10 \frac{[(60 + 80) : 2] - 60}{12,5} \times 20 = 126 \text{ UP} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Maintien à 80°C :} \\ 10 \frac{(80 - 60)}{12,5} \times 14 = 557,24 \text{ UP} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Refroidissement de 80 à 60°C :} \\ 10 \frac{[(80 + 60) : 2] - 60}{12,5} \times 52 = 327,6 \text{ UP} \end{array}$$

$$\text{TOTAL : } \underline{\underline{1.011 \text{ UP}}}$$

5.2.4. Test de dégustation

Les dégustateurs ont trouvé le jus trop sucré, non désal-térant et ont conseillé de le diluer.

5.3. FABRICATION DU JUS DILUE A PARTIR DU JUS DE BANANES (BANANA NECTAR)

5.3.1. Eléments de base

Du jus de bananes Intuntu pur titrant 20 % de sucres, de l'eau filtrée au moyen d'un filtre à cartouche Katadyn et de l'acide citrique.

5.3.2. Procédé de fabrication

Avec de l'eau filtrée, nous avons procédé à la dilution du jus pur pour obtenir des boissons contenant 40, 50 et 60 % de jus pur de bananes Intuntu. Nous avons ensuite ajusté le titre en sucres à 12 % pour chacune des boissons en y ajoutant du sucre de commerce.

Ensuite, à chacune de ces boissons, nous avons ajouté respective-ment 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 et 0,7 g d'acide citrique par litre(27).

5.3.3. Dégustation au niveau de l'O.V.I.B.A.R.

La dégustation effectuée sur les différents échantillons par une quinzaine de personnes choisies dans l'ensemble du personnel de l'O.V.I.B.A.R. a donné les résultats suivants :

- la boisson contenant 40 % de jus a été rejetée parce que tous les dégustateurs l'on trouvée trop diluée et privée du parfum du jus de bananes.
- les boissons contenant 50 et 60 % de jus avec 0,6 g d'acide citrique par litre ont été appréciées par tous les dégustateurs. Après ce test, nous avons opté pour la fabrication d'une boisson contenant 50 % de jus à laquelle nous avons donné le nom de "BANANA NECTAR".

5.3.4. Test d'acceptabilité de la boisson "BANANA NECTAR"

En collaboration avec le Bureau National d'Etudes de Projets (BUNEP) nous avons entrepris une étude d'acceptabilité de cette nouvelle boisson par la population urbaine de Kigali (Capitale du Pays). Pour ce faire, deux endroits de vente ont été retenus : le Comptoir de vente de l'O.V.I.B.A.R. et un bar témoin.

5.3.4.1. Comptoir de vente de l'O.V.I.B.A.R.

Le comptoir de vente des produits de l'O.V.I.B.A.R. est situé dans le centre du quartier commercial de la ville de Kigali. Ce magasin est très bien connu et très fréquenté.

5.3.4.2. Bar témoin (Public)

Il a été également décidé de vendre ce produit dans un des bars les plus fréquentés de la Capitale : le Café "Impala".

Le test avait pour but de recueillir des données relatives à l'acceptabilité de ce produit non pas dans le cadre d'une dégustation gratuite comme ce fut fait au sein de l'O.V.I.B.A.R., mais en le commercialisant avec les autres produits fabriqués par cet organisme.

5.3.4.3. Conditions dans lesquelles se sont déroulées les ventes

Le "BANANA NECTAR", conditionné dans des bouteilles de 33 cl doit être consommé froid, et de préférence sur le lieu de vente.

Les achats de "BANANA NECTAR" pour consommation à l'extérieur ont été limitées à 5 bouteilles au maximum.

Le prix de vente de la bouteille était de 20 frw (1 FF = 12 Frw).

Le questionnaire auquel le consommateur a dû répondre est détaillé dans le tableau 82.

Tableau n° 82

Questionnaire auquel le consommateur doit répondre.

Cocher une case dans chaque ligne	Non	Moyenne	Oui	Pas d'opinion
1. BANANA NECTAR est-il bon ?				
2. BANANA NECTAR est-il rafraichissant ?				
3. Etes-vous intéressé par BANANA NECTAR ?				
4. Comment est sa saveur ?	Pas assez sucré	à votre goût	Trop sucré	
5. Que préférez-vous ?	BANANA NECTAR ?	Le jus de banane ordinaire ?		
6. Aimeriez-vous que BANANA NECTAR soit gazéifiée comme Fanta ou Caca-cola ?				

5.3.4.4. Suivi du test

Pendant toute la durée du test (cinq semaines), la vente des autres produits de l'O.V.I.B.A.R., distribués au Comptoir de vente a été comptabilisée ; il s'agit des vins "URWAGWA" et "CUVEE SPECIALE DES MILLE COLLINES".

