

## TABLE DES MATIERES

<b>Remerciements</b>	page 2
<b>Table des matières</b>	page 3
<b>Liste des figures</b>	page 5
<b>Liste des tableaux</b>	page 6
<b><u>INTRODUCTION GENERALE</u></b>	<b>page 7</b>
<b><u>CHAPITRE I</u></b>	
<b><u>Analyse bibliographique sur les <i>Hylocereus</i></u></b>	<b>page 9</b>
I. Connaissance de la plante	page 10
1. Classification botanique	page 10
2. Origine, distribution et écologie des <i>Hylocereus</i>	page 10
3. Les <i>Hylocereus</i> à la Réunion	page 11
4. Morphologie	page 11
5. Phénologie et reproduction	page 13
II. Agronomie et valorisation	page 14
1. Multiplication et plantation	page 14
2. Techniques culturales	page 14
3. Ravageurs et maladies	page 16
4. Composition, conservation et utilisations des fruits	page 17
<b><u>CHAPITRE II</u></b>	
<b><u>Etude sur la pollinisation et la fécondation</u></b>	<b>page 19</b>
<b><u>d'<i>H. undatus</i> et d'<i>H. purpusii</i> à l'île de la Réunion</u></b>	
<b><u>et proposition d'un itinéraire technique adapté</u></b>	
I. Problématique	page 20
II. Matériel et méthode	page 21
1. Matériel végétal et dispositif	page 21
2. Mode de pollinisation	page 22
3. Suivis et observations complémentaires	page 23
III. Résultats et discussion	page 24
1. Déroulement des floraisons et des conditions de pollinisation 1999 et 2000	page 24
2. Auto-incompatibilité et viabilité du pollen	page 26
3. Incidence du mode de pollinisation sur la fécondation et sur le poids du fruit	page 26

IV. Conclusion	page 29
1. Décalage des floraisons des deux espèces	page 29
2. L'itinéraire technique de fécondation des <i>Hylocereus</i>	page 31

### **CHAPITRE III**

#### **La pitaya (*Hylocereus* sp.) en culture de diversification à la Réunion : stratégie d'accompagnement de son développement**

I. Le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion	page 36
II. Critères de présélection	page 37
III. La pitaya à l'île de la Réunion	page 39
IV. Accompagnement et évaluation du développement de la pitaya	page 39
1. Recherche en microparcelles et validation du choix de l'espèce	page 39
2. Recherches en macroparcelles et sensibilisation	page 41
3. Recherche appliquée et accompagnement commercial	page 41
V. La pitaya chez le producteur	page 41
VI. Les débouchés de la pitaya	page 43
VII. Forces et faiblesses de la culture d' <i>Hylocereus</i> sp. à l'île de la Réunion	page 44
VIII. Conclusion	page 44

#### **CONCLUSION GENERALE**

<b>Littérature citée</b>	page 48
--------------------------	---------

<b>Annexes</b>	<b>page 52</b>
Annexe 1 : Liste des <i>Hylocereus</i> (Berg.) Britt. & Rose. 1909	page 53
Annexe 2 : Plan de la parcelle de pitaya du Cirad-Flhor Saint-Pierre	page 54
Annexe 3 : Données météo de la station Cirad de Ligne Paradis.	page 55

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Fleur d' <i>Hylocereus undatus</i> .	page 12
<b>Figure 2</b> : Fruit d' <i>Hylocereus undatus</i> .	page 12
<b>Figure 3</b> : Fruit d' <i>Hylocereus purpusii</i> .	page 12
<b>Figure 4</b> : palissage en pan incliné d' <i>Hylocereus purpusii</i> à l'île de la Réunion.	page 14
<b>Figure 5</b> : parcelle d'essai du CIRAD St Pierre (Réunion).	page 21
<b>Figure 6</b> : Modes de pollinisation par traitement.	page 22
<b>Figure 7</b> : <i>Hylocereus purpusii</i> en floraison.	page 24
<b>Figure 8</b> : <i>Apis mellifera</i> dans fleur d' <i>Hylocereus purpusii</i> .	page 25
<b>Figure 9</b> : Taux de germination moyen (en %) in vitro de grain de pollen de 2 clones d' <i>Hylocereus</i> prélevé à 3 heures différentes de la journée.	page 26
<b>Figure 10</b> : Fruits d' <i>H. undatus</i> , à gauche fruit résultant d'une pollinisation libre ; à droite d'une pollinisation manuelle.	page 27
<b>Figure 11</b> : Représentation graphique des poids moyens obtenus en fonction du clone, du mode de pollinisation, du tuteur et de la vague de floraison.	page 28
<b>Figure 12</b> : Corrélation entre le poids d'un fruit d' <i>H. purpusii</i> ou d' <i>H. undatus</i> et sont nombre de graines, indépendamment du mode de pollinisation.	page 28
<b>Figure 13</b> : Différents hybrides d' <i>H. undatus</i> x <i>H. purpusii</i> .	page 30
<b>Figure 14</b> : Un hybride (au centre) avec ses parents ( <i>H. undatus</i> x <i>H. purpusii</i> ).	page 30
<b>Figure 15</b> : Cycle floral d' <i>Hylocereus</i> sp. à l'île de la Réunion (créneau horaire de pollinisation manuelle).	page 32
<b>Figure 16</b> : Naturalisation d' <i>H. undatus</i> à l'île de la Réunion.	page 39
<b>Figure 17</b> : Evolution des intentions d'achat au fur et à mesure de la découverte de la pitaya par des consommateurs interrogés à l'occasion d'une enquête effectuée à l'île de la Réunion.	page 40
<b>Figure 18</b> : Pitaya conduite sur tuteur individuel en bois en macroparcelles expérimentales à l'île de la Réunion.	page 42
<b>Figure 19</b> : Pitaya conduite sur table de production en macroparcelles expérimentales à l'île de la Réunion.	page 42
<b>Figure 20</b> : Synthèse des appréciations données sur le fruit de la pitaya par un panel de 200 personnes enquêtées sur le marché forain de la ville du Tampon.	page 43

## Liste des tableaux

- Tableau I :** Analyse physico-chimique d'*Hylocereus purpusii* et d'*H. undatus*. **page 17**
- Tableau II :** Date et concordance des différentes vagues de floraison des 2 clones d'*Hylocereus* durant les floraisons 1999 et 2000 à l'île de la Réunion **page 24**
- Tableau III :** Nombre d'entrées d'abeilles à différentes heures de la journée du 26 et 27/02/2000 dans deux fleurs d'*Hylocereus* à l'île de la Réunion. **page 25**
- Tableau IV :** Taux de nouaison de 2 clones de pitaya en fonction du mode de pollinisation et durant 4 vagues de floraison à l'île de la Réunion en 1999 **page 27**
- Tableau V :** Schématisation de la méthode utilisée à l'île de la Réunion pour présélectionner les espèces fruitières intéressantes à développer dans le cadre d'une démarche de diversification à partir des critères propres au consommateur. **page 38**
- Tableau VI :** Liste des espèces fruitières intéressantes à développer dans le cadre d'une démarche de diversification à l'île de la Réunion après présélection sur des critères propres au consommateur et prise en compte des critères du vendeur et du producteur. **page 38**
- Tableau VII :** Terme et résultats d'enquête effectuée auprès de 200 consommateurs réunionnais pour évaluer leur intention d'achat de pitayas, production choisie dans le cadre d'une opération de diversification fruitière à l'île de la Réunion. **page 40**
- Tableau VIII :** Synthèse des pratiques culturelles conseillées pour la culture de la pitaya (*Hylocereus* sp.) à l'île de la Réunion. **page 42**
- Tableau IX :** Dépenses occasionnées par les coûts de plantation et d'entretien, chiffre d'affaire et retour sur investissements générés par 0,5 ha de pitaya conduits sur 'table de production' ou sur 'tuteur individuel' à l'île de la Réunion. **page 43**
- Tableau X :** Forces et faiblesses identifiées lors d'une démarche de diversification fruitière entreprise à partir du développement de la culture de la pitaya (*Hylocereus* sp.) à l'île de la Réunion. **page 44**

## Introduction générale

**L'**économie agricole des départements français d'outre-mer insulaires repose sur une ou deux spéculations. En Guadeloupe ou en Martinique, les cultures de la canne à sucre et du bananier représentent l'essentiel de la production végétale agricole. Tandis qu'à la Réunion, l'économie entière repose sur la culture de la canne à sucre. Ces économies sont fragiles car très dépendantes des subsides accordés par l'état français et l'Union Européenne. De plus, ces activités agricoles sont étroitement liées aux conditions naturelles parfois difficiles (cyclones...).