Pour "BANANA NECTAR", le numéro de chacune des ventes effectuées a été enregistré suivant l'ordre chronologique.

Chaque enregistrement devait indiquer, selon le symbole suivant, s'il s'agissait :

- P d'un premier achat
- S d'un second achat
- T d'un troisième achat
- + d'un achat intervenant pour plus de trois fois.

5.3.4.4.1. Résultats des tests de la première dégustation et d'acceptabilité du "BANANA NECTAR"

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 83 à 90.

5.3.4.5. Discussion des résultats

En analysant les résultats des premiers tests d'acceptabilité de "BANANA NECTAR", les conclusions suivantes se dégagent :

1. Quoique acceptée par 70 % des consommateurs, la boisson "BANANA NECTAR" contenant 50 % de jus pur ne semble pas être suffisamment sucrée. Aussi, les dégustateurs proposent la mise au point d'une boisson plus sucrée.
2. Les résultats des tests d'acceptabilité de "BANANA NECTAR" prouvent que le produit est acceptable bien qu'il soit en compétition avec d'autres produits bien connus qui ont monopolisé depuis bien long-

Tableau n° 32

Résultats du dépouillement du questionnaire soumis aux consommateurs pour la période du 28/02 au 19/03/1983.

	Non	Moyennement	Oui	Pas d'opinion	Total
1 Le Nectar est-il bon ?	122 (9%)	306 (21%)	967 (68%)	32 (2%)	1.427
2 Le Nectar est-il rafraichissant	88 (6%)	141 (10%)	1122 (79%)	73 (5%)	1.424
3 Êtes-vous intéressé par le Nectar	217 (15%)	134 (10%)	994 (70%)	70 (5%)	1.415
4 Comment est sa saveur	Pas assez sucré	à votre goût	trop sucré	37 (3%)	1.391
	711 (51%)	497 (36%)	146 (10%)		
5 Que préférez-vous	Le Nectar		Le jus pur	21 (2%)	1.406
	913 (67%)	411 (30%)			
6 Aimeriez-vous que le Nectar soit gazéifié comme le Fanta ou le Coca ?	Non		Oui	21 (2%)	1.406
	708 (50%)	677 (48%)			

Tableau n° 84

Répartition des clients entre la matinée et l'après-midi
au Comptoir de vente de l'OVIBAR.

Dates	Avant-midi	Après-midi	Total
28 Février 1983	71	126	197
01 Mars 1983	80	66	146
02 Mars 1983	35	54	89
03 Mars 1983	23	36	59
04 Mars 1983			179
05 Mars 1983			73
07 Mars 1983	39	91	120
08 Mars 1983	51	59	110
09 Mars 1983	35	59	94
10 Mars 1983	39	38	77
11 Mars 1983	52	32	84
12 Mars 1983			51
14 Mars 1983	48	36	84
15 Mars 1983	43	43	86
16 Mars 1983	80	31	111
17 Mars 1983	44	39	83
18 Mars 1983	66	24	90
19 Mars 1983			61

Répartition des clients selon le "degré de renouvellement"
des achats au Comptoir de vente de l'OVIBAR.

Dates	P !(Première fois) !	S seconde !(fois) !	T !(Troisième) !(fois) !	e !(plus de !(trois fois) !	TOTAL
28 Février 83!	181	15	1	-	197
1 Mars 1983 !	99	43	2	1	146
2 Mars 1983 !	59	18	4	8	89
3 Mars 1983 !	46	5	1	7	59
4 Mars 1983 !	136	22	2	18	179
5 Mars 1983 !	58	2	2	12	79
7 Mars 1983 !	68	14	8	30	120
8 Mars 1983 !	66	17	5	22	110
9 Mars 1983 !	45	12	8	29	94
10 Mars 1983 !	45	10	2	20	77
11 Mars 1983 !	44	10	4	26	84
12 Mars 1983 !	24	6	2	19	51
14 Mars 1983 !	49	7	-	28	84
15 Mars 1983 !	48	12	9	17	86
968 (66,7%) ! 193(13,3%) ! 52(3,6%) ! 237(16,4%) ! 100% 1.450					

Tableau n° 86

Tableau comparatif d'écoulement de BANANA NECTAR NECTAR
par rapport au vin de Bananes.

Les ventes (en bouteilles) au Comptoir de ventes de l'OVIBAR

Dates	TOTAL	Vin " URWAGWA " * Cuvée spéciale des Collines		BANANA NECTAR	
		Bouteilles	%	Bouteilles	%
28 Février 1983	1.313	1.043	79,44	270	20,56
01 Mars 1983	831	608	73,16	223	26,84
02 Mars 1983	604	485	80,30	119	19,70
03 Mars 1983	647	559	86,40	88	13,60
04 Mars 1983	982	731	74,49	251	25,56
05 Mars 1983	312	213	68,26	99	31,74
07 Mars 1983	875	717	81,94	158	18,06
08 Mars 1983	490	323	65,92	167	34,08
09 Mars 1983	551	390	70,78	161	29,22
10 Mars 1983	824	714	86,65	110	13,35
11 Mars 1983	510	405	79,41	105	20,59
12 Mars 1983	342	218	60,82	129	39,18
14 Mars 1983	680	542	79,70	138	20,30
15 Mars 1983	743	620	83,44	123	16,56
16 Mars 1983	355	202	56,90	153	43,10
17 Mars 1983	408	269	65,93	139	34,07

Tableau n° 87

Evolution des ventes au comptoir de vente de L'OVIBAR pour la

Période du 28 Février au 12 Mars 1983.

DATE	VIN " URWAGWA "	VIN CUVÉE SPECIALE DES MILD COLLINES	BANANA NECTAR	TOTAL (FRF)
28 Février 1983	66.225 1 (35 Caisses 8 bouteilles)	32.800 1 (6 Caisses 10 bouteilles)	5.400 1 (10 Caisses 20 bouteilles)	104.425
01 Mars 1983	22.800 1 (12 Caisses 4 bouteilles)	18.450 1 (12 Caisses 4 bouteilles)	4.460 1 (8 Caisses 23 bouteilles)	45.710
02 Mars 1983	34.050 1 (18 Caisses 4 bouteilles)	6.355 1 (1 Caisse 6 bouteilles)	2.380 1 (4 Caisses 19 bouteilles)	42.785
02 Mars 1983	32.400 1 (17 Caisses 7 bouteilles)	26.035 1 (5 Caisses 2 bouteilles)	1.760 1 (3 Caisses 13 bouteilles)	60.195
04 Mars 1983	45.675 1 (24 Caisses 9 bouteilles)	25.010 1 (4 Caisses 22 bouteilles)	5.020 1 (10 Caisses 1 bouteille)	75.705
05 Mars 1983	9.600 1 (5 Caisses 3 bouteilles)	17.425 1 (3 Caisses 10 bouteilles)	1.980 1 (3 Caisses 24 bouteilles)	29.005
07 Mars 1983	46.125 1 (24 Caisses 15 bouteilles)	20.910 1 (4 Caisses 2 bouteilles)	3.160 1 (6 Caisses 8 bouteilles)	70.195
08 Mars 1983	18.900 1 (10 Caisses 2 bouteilles)	14.555 1 (2 Caisses 21 bouteilles)	2.340 1 (6 Caisses 17 bouteilles)	36.795
09 Mars 1983	24.450 1 (13 Caisses 1 bouteille)	13.120 1 (2 Caisses 14 bouteilles)	3.220 1 (6 Caisses 11 bouteilles)	40.790
10 Mars 1983	46.050 1 (24 Caisses 14 bouteilles)	20.500 1 (4 Caisses)	2.200 1 (4 Caisses 10 bouteilles)	68.750
11 Mars 1983	25.200 1 (13 Caisses 11 bouteilles)	13.940 1 (2 Caisses 19 bouteilles)	2.100 1 (4 Caisses 5 bouteilles)	41.240
12 Mars 1983	14.475 1 (7 caisses 18 bouteilles)	5.125 1 (1 caisses)	2.480 1 (4 caisses 24 bouteilles)	22.080

N.B : Une caisse contient 25 bouteilles.

TABLEAU n° 88

REPARTITION DES CONSOMMATEURS DE BANANA NECTAR SELON
 LE SEXE (et âge).

Dates	Sexe masculin		Sexe féminin		Enfant		Total
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	
24/03/83	51	80,95%	12	19,05%	-		63
25/03/83	63	76,83%	16	19,51%	3	3,66%	82
26/03/83	17	56,67%	10	33,33%	3	10%	30
28/03/83	53	80,30%	9	13,64%	4	6,06%	66
29/03/83	54	80,60%	8	11,94%	5	7,46%	67
30/3/83	24	82,75%	4	13,79%	1	3,44%	29
31/03/83	25	62,50%	11	27,50%	4	10%	40
01/04/83	41	77,35%	7	13,20%	5	9,43%	53
02/04/83	13	65%	5	25%	2	10%	20
05/04/83	41	83,67%	5	10,20%	3	6,12%	49
06/04/83	26	70,27%	9	24,32%	2	5,40%	37
07/04/83	32	66,66%	10	20,83%	6	12,50%	48
TOTAL	440	75,34%	106	18,15%	38	6,51%	584

L'ACCEPTABILITE DE BANANA NECTAR PAR RAPPORT AUX AUTRES PRODUITS
FABRIQUES PAR L'OVIBAR.