A la Réunion, plus particulièrement, seul un quart du territoire est exploitable, environ 63 800 hectares. Plus de la moitié des terres agricoles présente des pentes supérieures à 20 %. Un tiers des superficies cultivables connaît des déficits hydriques importants, alors qu'un autre tiers souffre d'excès d'eau. Enfin, la Réunion subit chaque année, pendant l'été austral, l'influence plus ou moins grave des cyclones (Cadet, 1977; Le Bellec et Renard, 1997). Les productions végétales représentent quatre cinquième de la valeur de la production agricole totale. Si la culture de la canne à sucre est toujours et de loin l'activité principale des agriculteurs, ces derniers s'orientent de plus en plus vers des productions à forte valeur ajoutée, comme les légumes, les fleurs ou encore les fruits.

Les espèces fruitières connaissent depuis quelques années un remarquable développement : en une quinzaine d'années, les surfaces cultivées ont été multipliées par 3 passant de 920 à 2953 ha (Petit, 2001). Cependant, seules cinq espèces sont véritablement cultivées : l'ananas, le manguiier, le litchi, le bananier et les agrumes laissant sous exploités de nombreux autres fruits ; car en effet le patrimoine fruitier réunionnais est riche de près de 140 espèces fruitières différentes (Le Bellec et Renard, 1997) toutes introduites au fil des siècles (de Cordemoy, 1895; Trouette, 1898; Rivals, 1960; Cadet, 1980).

Ces espèces fruitières n'ont cependant pas toutes le même statut sur l'île de la Réunion, certaines sont acclimatées, voire même naturalisées (Cadet, 1977; Anonyme, 1992), comme le néflier du Japon (*Eriobotrya japonica*) ou encore le goyavier-fraise (*Psidium cattleyanum*), dont les fruits peuvent d'ailleurs jouer un rôle non négligeable sur les marchés de l'île (Normand, 2002). Ces espèces représentent un quart du nombre d'espèces fruitières présentes sur l'île. Tandis que le reste du patrimoine, la plus grande part, correspond aux espèces cultivées dans les jardins ; elles sont pour la plupart peu connues bien que bon nombre d'entre-elles pourraient être valorisées (Le Bellec, 1993).

Dans ce contexte, une démarche a été adoptée à l'île de la Réunion pour sélectionner, développer et accompagner une nouvelle espèce fruitière. Considérant l'économie agricole de l'île, l'objectif n'était pas de chercher une culture de substitution à la culture pivot des exploitations agricoles mais bien de permettre à des agriculteurs de diversifier leurs revenus agricoles par le biais d'une autre spéculation. Dans ces conditions, il semblait indispensable d'aborder cette tentative de diversification grâce à une approche pluridisciplinaire car les causes d'échecs de telles expériences peuvent être nombreuses : problèmes agronomiques, non-acquisition des techniques culturales par le producteur, inadéquation des calendriers culturels, problèmes de débouchés commerciaux, etc. (Wilson, 1998; Normand, 1999; Bertin, 2001).

La pitaya (*Hylocereus* sp.) a été sélectionnée parmi une vingtaine d'autres espèces candidates, la forme nouvelle de ce fruit, ses couleurs attrayantes, la rapidité de mise à fruit de la plante et les bonnes aptitudes de conservation du fruit ont motivé ce choix (Lubrano Di Sbaraglione, 1984; Le Bellec, 1998).

Originnaire d'Amérique Latine, la pitaya (genre *Hylocereus*) n'est cultivée que dans peu de pays bien que depuis quelques années elle soit considérée comme une culture fruitière nouvelle prometteuse (Barbeau, 1990; Nerd et Mizrahi, 1997; Jacobs, 1998).

Sur l'île de la Réunion, la pitaya (*Hylocereus undatus*) n'est connue que pour les vertus médicinales de ses racines en infusion (Lavergne, 1984) ou pour l'intérêt de ses tiges comme fourrage (pour les tortues de terre). Il s'avère, en fait, que malgré sa parfaite naturalisation, cette espèce ne produit pas de fruit à l'état sauvage. Une autre pitaya (*Hylocereus purpusii*), tout aussi improductive à l'état naturel, est également présente sur l'île bien que moins fréquente (essentiellement dans les jardins créoles) (Le Bellec, 1993). La probable auto-incompatibilité (Raveh *et al.*, 1993) des clones de ces deux espèces présentes sur l'île et/ou l'absence de pollinisateur efficace, semblent être responsables de cette improductivité.

Dans un premier chapitre, une analyse bibliographique fait le point sur les connaissances existantes sur la pitaya (genre *Hylocereus*). Elle montre combien la culture de cette espèce fruitière est finalement peu connue. Le deuxième chapitre traite plus spécifiquement des problèmes d'improductivité à la Réunion des deux clones de pitaya présents sur l'île. Différents modes de pollinisations libres ou contrôlées seront étudiés afin d'essayer de surmonter ces obstacles à la production. Un itinéraire technique de pollinisation/production d'*H. undatus* et d'*H. purpusii* adapté aux conditions de culture réunionnaises sera enfin proposé. Le dernier chapitre décrit la stratégie d'accompagnement de cette nouvelle culture fruitière à la Réunion mais il renseigne également pourquoi et comment ce nouveau fruit a été choisi parmi d'autres espèces et finalement comment tous les acteurs de la filière se sont appropriés ce nouveau fruit qui leur était totalement inconnu quelques années plus tôt.



## Chapitre I

### Analyse bibliographique sur les *Hylocereus*



Fruit d'*Hylocereus undatus* x *H. purpusii*

## Chapitre I

### Analyse bibliographique sur les *Hylocereus*

#### I. Connaissance de la plante

##### 1. Classification botanique

Les pitayas ou pitahayas appartiennent à la famille botanique des Cactaceæ et au genre *Hylocereus*, lequel genre est caractérisé par des plantes lianoïdes, à racines aériennes et portant des baies glabres à écailles foliacées (Fournet, 2002).

Les Cactaceæ (ordre des Caryophyllales) comprennent entre 120 et 200 genres différents lesquels regroupent entre 1500 et 2000 espèces, exclusives des régions semi-désertiques tempérées chaudes et tropicales de l'Amérique (Spichiger *et al.*, 2000). Appréciables pour leur valeur ornementale, les Cactaceæ comportent également de nombreuses espèces cultivées, près de 250 espèces comme plantes fruitières ou « industrielles » (Fouqué, 1969). Cependant, peu d'entre-elles ont une importance économique. Le genre *Opuntia* Mill. est probablement le plus cultivé pour son fruit (la figue de barbarie ou tuna) et comme hôte de *Dactylopius coccus* O. Costa, la cochenille de laquelle est extrait le carmin (Mizrahi *et al.*, 1997). Cette dernière est également élevée sur *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Lavergne, 1984; Spichiger *et al.*, 2000). En Amérique Latine, de nombreuses espèces cultivées ou de cueillette portent le nom de pitaya, ce nom générique vernaculaire contribuant à la difficulté de classification botanique de ces dernières. Toutes ces « pitayas » sont cependant regroupées dans quatre principaux genres : *Stenocereus* Britton & Rose, *Cereus* Mill., *Selenicereus* (A. Berger) Riccob. et *Hylocereus* Britton & Rose (Mizrahi *et al.*, 1997). Nous nous intéresserons plus particulièrement aux espèces de ce dernier genre.

Il existe de nombreuses contradictions quant à la classification botanique des *Hylocereus* (Mizrahi *et al.*, 1997; Daubresse, 1999). Nous adopterons dans ce document la classification de Britton et Rose (*annexe 1*), reconnue par « The Missouri Botanique Garden ([www.mobot.org](http://www.mobot.org)), The Angiosperm Phylogeny Group, 1998 ».

##### 2. Origine, distribution et écologie des *Hylocereus*

Les pitayas (genre *Hylocereus*) sont originaires d'Amérique Latine, probablement du Mexique et de la Colombie. La distribution des *Hylocereus* est aujourd'hui mondiale, mais *H. undatus* est l'espèce la plus cosmopolite.

Dans leur aire originelle, les fruits des pitayas (*H. costaricensis*, *H. polyrhizus*, *H. trigonus* et *H. undatus*) font l'objet de cueillette traditionnelles et d'une consommation locale (Fouqué, 1969; Mizrahi *et al.*, 1997; Daubresse, 1999). Ces espèces ne sont que très rarement cultivées à grande échelle, hormis en Colombie, au Costa Rica et au Nicaragua (Barbeau, 1990). Au Vietnam, *H. undatus*, a par contre connu un réel développement : près de 2.000 ha y sont cultivés (Nguyen, 1996). Ailleurs, les pitayas sont considérées comme une culture fruitière nouvelle prometteuse (Barbeau, 1990; Nerd et Mizrahi, 1997; Jacobs, 1998).