Dates	Vin ordinaire		Vin Cuvée Spéciale des mille collines		Jus 50 cl		Jus 33 cl		BANANA NECTAR		TOTAL
	Bouteilles	%	Bouteilles	%	Bouteilles	%	Bouteilles	%	Bouteilles	%	
24/03/83	315	46%	142	21%	75	11%	67	10%	84	12%	981
25/03/83	634	65%	123	13%	24	2%	84	9%	116	12%	981
26/03/83	185	48%	81	21%	21	5%	53	14%	44	11%	384
28/03/83	562	55%	183	18%	24	2%	137	13%	125	12%	1031
29/03/83	149	31%	82	17%	55	12%	98	21%	93	19%	477
30/03/83	553	79%	31	4%	26	4%	52	7%	42	6%	704
31/03/83	434	55%	159	20%	50	6%	83	10%	66	8%	792
01/04/83	556	50%	255	23%	50	4%	132	12%	124	11%	1117
02/04/83	217	47%	155	33%	25	5%	58	12%	11	2%	466
03/04/83	440	56%	193	25%	25	3%	56	7%	71	9%	785
04/04/83	281	58%	109	22%	-	-	16	3%	81	17%	487
05/04/83	753	69%	108	10%	-	-	174	16%	51	5%	1086
TOTAL	5079	56,48%	1621	18,02%	375	4,17%	1010	11,23%	908	10,10%	8993

Tableau n° 90: ACCEPTABILITE DE BANANA NECTAR PAR RAPPORT AUX PRODUITS
 DE LA CONCURRENCE : DES BOISSONS FABRIQUEES PAR DES
 AUTRES USINES EXISTANTES AU RWANDA.

DATES	PRIMUS (Bière)		FANTA+COCA		JUS 33 CL		NECTAR		TOTAL
	Bouteilles!	%	Bouteilles!	%	Bouteilles!	%	Bouteilles!	%	
24/03/83	291		75		18		18		402
25/03/83	241		57		14		10		322
26/03/83	434		133		10		1		578
27/03/83	710		36		43		25		814
28/03/83	256		-		34		17		307
29/03/83	326		-		34		12		372
30/03/83	238		-		23		13		274
31/03/83	890		16		40		29		975
1/04/83	420				35		29		484
2/04/83	353		-		52		32		437
3/04/83	934		384		32		32		1382
4/04/83	1297		528		48		92		1965
5/04/83	306		73		31		21		431
6/04/83	273		52		11		4		340
7/04/83	345		66		27		17		455
TOTAL	7314	76,68	1420	14,896	452	4,74	352	3,69	9538 (100%)

temps le marché national. Or, le goût des consommateurs se gagne par la consommation répétée d'un même produit. D'après les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que le "BANANA NECTAR" connaîtra un succès incontestable. Seulement il faudra bien organiser la distribution et bien planifier la publicité.

5.3.5. Recherche d'une formule de fabrication d'une boisson "BANANA NECTAR" répondant au goût des consommateurs

Comme la première dégustation effectuée sur le "BANANA NECTAR" contenant 50 % de jus pur a révélé que cette boisson n'est pas suffisamment sucrée, il a été décidé d'organiser une autre dégustation de boissons ayant un taux de sucres variant de 12 à 17 %.

5.3.5.1. Préparation des échantillons

Onze formules ont été mises au point. La composition de chaque échantillon figure dans le tableau 91.

Après la fabrication, toutes les boissons ont été refroidies au congélateur.

Tableau n° 91

COMPOSITION DES ECHANTILLONS SOUMIS A LA DEGUSTATION

N° échantillon	% jus pur	% eau potable	% sucre gr/l	% sucre de commerce à ajouté gr/l	% taux final sucre gr/l	Concentra- tion acide citrique gr/l
A	50	50	10	2	12	0,6
C	50	50	10	2,5	12,5	0,5
D	50	50	10	2,5	12,5	0,6
E	50	50	10	3	13	0,7
F	50	50	10	3	13	0,5
J	50	50	10	3	13	0,7
H	50	50	10	3	13	0,7
I	50	50	10	4	14	0,6
K	50	50	10	5	15	0,6
L	50	50	10	7	16	0,6
M	50	50	10	7	17	0,6

Après la fabrication, toutes les boissons ont été refroidies au congélateur.

5.3.5.2. Déroulement de la dégustation

Cinq tables ont été préparées qui comprenaient trois séries d'échantillons dans l'ordre suivant :

1ère série : A.C.D.E.

2ème série : F.J.H.

3ème série : I.K.L.M.

Le dégustateur a commencé par la première série. L'échantillon estimé être le meilleur était reporté dans la 2ème série, soit D par exemple ; on obtenait ainsi la série D.F.J.H..

Le même dégustateur choisissait dans cette nouvelle série la boisson qui rencontre son goût, soit H par exemple. L'échantillon H était reporté dans la 3ème série et on obtenait ainsi une nouvelle série H.I.K.L.M. dans laquelle le même dégustateur indiquait la boisson de son goût, qui devenait le choix définitif de cette personne.

Cette dégustation commencée à 15 heures pour se terminer à 16 h 30, avait réuni 65 personnes dont 53 étaient des hommes.

5.3.5.3. Résultats de la dégustation

Les résultats de la dégustation sont consignés dans le tableau 92 ; ils permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. Dans la première série (A.C.D.E.), la boisson la moins sucrée (11 % de sucres) et la boisson la plus sucrée mais ayant le taux le plus élevé en acide citrique (12,5 % de sucre et 0,7 g/l d'acide citrique) n'ont pas répondu au goût du plus grand nombre de dégustateurs. Elles ont chacune reçu 11 % des points.

Par contre, les boissons contenant 12,5 % avec 0,5 g et 0,6 g/l d'acide citrique ont été appréciées par un nombre presque égal de dégustateurs : 38 % pour la boisson renfermant 12,5 % de sucres et 0,5 g/l d'acide citrique, et 40 % pour la boisson contenant 12,5 % et 0,6 g/l d'acide citrique. Cela semble signifier que la quantité d'acide citrique à ajouter dans le "BANANA NECTAR" ne devrait pas être inférieure à 0,6 g/l et que le taux de 11 % de sucres n'est pas à retenir.

2. Dans la deuxième série (A.C.D.E.F.J.H.), l'échantillon (J) ayant 13 % de sucres et 0,7 g/l d'acide citrique, et l'échantillon (F) contenant 13 % de sucres et 0,5 g d'acide citrique recueillent respectivement 37 et 31 % des points. Cela confirme bien que la quantité d'acide citrique dans le "BANANA NECTAR" doit être comprise entre 0,6 g et 0,7 g/l.
3. Concernant la troisième série d'échantillons, nous constatons que l'échantillon (L) contenant 0,6 g/l d'acide citrique et 16 % de sucres et l'échantillon (M) renfermant 0,6 g/l d'acide citrique et 17 % de sucres sont préférés respectivement par 33 et 37 % des dégustateurs.

D'une manière générale, il a été constaté au cours de cette dégustation que les femmes et les jeunes filles préfèrent dans chaque série les boissons comportant le plus de sucres avec 0,6 g/l d'acide citrique.

Elles ont choisi à 36 % l'échantillon (D) au premier choix, à 45 % l'échantillon (J) au deuxième choix et à 82 % l'échantillon (M) au troisième choix.

Par contre, il est à remarquer que le choix des hommes et des jeunes gens est tout-à-fait différent, surtout en ce qui concerne le pourcentage de sucres. Ainsi, 30 % seulement d'entre-eux ont opté pour l'échantillon préféré par 82 % des femmes et des jeunes filles.

Pour ce qui est de la justification de leur choix, il a été constaté que celui-ci est guidé dans la plupart des cas par le pourcentage de sucres. Ainsi, les échantillons les plus sucrés avec 0,6 g/l d'acide citrique sont les plus appréciés.

Comme conclusion générale, nous pouvons avancer qu'une boisson contenant entre 12,5 et 13 % de sucres avec 0,6 g/l d'acide citrique rencontre le goût d'un grand nombre de consommateurs de boissons non alcoolisées.

6. CONCLUSION ET DISCUSSION GENERALES

6. CONCLUSION ET DISCUSSION GENERALES

Dans la plupart des pays du Tiers Monde producteurs de bananes, une grande partie de la production est destinée à l'exportation. Dans certains pays comme le Rwanda et ceux qui lui sont limitrophes, la banane est presque exclusivement utilisée pour la fabrication des boissons fermentées à l'échelle familiale.

La production de ce fruit étant très importante, les pays producteurs sont actuellement confrontés aux difficultés très sérieuses d'écoulement. Le problème devient préoccupant surtout pour les pays dont l'économie dépend en grande partie de l'exportation de la banane.

Pour sortir de cette situation, les pays producteurs de bananes devraient reconsidérer la façon dont ce fruit est actuellement exploité et envisager la mise au point de nouveaux produits à haute valeur ajoutée pour l'alimentation humaine et animale susceptibles d'être écoulés facilement sur le marché national et international.