Malgré leur apparente rusticité, les *Hylocereus* ne prospèrent véritablement que dans des régions à pluviométrie moyenne (800 à 1500 mm/an). Ces espèces peuvent supporter de fortes chaleurs, allant jusqu'à 38-40 °C (Barbeau, 1990) ; tandis que des températures inférieures à 12°C peuvent provoquer des nécroses sur tige (Erwin, 1996). Un ensoleillement trop important et une alimentation en eau insuffisante provoquent des brûlures de tiges (Raveh *et al.*, 1998). A contrario, l'eau en excès provoque systématiquement la chute des fleurs et des jeunes fruits (Barbeau, 1990 ; Le Bellec et Renard 1997). Les *Hylocereus* peuvent s'adapter à de nombreux types de sols pourvus qu'ils soient drainants (Barbeau, 1990; Bárcenas, 1994; Nguyen, 1996; Luders, 1999).

### 3. Les *Hylocereus* à l'île de la Réunion

A ce jour, seules deux espèces d'*Hylocereus* sont répertoriées sur l'île de la Réunion : *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. & Rose (nommée pitaya blanche dans cette étude) et *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britt. & Rose (nommée pitaya rouge dans cette étude). L'introduction de la pitaya blanche sur l'île de la Réunion est ancienne mais la date précise inconnue. La pitaya rouge est par contre beaucoup plus rare et ne se rencontre que dans les jardins (Le Bellec et Renard, 1997). *H. undatus* est naturalisé dans le sud et dans les hauteurs de l'ouest de la Réunion (Bossier *et al.*, 1984), zones de l'île où toutes les exigences écologiques de cette espèce sont réunies.

### 4. Morphologie

Les *Hylocereus* sont des plantes rampantes ou grimpantes, semi-épiphytes (Bossier *et al.*, 1984; Rondón, 1998), et leur croissance nécessite un support naturel ou artificiel (arbres, poteaux en bois ou en béton, murs de pierre, etc.). Elles s'accrochent à ces derniers grâce à leurs racines aériennes.

#### - *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. & Rose

Les tiges d'*H. undatus* sont vert-brillant, charnues, glabres et triangulaires (le bord des crêtes, plus ou moins corné avec l'âge, est sinueux mais sur un même axe) ; présence d'épines courtes, aréoles (Bossier *et al.*, 1984, Fournet, 2002). Les boutons floraux sont du même vert que les tiges.

#### - *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britt. & Rose

Cette espèce se distingue d'*H. undatus* par des tiges plus fortement dentelées mais cependant toujours triangulaires (ces tiges sont également sinueuses mais pas sur le même axe). Ses tiges sont d'aspect moins brillant, avec des plaques glauques (Wollenweber et Dörr, 1995). Les pièces du calice sont vertes et bordées de rouge sombre (ce dernier caractère permet une identification aisée).

Les études sur la biologie florale des *Hylocereus* sont rares. Seuls les chercheurs israéliens et costaricains s'y sont réellement intéressés, les premiers pour étudier les potentialités de culture de cette « nouvelle espèce fruitière » (Weiss *et al.*, 1994; Mizrahi *et al.*, 1997), les seconds afin d'étudier l'écologie florale d'une espèce endémique du pays (Daubresse, 1999).

Les fleurs des deux espèces apparaissent sous les aréoles, elles sont grandes (plus ou moins 30 cm), en entonnoir, nocturnes. L'ovaire est infère logé à la base d'un tube long et portant à l'extérieur des écailles foliacées. Les étamines, à filet grêle, sont très nombreuses. Le style est long de 20 cm, tubulaire et de gros diamètre (0,5 cm). Le stigmate comporte 24 lobes grêles, de couleur crème-verdâtre (Bossier *et al.*, 1984; Daubresse, 1999).

L'induction florale ne semble pas être sous la dépendance d'un quelconque stress hydrique, elle est probablement liée à la durée du jour. Les boutons floraux peuvent rester à l'état latent durant plusieurs semaines (Daubresse, 1999), et le déclenchement des floraisons intervient généralement après la première pluie estivale (Barbeau, 1990).



Figure 1 : fleur *H. undatus*

Les fruits des deux espèces sont de grosses baies, glabres et à écailles foliacées.

- *Hylocereus undatus* (Haw.) Britt. & Rose

Les fruits de la pitaya blanche sont oblongs, rouge-rosé, à écailles foliacées de même couleur mais verte à leur extrémité, l'intérieur du fruit est blanc et parsemé de nombreuses petites graines noires, longues de 2 mm. Le fruit mesure de 15 à 22 cm de long et peut peser jusqu'à 900 g. Le poids moyen se situe autour de 400 g. La pulpe du fruit est ferme, juteuse, agréablement fondante. La saveur est relativement neutre.



Figure 2 : Fruit d'*H. undatus*

- *Hylocereus purpusii* (Weing.) Britt. & Rose

Les fruits de la pitaya rouge sont ronds, à écailles foliacées rouge lie-de-vin. L'intérieur du fruit est rouge intense. Le fruit mesure entre 10 et 15 cm de hauteur et pèse entre 250 et 600 g. La pulpe renferme de nombreuses petites graines noires, longues de 2 mm. Elle est ferme, juteuse, désaltérante. A parfaite maturité, la saveur de la mûre est perceptible.



Figure 3 : fruit d'*H. purpusii*

La coloration de la peau du fruit n'intervient que très tardivement dans sa phase de maturation puisque, selon les espèces, l'épiderme passe du vert au rouge ou rose qu'au 25 ou 27<sup>ième</sup> jours après l'anthèse (Nerd *et al.*, 1999). Quatre à cinq jours après, les fruits ont atteint le maximum de leur coloration. Passé ce stade, les fruits de la pitaya rouge éclatent sans que cela entraîne pour autant une pourriture.

Ces deux espèces se multiplient naturellement et très facilement par bouture de tiges dès que ces dernières touchent le sol (Fouqué, 1969). Les *Hylocereus* ont une tendance à s'hybrider très facilement, même entre espèces différentes. Il en résulte une multitude d'hybrides naturels (Barbeau, 1990; Mizrahi *et al.*, 1997) ou contrôlés (Le Bellec et Judith, 2002) dès que le semis de graines devient le mode de multiplication.

## 5. Phénologie et reproduction

A la Réunion, la croissance végétative des deux espèces est continue avec cependant une phase de repos végétatif durant l'hiver austral (juillet/août). Cet arrêt de croissance est plus marqué dans les hauteurs de l'île, où les températures sont bien évidemment plus faibles. Les *Hylocereus* fleurissent durant l'été austral, de novembre à avril. Les floraisons sont cycliques et étalées sur cette période. Le nombre de vagues de floraison dépend de l'espèce : 7 à 8 pour la pitaya rouge contre 5 à 6 pour la pitaya blanche. Trois à quatre semaines sont observées entre deux vagues de floraison (Barbeau, 1990; Le Bellec et Judith, 1999). Il est de ce fait possible de rencontrer, sur une même plante et en même temps, des boutons floraux, des fleurs, des jeunes fruits ou encore même des fruits matures. Les délais entre l'apparition du bouton floral (soulèvement de l'aréole) et la floraison (phase I) et entre l'anthèse de la fleur et la récolte du fruit (phase II) sont très courts. Ils sont de l'ordre de 15 à 20 jours pour la première phase et de 30 jours pour la seconde. Dans l'hémisphère nord, ces floraisons s'étalent de mai à octobre (Barbeau, 1990; Weiss *et al.*, 1994; Nguyen, 1996).

Dans leurs pays d'origine, la reproduction des clones allogames d'*Hylocereus* est assurée la nuit par des chauves-souris pollinivores (Nerd et Mizrahi, 1997; Herrera et Del Rio, 1998) ou par des papillons de la famille des *Sphingidae*, espèces du genre *Maduca* (Daubresse, 1999). Il ne semble pas y avoir de problème majeur de fructification dans les principaux pays producteurs (espèces cultivées en Amérique Latine et en Asie) (Becerra Ochoa, sd; Barbeau, 1990; Nguyen, 1996; Jacobs, 1998).

La déhiscence des anthères a lieu quelques heures avant l'ouverture complète de la fleur. Les grains de pollen sont très nombreux, lourds et peu pulvérulents. La fleur s'ouvre vers 20:00/20:30, le stigmate domine alors les étamines (cette position du stigmate, durant cette phase, favorise plutôt l'allogamie). Les fleurs ne s'épanouissent qu'une seule fois et se referment (fécondées ou pas) pendant la matinée du lendemain de l'anthèse. Les jours suivants, les pétales se ramollissent puis se dessèchent progressivement. La base des fleurs non fécondées jaunit, la fleur entière chute 4 à 6 jours après ; tandis que la base des fleurs fécondées reste verte et augmente de volume : le fruit a noué.

A l'île de la Réunion, la production naturelle de fruit des deux *Hylocereus* est quasi inexistante (Le Bellec et Renard, 1997). L'auto incompatibilité (Raveh *et al.*, 1993) des clones de ces deux espèces et/ou l'absence de pollinisateurs efficaces – des croisements entre ces deux espèces sont en effet possibles (Le Bellec, 1993; Weiss *et al.*, 1994) – semblent être responsables de cette improductivité. A la Réunion, et jusqu'à présent, aucun des pollinisateurs inféodés aux *Hylocereus* n'a été observé. Seules les abeilles (*Apis mellifera*) sont très attirées par le pollen de ces fleurs. Les visites répétées de ces insectes peuvent contribuer à leur fécondation (Weiss *et al.*, 1994; Nerd et Mizrahi, 1997).

## II. Agronomie et valorisation

### 1. Multiplication et plantation

La multiplication des *Hylocereus* peut être réalisée par semis de graines ou par bouturage (Fouqué, 1969 ; Barbeau, 1990). Cette dernière méthode est à préférer pour plusieurs raisons. Elle permet de multiplier fidèlement la variété. La mise à fruit des boutures est rapide, moins d'un an après le bouturage contre trois ans pour les plants issus de semis. Enfin, la rusticité de ces espèces permet de réaliser le bouturage directement en place, au champ ; à condition de prendre des boutures en repos végétatif d'au minimum 50-70 cm de longueur (Nguyen, 1996) et d'assurer un arrosage régulier afin de permettre l'enracinement. Toutes ces conditions et caractéristiques réunies induisent de très bons taux de reprise au champ de l'ordre de 90 % des boutures d'*Hylocereus* (quelle que soit l'espèce) (Le Bellec et Judith, 1999). Les distances de plantation recommandées dépendent du type de tuteur choisi. En palissage vertical, des espacements de 2 à 3 m sur la ligne de plantation et de 4 à 5 m entre deux lignes sont requis (soit entre 2000 et 3750 boutures par ha, à raison de 3 boutures par tuteur) (Barbeau, 1990; Nguyen, 1996). Les densités sur palissage horizontal et sur pan incliné sont beaucoup plus élevées puisque les boutures sont implantées tous les 50-75 cm autour de la table de production (6500 boutures par ha) ou tout du long du pan incliné (5000 boutures par ha, *figure 4*) (Le Bellec et Judith, 1999). La hauteur de ces différents types de tuteur doit être comprise entre 1,40 m et 1,60 m pour le palissage vertical et entre 1 m et 1,20 m pour le palissage horizontal et la conduite sur pan incliné, ceci afin de faciliter les différentes opérations culturales.

### 2. Techniques culturales

Les pitayas ne sont domestiquées que depuis peu de temps, et les premières références sur les pratiques culturales sérieuses publiées ne datent que d'une quinzaine d'années (Barbeau, 1990 ; Becerra Ochoa). Les connaissances agronomiques héritées de la culture traditionnelle de ces espèces en Amérique tropicale (Fouqué, 1969) sont peu importantes ou elles ont été peu ou pas divulguées. Néanmoins, les techniques culturales de base, actuellement pratiquées dans les différentes zones de production, émanent de cette tradition. Elles ont été cependant adaptées et améliorées par la suite en fonction des problèmes rencontrés dans les nouvelles aires de culture (Weiss *et al.* 1994; Nguyen, 1996; Raveh *et al.* 1996; Le Bellec et Judith, 2002).

- *Croissance et taille*

Les pitayas rampent, grimpent et s'accrochent naturellement à tous les types de supports qu'elles rencontrent. Leur exploitation à même le sol n'est pas souhaitable, d'une part parce que cela ne facilite pas les opérations culturales minimales (fécondation, récolte...) et d'autre part, parce que les contacts avec le sol entraînent des pourritures de lianes (Le Bellec et Judith, 1999). Les pitayas sont donc cultivées sur tuteurs vivants (Barbeau, 1990) ou morts. De nombreux types de palissage sont utilisés, nous retiendrons le palissage vertical sur poteaux de bois, de béton ou en fer (Nguyen, 1996 ; Barbeau, 1990 ; Mizrahi et Nerd, 1999) et le palissage horizontal (table de récolte) ou sur pan incliné (*figure 4*).



**Figure 4** : palissage en pan incliné d'*H. purpusii* à l'île de la Réunion

La croissance de la plante est rapide. La taille de formation des plants est primordiale sur les systèmes de palissage vertical et horizontal, et consiste à sélectionner les tiges au fur et à mesure de leur croissance en forçant la plante à grimper le long du tuteur. Toutes les croissances latérales et dirigées vers le sol sont coupées, tandis que sur le système « pan incliné » toutes les ramifications sont gardées (hormis celles qui touchent le sol). Ces tailles de formation se pratiquent essentiellement la première année suivant la plantation. Quel que soit le tuteur utilisé les tiges doivent être attachées à ce dernier à l'aide d'un lien.

La taille d'entretien a pour but de limiter la croissance de la touffe ; et ce dès la deuxième année suivant la plantation. En effet, cette taille est plutôt raisonnée par rapport au tuteur et à sa résistance. A titre indicatif le volume végétal d'une touffe de 3 ans pèse environ 70 kg (Le Bellec et Judith, 1999). Même si ce poids est facilement porté par les différents types de tuteur, l'avenir de ces touffes, face à des vents plus ou moins violents, est incertain. La taille consiste donc à supprimer toutes les tiges abîmées de la plante et celles qui se croisent. Cette taille, pratiquée après la récolte, favorise la croissance de nouvelles pousses qui porteront les fleurs de l'année suivante.

- *Fumure et irrigation*

Les rendements varient également en fonction de la fumure apportée. Le système racinaire des pitayas est superficiel et peut assimiler rapidement le moindre apport. Les fumures minérales et organiques lui sont particulièrement bénéfiques ; associées, leur effet n'en est que plus intéressant (du Prez, 1997; López et Guido, 1998; Le Bellec et Judith, 1999).

Même si les pitayas peuvent se contenter d'une pluviométrie très faible (Mizrahi et Nerd, 1999) – elles peuvent en effet survivre après plusieurs mois de sécheresse – leur exploitation à des fins de production de fruits de qualité impose des apports d'eau réguliers. Cette irrigation est importante car elle permet à la plante d'avoir suffisamment de réserves d'une part pour fleurir dès le moment propice et d'autre part pour assurer le développement de ses fruits. Une micro-irrigation localisée est toute indiquée. Outre l'efficacité de l'eau fournie par ce système, cette micro-irrigation évite un arrosage de la frondaison pouvant entraîner des chutes de fleurs et de jeunes fruits (Barbeau, 1990).

- *Pollinisation*

Le manque de diversité génétique et/ou l'absence d'agents pollinisateurs dans certaines zones de production imposent d'avoir recours à une pollinisation manuelle et croisée pour s'assurer d'une production de fruit (Weiss *et al.*, 1994 ; Le Bellec et Renard, 1997). Sa pratique est simple et facilitée par les caractéristiques florales des *Hylocereus*. En effet, les différentes pièces florales sont de grandes dimensions. De plus, à l'anthèse, le stigmate de la fleur domine largement les étamines favorisant ainsi les manipulations. Enfin, la pollinisation manuelle peut être pratiquée avant l'anthèse de la fleur (dès 16:30) et jusqu'au lendemain matin 11:00. Ces manipulations sont fiables et les fruits obtenus d'excellente qualité (Le Bellec, 1993).