Le Rwanda envisage la valorisation de la banane sous plusieurs aspects, notamment :

- la fabrication du jus de bananes pour la confection de boissons non alcoolisées.
- la production industrielle du vin de bananes.
- la fabrication du vinaigre à partir du vin de bananes.
- la fabrication d'arômes alimentaires à partir de la banane.
- la fabrication de différents articles de pâtisserie à partir de la farine de bananes.
- la fabrication d'humus et fertilisant à partir des déchets de l'extraction du jus de bananes.

Au cours de ce travail, nous avons étudié les méthodes d'extraction du jus de bananes de huit variétés. Nous avons également isolé et étudié des levures de vins de bananes traditionnels dans le but de sélectionner des souches capables de fermenter efficacement le jus de bananes.

De cette étude, il se dégage les conclusions suivantes :

Dans la recherche d'un procédé approprié à l'extraction du jus de bananes, nous avons étudié trois méthodes à savoir : la méthode mécanique, la méthode enzymatique et la méthode chimique.

Au cours de cette étude, nous avons constaté que le rendement en jus dépend de la variété utilisée, de l'état de maturité du fruit et que le procédé enzymatique d'extraction donne un rendement plus élevé par rapport aux deux autres méthodes (80 % du jus peuvent être extraits).

Dans le cadre de nos recherches sur l'isolement et l'étude des levures, nous avons étudié 37 souches dont 28 proviennent de vins de bananes traditionnels.

Nous avons déterminé la température optimale de développement des souches, l'influence d'un ajout de farine de sorgho sur leur croissance et la fermentation alcoolique sur le jus de bananes.

De cette étude on peut tirer les conclusions suivantes :

- des 37 souches étudiées, 7 souches seulement sont capables de fermenter efficacement le jus de bananes.
- la farine de sorgho active la fermentation alcoolique du jus de bananes. En effet, fermenté sans ajout de farine de sorgho, le jus de bananes peut devenir le siège d'un développement microbien conduisant à la formation d'une acidité volatile extrêmement élevée qui bloque la fermentation alcoolique.
- la température optimale de développement des souches est de 28°C.

En ce qui concerne l'évolution des matières azotées au cours de la fermentation du jus de bananes, l'étude des courbes de fermentation des sucres, de la croissance des levures et de l'évolution des matières azotées en présence ou en absence d'un ajout de farine de sorgho, montre que le jus de bananes renferme suffisamment de matières azotées pour assurer le développement normal des levures.

Ainsi, l'activité de la farine de sorgho sur la fermentation du jus de bananes doit être recherchée ailleurs, par exemple dans la présence éventuelle dans le sorgho de facteurs de croissance.

Concernant la fabrication des boissons non alcoolisées à partir de la banane, nous avons mis au point des procédés de fabrication du jus de bananes pur titrant 20-22 % de sucres et des jus dilués, appelés "BANANA NECTAR", titrant de 12 à 17 % de sucres avec une concentration d'acide citrique allant de 0,6 à 0,7 g/l.

Au cours des différents tests d'acceptabilité de ces produits nous avons constaté que :

1. le jus de bananes pur, titrant de 20 à 22 % de sucres est considéré comme non désaltérant et "trop sucré" et qu'il était conseillé de diminuer sa teneur en sucres.
2. le jus dilué jusqu'à 12 % de sucres avec une dose de 0,6 g/l d'acide citrique a été accepté par 70 % des personnes interrogées, mais L'ensemble des dégustateurs recommande une augmentation du taux de sucres.
3. dans chaque test, les dégustateurs féminins ont préféré les boissons les plus sucrées alors que le choix des dégustateurs masculins se porte surtout sur les boissons moins sucrées.