Pour pratiquer cette pollinisation, il suffit d'ouvrir la fleur en la pinçant sur sa partie la plus bombée, ce qui met le stigmate en évidence. Ce dernier est alors « badigeonné » de pollen à l'aide d'un pinceau ; ou bien encore les anthères sont déposées entières (avec une légère pression) sur le stigmate à l'aide des doigts. Le pollen est préalablement prélevé dans une autre fleur d'un autre clone (ou d'une autre espèce) et stocké, pour les besoins des manipulations, dans une boîte. Le pollen prélevé dans deux fleurs permet d'en féconder environ 100 (pollinisations effectuées au pinceau). Le pollen peut être conservé plusieurs mois (de 3 à 9) à des températures négatives (de -18 à -196°C), sans que sa viabilité soit compromise. Les fruits obtenus avec des pollinisations à base de pollen conservé à 4°C pendant 3 et 9 mois sont par contre plus petits (Metz *et al.*, 2000).

- *Récolte*

Les premières récoltes apparaissent dès 18 mois après le bouturage en place - le délai floraison / récolte est court et faiblement variable. Il est de 29 à 35 jours suivant les écologies (Barbeau, 1990; Le Bellec et Renard, 1997). Les rendements dépendent de la densité de plantation et sont de l'ordre de 10 à 30 t/ha (Barbeau, 1990; Mizrahi *et al.*, 1997; Le Bellec et Judith, 1999).

L'absence de pédoncule rend la cueillette délicate. Les techniques courantes de récolte par simple torsion du fruit conduisent bien souvent à une blessure de l'épiderme du fruit. La récolte s'opère donc au sécateur (Barbeau, 1990). Les fruits sont peu fragiles. Cependant, pour garantir un produit de haute qualité les précautions d'usages pour la récolte sont à observer (manipulation soignée, conditionnement, stockage...); notamment pour la pitaya rouge dont les écailles foliacées sont cassantes.

### 3. Ravageurs et maladies

Peu de ravageurs sont signalés sur les *Hylocereus*. Les fourmis des genres *Atta* (Barbeau, 1990) et *Solenopsis* (Nguyen, 1996; Le Bellec et Judith, 1999) provoquent de gros dégâts aussi bien sur la plante que sur les fleurs ou les fruits. *Cotinus mutabilis* perfore les tiges et *Leptoglossus zonatus* pompe la sève des tiges provoquant des tâches et des déformations (Barbeau, 1990). Différentes espèces de pucerons et de cochenilles ont également été répertoriées sur fleurs et fruits (Le Bellec et Judith, 1999).

Les rats et les oiseaux peuvent provoquer des dommages importants, les premiers sur fleurs (Le Bellec et Judith, 1999) et sur fruits (Nguyen, 1996); les seconds sur fruits à maturité (Augais, communication personnelle).

L'activité butineuse des abeilles (*Apis mellifera*) gêne et peut même compromettre la pratique de la pollinisation manuelle des pitayas à la Réunion (Le Bellec et Judith, 1999). En effet, en dehors des périodes de floraison des espèces mellifères (*Litchi sinensis*, *Schinus terebenthifolius*, etc.), les abeilles « pillent » le pollen des fleurs de pitayas. Elles sont particulièrement efficaces puisque après quelques heures d'activités seulement tout le pollen est récolté. La parade est de prélever du pollen avant leur passage (dès 16:00) et de pratiquer les pollinisations le lendemain matin dès qu'elles ont déserté la plantation.

Diverses maladies fongiques (*Gloeosporium agaves*, *Macssonina agaves* et *Dothiorella* sp.) virales ou bactérienne (*Xanthomonas* sp.) sont également rapportées dans la littérature (Barbeau, 1990; Nguyen, 1996; Boyle *et al.*, 1997) et peuvent avoir localement de graves conséquences.

#### 4. Composition, conservation et utilisation des fruits

Les analyses physico-chimiques réalisées sur *Hylocereus* sont rares. De plus, la précision de l'espèce analysée est bien souvent occultée ou erronée. Les pitayas (*Hylocereus undatus*) seraient des bonnes sources de minéraux, glucose, fructose, fibres et vitamines (Ming et Chin, 1997). La pitaya rouge renfermerait de la vitamine C (8 mg/100 g) et des traces de vitamine A (Barbeau, 1990). Enfin, Ming et Chin (1997) rapportent après analyse de pitayas rouge et blanches (*Hylocereus* sp.) que les sucres solubles trouvés dans ces deux espèces sont principalement du glucose (pitaya blanche : 104 mg/g de pulpe contre 68 mg pour la pitaya rouge), du fructose (pitaya blanche : 65 mg/g de pulpe contre 50 mg pour la pitaya rouge) et dans une moindre mesure du sucrose qui ne représente en moyenne que 2,8 à 7,5 % des sucres totaux.

Le tableau ci-dessous reprend les résultats d'analyses réalisées à la Réunion par le TECI/CRITT Agro-alimentaire :

<b>Tableau I : Analyse physico-chimique d'<i>H. undatus</i> et d'<i>H. purpusii</i>.</b>		
	<i>Hylocereus undatus</i>	<i>Hylocereus purpusii</i>
<b>Matière Grasse totale</b>	1.17 %	1.43 %
<b>Protéine</b>	1.20 %	1.25 %
<b>Glucides Totaux</b>	5.70 %	3.05 %
<b>Bilan Energétique</b>	<b>37.9 Kcal/100 g</b>	<b>41.7 Kcal/100 g</b>

Les pitayas ont une très bonne tenue après récolte. Les fruits sont non-climactériques (Nerd *et al.*, 1999). Ils se conservent 3 à 4 jours à température ambiante s'ils ont été cueillis au stade « pleine coloration » (fruit uniformément coloré) (Barbeau, 1990; Nerd *et al.*, 1999) et respectivement 1 et 2 semaines s'ils ont été conservés à 20 et 14°C (Nerd *et al.*, 1999). Les fruits cueillis plus précocement (1 à 2 jours avant le stade « pleine coloration ») se conservent près d'un mois à 10°C sans que la qualité en soit significativement diminuée (Le Bellec et Judith, 1999). Les pitayas cueillies tardivement (5 à 8 jours après le stade « pleine coloration ») se conservent nettement moins longtemps, les qualités gustatives de ces fruits sont par contre meilleures. Elles sont légèrement plus sucrées (pitayas rouge et blanche) et acquièrent un goût de mûre (pitaya rouge).

Les pitayas sont généralement mangées en frais, telles quelles ou en salades de fruits (Fouqué, 1969). Les fruits sont très décoratifs, la peau peut d'ailleurs servir de « récipient » naturel. La pulpe est aussi consommée sous forme de jus ou de sorbet (Barbeau, 1990, Le Bellec et Judith, 1999). Enfin, l'intérêt du pouvoir colorant de la chair de la pitaya rouge reste à confirmer.



**C**ette synthèse bibliographique sur les *Hylocereus* montre à quel point la culture de ces espèces est peu connue et son développement très récent à la Réunion alors que dans de nombreux pays la pitaya est considérée comme une culture prometteuse.

Le genre *Hylocereus* est représenté sur l'île de la Réunion par *H. undatus* et *H. purpusii*. Cependant, la production naturelle de fruits de ces deux espèces est quasi-inexistante malgré la large naturalisation d'*H. undatus* et une possible fécondation entre les deux espèces (Le Bellec et Renard, 1997). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette improductivité :

- Certains clones d'*Hylocereus* sp. sont connus pour être auto-incompatibles et plus spécifiquement chez *H. undatus* (Weiss *et al.*, 1994).
- Ces espèces sont trop éloignées l'une de l'autre ce qui ne favorise pas une pollinisation croisée entre les deux espèces.
- Les agents pollinisateurs inféodés à ces espèces semblent absents de l'île.

Ces différentes causes nous ont conduit à mener plusieurs expérimentations qui font l'objet de la deuxième partie de cette étude qui va porter sur ces particularités réunionnaises afin d'essayer de surmonter ces obstacles à la production.



## Chapitre II

### Etude sur la pollinisation et la fécondation

### d'*Hylocereus undatus* et d'*H. purpusii* à l'île de la Réunion

### et proposition d'un itinéraire technique adapté



Pollinisation manuelle d'une fleur de pitaya (*Hylocereus* sp.) – Photo C. Calabre

## Chapitre II

### Etude sur la pollinisation et la fécondation

#### d'*Hylocereus undatus* et d'*H. purpusii* à l'île de la Réunion

#### et proposition d'un itinéraire technique adapté

### I. Problématique

Toutes les espèces alimentaires présentes aujourd'hui sur l'île de la Réunion ayant une quelconque importance économique ou sociale ont été introduites volontairement ou involontairement au fil des siècles (Cadet, 1980). Cependant, ces succès d'acclimatation en milieu insulaire cachent de très nombreux échecs car bon nombre d'espèces introduites n'ont jamais trouvé les conditions idéales nécessaires à leur développement (De Cordemoy, 1895; Trouette, 1898 ; Rivals, 1960). De nombreux facteurs peuvent l'expliquer mais l'absence de l'ensemble ou d'une partie des caractéristiques composant le biotope de l'espèce en est bien souvent la principale cause. L'échec d'acclimatation peut être complet et se traduit alors par la mort de la plante (inadaptation à la nouvelle écologie), mais l'acclimatation peut aussi être incomplète et générer différentes conséquences. Par exemple, le vanillier (*Vanilla planifolia*), introduit dans de nombreux pays, a été très longtemps improductif dans ces nouvelles contrées car le seul agent (*Melipona* sp.) pouvant assurer sa pollinisation n'était pas présent (Bouriquet, 1954). Ces problèmes de stérilité liés à l'écologie florale de l'espèce ne sont heureusement pas toutes rédhibitoires et des solutions sont souvent trouvées ; pour le vanillier, la main de l'homme se substitue maintenant à l'hyménoptère du Mexique.

*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose (pitaya blanche) est d'introduction ancienne à l'île de la Réunion (Lavergne, 1984). Elle y croît et fleurit normalement mais elle ne produit naturellement que très rarement des fruits (Le Bellec et Renard, 1997). Cette dernière caractéristique n'a cependant pas empêché cette espèce de se naturaliser sur tout le littoral réunionnais (Bossier *et al.*, 1984). Elle a en fait une grande facilité à se bouturer naturellement, mais ce type de multiplication végétative a également pour conséquence d'interdire le brassage génétique et donc de limiter la diversité. Une autre espèce d'*Hylocereus* est présente sur l'île de la Réunion (*H. purpusii* (Weing.) Britt. & Rose), plus rare et exclusivement dans les jardins, elle est tout aussi improductive à l'état naturel. L'absence de fructification de ces deux clones à la Réunion semble être liée à leur auto-incompatibilité et/ou à l'absence d'agent pollinisateur inféodés au genre *Hylocereus*. En effet, si les *Hylocereus* ont une grande faculté à s'hybrider naturellement entre eux, aussi bien au sein d'une même espèce qu'entre espèces (Barbeau, 1990; Mizrahi *et al.*, 1997), l'absence d'agent pollinisateur et le manque de diversité génétique peuvent s'avérer être des obstacles à ces pollinisations libres. Il convient enfin de noter, que dans leurs pays d'origine, la reproduction des clones allogames d'*Hylocereus* est assurée par des chauves-souris (Nerd et Mizrahi, 1997; Herrera et Del Rio, 1998) ou par des sphinxs (Daubresse, 1999) et qu'aucun de ces agents pollinisateurs n'a été observé sur l'île de la Réunion (Le Bellec et Renard, 1997). Les abeilles (*Apis mellifera*) pourraient jouer ce rôle d'agent pollinisateur, d'une part parce que ces dernières ont déjà été remarquées sur *Hylocereus* (Weiss *et al.*, 1994; Nerd et Mizrahi, 1997) et d'autre part parce que les croisements entre *H. undatus* et *H. purpusii* peuvent s'avérer fructueux (Le Bellec, 1993).

Toutefois, si la formation d'un fruit et son nombre de graines dépendent souvent de la quantité de pollen compatible reçue par la fleur (Normand, 2002), l'obtention de fruits de qualité nécessite une pollinisation optimale. Cette dernière correspond au transfert (passif dans le cas par exemple d'une pollinisation anémophile ou actif pour une pollinisation entomophile) du pollen jusqu'au stigmate, lequel est aussi conditionné par plusieurs facteurs et notamment : les conditions climatiques (pluies, vents et températures), l'efficacité et le comportement de l'agent pollinisateur (Vaissière *et al.*, 1996), la masse florale (nombre de fleurs ouvertes simultanément), la compatibilité et l'éloignement des différents génotypes (Pesson et Louveaux, 1984; Normand, 2002). Tous ces facteurs deviennent prépondérants et parfois limitant notamment chez les espèces végétales dont la pollinisation croisée est obligatoire, à savoir pour les espèces dioïques comme le kiwi (*Actinidia chinensis*), le palmier-dattier (*Phoenix dactylifera*) (Pesson et Louveaux, 1984) et pour des variétés auto-incompatibles.

Les objectifs de cette étude sur la biologie de la reproduction des *Hylocereus* conduite à la Réunion sont d'essayer, d'une part, de vérifier les causes de l'improductivité des clones d'*H. undatus* et d'*H. purpusii* et d'autre part, d'apprécier le rôle d'éventuels agents pollinisateurs inféodés ou non aux *Hylocereus*. Pour ce faire, différents modes de pollinisation sont évalués afin d'apprécier leur impact sur la qualité des fruits obtenus et plus précisément sur leur poids. Deux modes de pollinisations libres (nocturne ou diurne) et deux modes de pollinisation contrôlées (croisement interspécifique manuel et autopollinisation) seront ainsi comparés.

## II. Matériels et méthodes

### 1. Matériel végétal et dispositif

L'étude a été menée sur deux clones d'*Hylocereus* présents sur l'île de la Réunion (*H. undatus*, pitaya blanche et *H. purpusii*, pitaya rouge) de décembre 1998 à mai 2000 sur une parcelle de 4 ans située à 120 m d'altitude sur la station expérimentale du CIRAD<sup>1</sup> à Saint-Pierre de la Réunion. Nécessitant un support pour se développer, ces deux clones de pitaya sont conduits sur un tuteur en bois mort selon un système de palissage vertical (photo ci-contre). A la plantation, les clones des deux espèces ont été intercalés sur le rang et d'un rang à l'autre afin de favoriser d'éventuelles fécondations croisées. Dix tuteurs (5 par clone) au sein d'une parcelle en comprenant 75 (38 pitaya blanche et 37 pitaya rouge) ont été suivis durant deux saisons de floraison 1998/1999 (saison 1999) et 1999/2000 (saison 2000). Les dix tuteurs ont été tirés au hasard (voir plan de parcelle en annexe 2). Un rucher composé de 10 ruches est situé à environ 70 m à vol d'oiseau de cette parcelle.



**Figure 5** : parcelle d'essai au Cirad St-Pierre (Réunion)

<sup>1</sup> CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

## 2. Modes de pollinisation

### • Saison 1999

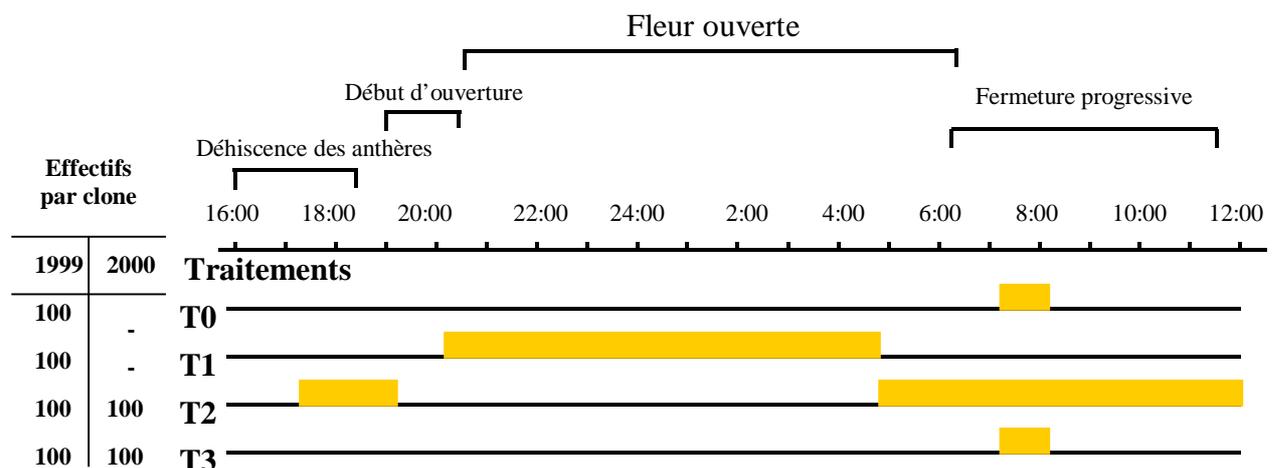
Quatre modes de pollinisation ont été étudiés durant la saison de floraison 1998/1999. Les fleurs ont été ensachées (*figure 6*) avant et après les manipulations dans un sachet en papier kraft. L'essai a été répété durant 4 vagues de floraison communes aux 2 clones (F1-1999 du 18/12/1998, F2-1999 du 30/01/1999, F3-1999 du 05/03/1999 et F4-1999 du 06/05/1999). Cinq fleurs ont été suivies par tuteur, soit 25 fleurs par clone, par traitement et par date (N : 800).