Une analyse synthétique de tous les résultats de la dégustation indique que les boissons titrant 12,5 et 13 % de sucres avec 0,6 g/l d'acide citrique répondent au goût d'un grand nombre de consommateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHAMPION J.
Notes et documents sur les bananiers et leur culture.
Botanique et génétique des bananiers, Tome 1, 1967, p.46-96,
Institut de Recherches Fruitières, Outre-Mer (I.F.A.C.) Editions
SETCO, Paris.
2. CHAMPION J.
Notes sur la culture du bananier au Rwanda.
Rapport de mission effectuée au Rwanda en Août-Septembre 1965
Ministère des Affaires Etrangères et de la Coopération (Non
édité).
3. HAENDLER L.
Produits de transformation de la banane.
Fruits, 1966, V. 21, 7
4. DE SAN J.
Valorisation des bananeraies du Rwanda
Notes rédigées à l'intention du Gouvernement Rwandais, 1962 (non
éditées).
5. GAY R.
Quelques aspects fondamentaux de la Biotechnologie (et références
citées). Texte de la Conférence prononcée à l'occasion de la
remise du Grand Prix de la Recherche de l'Association des Amis
des UNIVERSITES DE LORRAINE, NANCY, 16 juin 1981 (non édité).
6. AZARIDES N.
Fabrication des bananes-figues et de cossettes de bananes.
Ministère de la Colonisation, 1948, Bruxelles, Belgique.
7. CORNELIS P.
Etude nutritionnelle et valorisation Industrielle de la banane.
Institut de Recherche Agronomique du Rwanda, 1970.
(non éditée).
8. CHEFTEL J.C., CHEFTEL H.
Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments.
T. 1, 1980, Edition Entreprise Moderne, Paris, France.
9. MARCELIN P.
conditions de maturation de la banane (Musae Sapientum)
Medecine et Nutrition, 1982, T.XVIII, 2.
10. MATTEI A.
Analyse de l'émission volatile de la banane (et références
citées).
Fruits, 1973, V. 28, 3
- 11 MURRAY K.E., PALMER J.K., WHITEFIELD F.B., KENETH B.H. and STANLEY G.
The volatile alcohols of Ripe Bananas.
Journal of Food Science, 1968, 33, 6, 432-434.

12. MARSHALL J.M., ISSENBERG P. and WICK E.L.
L-leucine as a precursor of isoamyl alcohol and isoamyl acetate, volatile aroma constituents of bananas fruit discs.
Phytochemistry, 1970, 9, 1693-1700.
Pergamon Press, England.
13. WICK E.L., YAMANISHI T., KOBAYASHI A., VALENZUELAS and ISSENBERG P.
Volatile constituents of Bananas (M. cavendishi Variety Valery)
Journal of Agriculture Food Chemistry, 1969, 17, 4, 751-759.
14. MATTEI A.
Variation de l'émission volatile au cours de la maturation et en fonction de la température chez la Banane.
Physiologie Végétale, 1973, 11, 4,
15. BOULGAKOW
Contrôle technico-chimique dans l'industrie de la Brasserie (en russe), 1952, Edition Pitchpromizdat
16. RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., RIBEREAU-GAYON P. et SUDRAUD P.
Caractères des vins, maturation du raisin, levures et bactéries
Sciences et Techniques du Vin, 1975, Tome 2.
Edition DUNOD, Paris.
17. SUNIER J.
Brasserie et Malterie, 1958, LAUSANNE, Suisse, 21-27 et 200-212.
18. OFFICE INTERNATIONAL DE LA VIGNE ET DU VIN
Recueil des méthodes Internationales d'analyse des vins, 1978,
11, rue Roquépine, Paris.
19. INSTITUT PASTEUR PRODUCTION
Milieux de culture et réactifs de laboratoire, 1978,
Institut Pasteur, Paris XV.
20. RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., SUDRAUD P. et RIBEREAU-GAYON P.
Analyse et contrôle des vins. Sciences et Techniques du vin,
1972, Tome 1, Edition DUNOD, Paris.
21. MUNYANGANIZI T. et COOPENS
Extraction du jus de bananes
Industries Alimentaires et Agricoles, 1974, 91, (3), 185-191.
22. LAFOND-LAFOURCADE S.
Les origines microbiologiques de l'acidité volatile des vins (et références citées)
Congrès International, Microbiologie et Industrie Alimentaire,
2ème Journée, Mardi 9 Octobre 1979 : les vins et la bière, 2-10.
APRIA, 35, rue du Général Foy, Paris 8°.
23. RIBEREAU-GAYON P.
Les facteurs de survie de la levure en vinification (et références citées).

Congrès International, Microbiologie et Industrie Alimentaire,
2ème journée, Mardi 9 Octobre 1979 : les vins et la bière, 1-10.
APRIA, 35, rue du Général Foy, Paris 8°.