- **T0 : Autopollinisation manuelle.** Ce premier mode de pollinisation doit permettre de vérifier l'auto-incompatibilité des clones des deux espèces. Pour se faire les fleurs de ce traitement sont ensachées durant toute l'anthèse, sauf pendant l'autopollinisation manuelle.
- **T1 : Pollinisation libre nocturne.** Ce second mode doit quant à lui permettre à d'éventuels agents pollinisateurs nocturnes de réaliser une pollinisation libre, les fleurs ne sont donc pas ensachées de 20:00 (heure de l'anthèse) à 5:00 (avant le lever du soleil).
- **T2 : Pollinisation libre diurne.** Le troisième mode doit offrir la possibilité à des agents pollinisateurs diurnes de réaliser une pollinisation libre. Les fleurs ne sont ensachées que de 19:00 (coucher du soleil) à 5:00.
- **T3 : Pollinisation manuelle croisée.** Enfin, le dernier mode doit confirmer les croisements compatibles entre *H. undatus* et *H. purpusii*. Les fleurs sont donc ensachées durant toute l'anthèse, sauf pendant la pollinisation manuelle croisée.

### • Saison 2000

Les observations de la saison de floraison 1999 nous ont conduits à ne répéter que deux modes de pollinisation, T2 et T3, durant la saison de floraison 1999/2000. L'essai a donc été mené sur 5 vagues de floraison communes des 2 clones (F1-2000 du 10/12/1999, F2-2000 du 05/01/2000, F3-2000 du 01/02/2000, F4-2000 du 26/02/2000 et F5-2000 du 13/03/2000). Quatre fleurs nouées ont été suivies par tuteur soit 20 fleurs par clone, par traitement (T 2 et T 3) et par date (N : 400).

La figure 6 résume les différentes phases d'ensachage des fleurs sur la journée en fonction du mode de pollinisation et des phases d'ouverture et de fermeture de la fleur.



**Figure 6 : Modes de pollinisation par traitement** : T0 : autopollinisation manuelle ; T1 : pollinisation libre nocturne ; T2 : pollinisation libre diurne et T3 : pollinisation manuelle croisée

- Fleurs non ensachées (pollinisations libres ou manuelles)
- Périodes d'ensachage des fleurs

Le pollen nécessaire aux croisements du mode de pollinisation T3 a été prélevé à 17:00 (ouverture mécanique de la fleur) et conservé jusqu'au lendemain matin à température ambiante. Les autopollesisations manuelles et les pollinisations manuelles croisées (T0 et T3) ont été effectuées à 7:00 (le lendemain matin suivant l'anthèse).

### 3. Suivis et observations complémentaires

- *Viabilité du pollen*

La viabilité du pollen des deux clones a été vérifiée *in vitro* à trois moments différents : à la déhiscence des anthères, 17:00 ; à l'ouverture de la fleur, 20:00 et à l'heure de la pollinisation manuelle, 7:00. Les prélèvements ont été effectués durant les vagues de floraison F1-1999, F2-1999 et F3-1999. Le pollen a été étalé sur un milieu composé de 1% d'agar, 30 % de sucrose, 100ppm H<sub>2</sub>BO<sub>4</sub>, 100ppm KNO<sub>3</sub>, 100ppm MgSO<sub>4</sub> et 100ppm Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 4H<sub>2</sub>O et mis en culture à 25°C (Weiss *et al.*, 1994). Le pourcentage de germination a été relevé sous binoculaire (x40) 24 heures après et 500 grains de pollen ont été observés par répétition et par clone. Ces derniers ont été considérés comme « ayant germé » lorsque le tube pollinique mesurait deux fois le diamètre du grain de pollen (Stern et Gazit, 1998).

- *Observation des agents pollinisateurs et des conditions de pollinisation*

Des observations des éventuels agents pollinisateurs nocturnes et diurnes ont été effectuées durant les 4 vagues de floraisons de 1999 :

- Avant l'anthèse et avant le coucher du soleil, de 17:00 à 19:00, (entrouverture de la fleur).
- A l'anthèse, de 20:00 à 22:00, c'est en effet durant cette période que l'émission d'odeur (comme la sécrétion de nectar) est intense (Daubresse, 1999).
- Du lever du soleil (5:00) jusqu'à la fermeture de la fleur (11:30).

Durant la saison de floraison 2000, l'activité des abeilles a été quantifiée durant les périodes d'observation diurne et ce durant la vague de floraison F4-2000. Seules deux fleurs (1 de chaque espèce) ont pu être observées simultanément durant 6 périodes de 15 minutes : de 17:30 à 18:45 ; de 5 :15 à 5 :30 ; de 6:15 à 6:30 ; de 7:15 à 7:30 ; de 8:15 à 8:30 ; de 9:15 à 9:30. Le nombre d'entrée d'abeilles dans la fleur a été comptabilisé ainsi que le nombre de fois où le stigmate a été touché lors de ces visites. La masse florale (nombre de fleurs ouvertes simultanément) a été comptabilisée sur l'ensemble de la parcelle (75 tuteurs) et durant toutes les vagues des floraisons 1999 et 2000. Les données climatologiques (pluviométries, vents en pointe et vents moyens et températures moyennes, minimales et maximales) ont également été enregistrées grâce à une station météorologique située à la même altitude et à environ 300 mètres à vol d'oiseau de la parcelle (annexe 3).

- *Observation sur les fruits*

Durant la saison de la floraison 1999, seuls les taux de nouaison par méthode de pollinisation (T0, T1, T2 et T3) ont été notés 15 jours après la pollinisation. Durant la saison de floraison 2000, les fruits ont été récoltés et pesés individuellement 30 jours après la pollinisation (changement de couleur du fruit de vert à rouge). Le nombre de graines dans 40 fruits (4 fruits par clone et par vague de floraison prélevés au hasard) a également été compté.

L'analyse statistique a été faite dans l'hypothèse d'une distribution normale pour la variable « poids du fruit » en utilisant une analyse de variance suivie d'un test de Newman-Keuls pour la comparaison des moyennes. Afin de stabiliser la variance entre les groupes, la variable « poids » a été transformée en  $\sqrt{\text{poids}}$ . Les moyennes sont indiquées avec leur erreur standard (SE). Les valeurs sont considérées comme significativement différentes quand  $P \leq 0.05$ . Les analyses ont été réalisées sur le logiciel S.A.S.<sup>TM</sup>

### III. Résultats et discussion

#### 1. Déroulement des floraisons et des conditions de pollinisation 1999 et 2000

Les floraisons 1999 et 2000 ont toutes deux suivi un déroulement normal par rapport aux années antérieures, à savoir une floraison cyclique (une vague de floraison tous les 15 à 30 jours selon l'espèce) et étalée de novembre à mai. *Hylocereus purpusii* a compté durant ces deux années de floraison 2 vagues de floraison supplémentaires par rapport à *H. undatus* (7 vagues contre 5). La concordance parfaite des floraisons des deux espèces n'a cependant débuté qu'en décembre soit à la 3<sup>ième</sup> vague en 1999 et 2<sup>ième</sup> vague en 2000 (tableau II).

Les fleurs d'une même vague de floraison ne se sont pas toutes ouvertes le même jour mais sur 3 jours. Cependant, les fleurs s'épanouissant les premiers et troisièmes jours d'une vague de floraison sont très peu nombreuses ; 7,20 % contre 92,80 % pour le pic de floraison du deuxième jour de la vague (chiffres moyens des 9 vagues de floraison suivies). Sur ces mêmes vagues de floraison (F1 à F4-1999 et F1 à F5-2000), 1252 ( $\pm 236$ ) fleurs se sont épanouies sur 3 jours sur la parcelle d'essai (75 tuteurs). Durant les pics de floraison (qui correspond aux jours des expérimentations), la masse florale moyenne des 9 vagues a été de 1168 ( $\pm 220$ ) fleurs soit en moyenne 15.60 ( $\pm 2.95$ ) fleurs par tuteur (15.40 ( $\pm 2.95$ ) fleurs par tuteur pour la pitaya rouge contre 15.74 ( $\pm 2.95$ ) pour la pitaya blanche). La masse florale moyenne constatée en 2000 était sensiblement la même qu'en 1999. Ces floraisons simultanées, importantes et bien réparties au sein de la parcelle conjuguées à des conditions climatiques favorables ont offert, durant ces 9 vagues de floraison, des conditions idéales pour favoriser des pollinisations libres et croisées des fleurs.