24. OURA E.
Réaction Products of yeast Fermentation.
Process Biochemistry, 1977, 12, 3, 19-21 et 35.
25. MERCIER C.
L'amidon et les enzymes en sucrochimie.
Industries Alimentaires et Agricoles, 1982, 99, 10, 787-795.
26. DUPAIGNE P. et DALNIC R.
Boissons nouvelles à base de fruits.
Fruits, 1945, 20, 10, 571-575.
27. MALDONADO O., ROLZ C. and CABREIRAS
Wine and vinegar production from tropical fruits
Journal of Food Science, 1975, 40, 262-265.
28. DUPAIGNE P.
A propos de l'extraction du jus de bananes en vue de la production de la bière de bananes.
Fruits, 1974, 29, 12, 821-822.
29. DUCROO P.
Utilisation Industrielle des Enzymes.
Industries Alimentaires et Agricoles, 1982, 99, 6, 401-416.
30. ROGER U.
La vie des Fruits, 1952, Edition MASSON et Cie, Paris.
31. MARTIN-PREVEL
Influence des conditions du milieu cultural sur la composition de la banane.
Médecine et Nutrition, 1982, T. XVIII, 2.
32. DUCROO P.
Relation entre la composition et l'efficacité technologique des préparations pectinolytiques commerciales dans l'industrie de jus de fruits.
Bio-Sciences, 1983, II, 7, 116-119.
33. DUPAIGNE P.
Les boissons de fruits : Préparation et conservation.
Collection publiée par l'Agence de Coopération Culturelle et Technique en collaboration du Conseil International de la Langue Française. Edition PRESSE UNIVERSITAIRE DE FRANCE, 1972.
34. CHEFTEL H.
Utilisation industrielle des fruits
Bulletin n° 7, 1948, Imprimerie Gauthier-Villars, Paris.
35. MARILLER CH.
Nouvelle encyclopédie agricole
Distillerie agricole et industrielle
Levurerie - Sous-produits, 1951, Librairie J.B. Baillière et Fils, Paris.
36. ROYL, WHISTLER and EUGENE F.P.
Starch : Chemistry and technology, 1967, Academic Press, New-York and London.

37. COWTHER P.C.
The processing of banana products for use.
Tropical Products Institute, 1979, Ministry of Overseas Development, London.
38. ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL
Facteurs relatifs à l'industrialisation de la banane.
Rapport d'experts sur le traitement de certains fruits et légumes tropicaux destinés à l'exportation.
Bahia, Brésil, 25-29 Octobre 1971.
39. SIMON et MEUNIER
Microbiologie industrielle et génie biochimique, 1970,
Masson et Cie, Paris.
40. PEYNAUD E.
Connaissance et Travail du vin, 1977, Edition DUNOD, Paris.
41. ETIENNE LEVY-LAMERT
Techniques de base pour le laboratoire médical
Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse (non édité).
42. DUPAIGNE P.
L'arôme de la banane.
Fruits, 1975, 30, 12
43. ADRIAENS E. et LOZET F.
Contribution à l'étude des boissons fermentées au Rwanda.
Bulletin agricole du Congo Belge, 1951, V. XIII, 4, 933-949.
44. VESSELOV I. et TSOUMAKOVA M.
Technologie de la brasserie (en russe), 1955.
Edition Pitchpromitzdat, Moscou.
45. CHAMPION J.
Développement historique de la production de bananes pour l'exportation.
Dossier - La banane, Courrier n° 79, Mars-Avril 1983.
46. F.A.O.
Perspectives à moyen terme de l'évolution du commerce de la banane.
Rapport de la 7^e session du Groupe Intergouvernemental de la F.A.O. sur la banane.
Rome, 5-9 Mai 1979.
47. ESTANOVE P. et DUVERNEUIL G.
Industrialisation de la banane
United Nations Industrial Development Organisation, 1971,
UNIDO ID/MG, Vienna.
48. FRANCO-BETANCOURT J.J.
L'industrie de la banane à Cuba
Fruits, 1953, 8, 502-507.
49. FERTMAN G.I.
Le contrôle technico-chimique de la production de l'alcool et des liqueurs (en russe), 1975, Pitchevaya Promtchilnosti Moscou.

50. GUERASSINOV M.A.
La technologie du vin (en russe), 1961.
Edition Pitchenaya Promtchilnosti, Moscou.
51. RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., SUDRAUD P. et RIBEREAU-GAYON P.
Sciences et Techniques du vin, Tome 3 : Vinification et trans-
formatio du vin, 1976, Edition DUNOD, Paris.
52. RIBEREAU-GAYON J., PEYNAUD E., SUDRAUD P. et RIBEREAU-GAYON P.
Sciences et Techniques du vin, Tome 4 : Clarification et stabili-
sation du vin, 1976, Edition DUNOD, Paris.
53. AMERINE M.A. and OUGH C.S.
Methods for analyses of Musts and wines, 1980, University of
California, USA.
54. NAVARO J.M. et DURAND G.
Fermentation alcoolique : Influence de la température sur l'accu-
mulation d'alcool dans les cellules de levures.
Annales de Microbiologie, Inst. Pasteur, 1978, 129 B, 215-224.
55. MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE
Rapports annuels 1979-1980, Rwanda.
56. MEKHOUZIA M.N.A.
Aspects biologiques, physico-chimiques et techniques des trai-
tements thermiques des moûts et des vins.
Bulletin de l'O.I.V., 1981, 54, 609, 481-891.