Figure 7 : *H. purpusii* en fleur

**Tableau II.**

Date et concordance des différentes vagues de floraison des 2 clones d'*Hylocereus* durant les floraisons 1999 et 2000 à l'île de la Réunion.

Ordre des vagues de floraison	<i>H. undatus</i>		<i>H. purpusii</i>	
	1999	2000	1999	2000
Première vague	-	-	02/11/98	22/11/00
Deuxième vague	-	10/12/00	20/11/98	10/12/00
Troisième vague	18/12/98	05/01/00	18/12/98	05/01/00
Quatrième vague	30/01/99	01/02/00	30/01/99	01/02/00
Cinquième vague	05/03/99	26/02/00	05/03/99	26/02/00
Sixième vague	01/04/99	13/03/00	01/04/99	13/03/00
Septième vague	06/05/99	-	06/05/99	10/04/00

Durant les périodes d'observation nocturne aucun agent potentiellement pollinisateur n'a été remarqué, ni lépidoptère, ni chauve-souris pollinivore. Seules des abeilles ont été repérées durant les 2 périodes (17:00/18:45 et 5:00/11:00) d'observation diurne. La quantification de leur activité (*tableau III*) a été difficile tant elles étaient nombreuses (entre 2 et 3 visites toutes les 10 secondes aux heures les plus actives). Ces données issues d'une seule observation ne sont qu'indicatives mais renseignent cependant sur le comportement des abeilles vis à vis des fleurs de pitaya. La récolte du pollen est leur unique motivation ; elles s'avèrent d'ailleurs très efficaces puisque quelques heures après le début de leur travail tout le pollen de toutes les fleurs est récolté. Le soir avant l'anthèse, seules les fleurs de pitaya rouge sont visitées par les abeilles, dans ce cas elles rentrent en force dans ces fleurs et touchent de ce fait quasiment systématiquement le stigmate (92 %). Les fleurs de pitaya blanche ne sont pas visitées durant cette période, l'abeille n'arrivant pas à forcer la fleur. La pollinisation interspécifique libre s'avère donc impossible dans ce créneau horaire. Au petit matin, dès 5:15, les abeilles sont de nouveau actives, les fleurs des 2 espèces sont alors entrouvertes et peuvent être visitées par les abeilles. Au fur et à mesure que le pollen s'amenuise, les visites sont de moins en moins nombreuses, les dernières sont enregistrées vers 9:30. Lorsque la fleur est entrouverte, le stigmate domine alors les étamines. Cette position, favorisant l'allogamie (Pesson et Louveaux, 1984), n'est cependant pas suffisante pour permettre aux abeilles de toucher systématiquement le stigmate lors de leur visite (en moyenne seulement 20 % d'entre-elles l'ont touché lors de nos observations du lendemain de l'anthèse) ; la disproportion de l'abeille par rapport à la fleur explique probablement cela (*figure 8*).



**Figure 8** : *Apis mellifera* dans fleur *H. purpusii*

**Tableau III.**

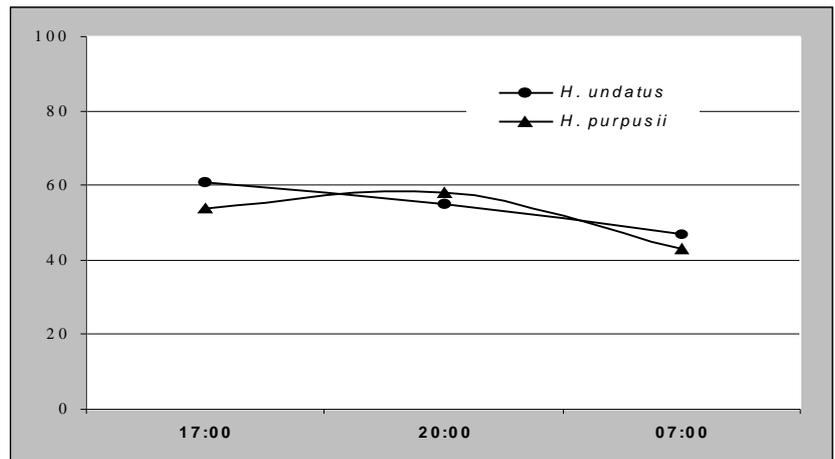
Nombre d'entrées d'abeilles à différentes heures de la journée du 26/02/2000 dans deux fleurs d'*Hylocereus* à l'île de la Réunion.

Heures d'observation	<i>H. undatus</i>		<i>H. purpusii</i>	
	Nombre de visites	Stigmate touché <sup>1</sup>	Nombre de visites	Stigmate touché <sup>1</sup>
17:30 / 18:45	0	-	396	92 %
5:15 / 5:30	357	14 %	325	18 %
6:15 / 6:30	312	28 %	201	24 %
7:15 / 7:30	102	24 %	52	11 %
8:15 / 8:30	158	20 %	6	33 %
9:15 / 9:30	32	40 %	0	-

<sup>1</sup> Pourcentage d'abeilles ayant touché le stigmate lors de la visite de la fleur

## 2. Auto-incompatibilité et viabilité du pollen

Les deux clones de pitaya rouge et blanche étudiés sont auto-incompatibles. En effet, aucune fécondation n'a été observée sur les 200 autopollinisations (T0) effectuées en 1999. De même, cette auto-incompatibilité n'est pas due à une stérilité de leur pollen. En effet, la viabilité du pollen in vitro a été satisfaisante et ce quelle que soit l'heure de prélèvement de ce dernier (figure 9). Les taux de germination sont respectivement et en moyenne (F1-1999, F2-1999 et F3-1999) de 61% à 17:00, de 55% à 20:00 et de 47% à 7:00 pour *H. undatus* et de 54% à 17:00, de 58% à 20:00 et de 43% à 7:00 pour *H. purpusii*. L'improductivité naturelle de ces deux clones d'*Hylocereus* sur l'île de la Réunion semble bien liée à l'absence d'un pollinisateur efficace.



**Figure 9** : Taux de germination moyen (en %) in vitro de grain de pollen de 2 clones d'*Hylocereus* prélevé à 3 heures différentes de la journée.

## 3. Incidence du mode de pollinisation sur la fécondation et sur le poids du fruit

### • Saison 1999

Aucune fécondation liée à une pollinisation libre nocturne (T 1) n'a été observée durant la saison de floraison 1998/1999 (tableau IV). Seules les pollinisations libres diurnes (T 2) et manuelle (T 3) ont été fructueuses. Les taux de nouaison en fonction du traitement ont cependant varié, ils ont été en moyenne et respectivement, sur les 4 vagues de floraisons suivies, de 76 % pour *H. purpusii* et de 82 % pour *H. undatus* en pollinisation libre diurne (T 2) contre 100 % pour les deux espèces en pollinisation manuelle croisée (T 3). Les taux de nouaison plus faibles des vagues F2 à F4-1999 par rapport à F1-1999 peuvent peut-être s'expliquer par des conditions climatiques moins bonnes et plus précisément des précipitations plus importantes enregistrées ces jours là. Il existe bien une relation étroite entre les visites de ces abeilles mellifères et la pollinisation des *Hylocereus*, fait déjà observé par d'autres auteurs (Weiss et al., 1994 ; Nerd et Mizrahi, 1997). L'intérêt des abeilles sur la fécondation des espèces fruitières n'est plus à démontrer (Pesson et Louveaux, 1984; Vaissière et al., 1990), mais leur efficacité est cependant toujours plus difficile à mesurer. Les résultats obtenus durant la saison 2000 apportent quelques éléments de réponse pour les clones d'*Hylocereus* présents sur l'île de la Réunion.

**Tableau IV.**

Taux de nouaison de 2 clones de pitaya en fonction du mode de pollinisation (libre ou contrôlé) et durant 4 vagues de floraison à l'île de la Réunion en 1999.

Vagues de floraison	<i>H. undatus</i>				<i>H. purpusii</i>			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
<b>F1-1999</b>	0	0	93 %	100 %	0	0	87 %	100 %
<b>F2-1999</b>	0	0	75 %	100 %	0	0	78 %	100 %
<b>F3-1999</b>	0	0	86 %	100 %	0	0	64 %	100 %
<b>F4-1999</b>	0	0	74 %	100 %	0	0	75 %	100 %
<b>Moyenne</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>82 %</b>	<b>100 %</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>76 %</b>	<b>100 %</b>

T1: autopolinisation manuelle, T2: poll. libre nocturne, T3: poll. libre diurne et T4: poll. croisée manuelle

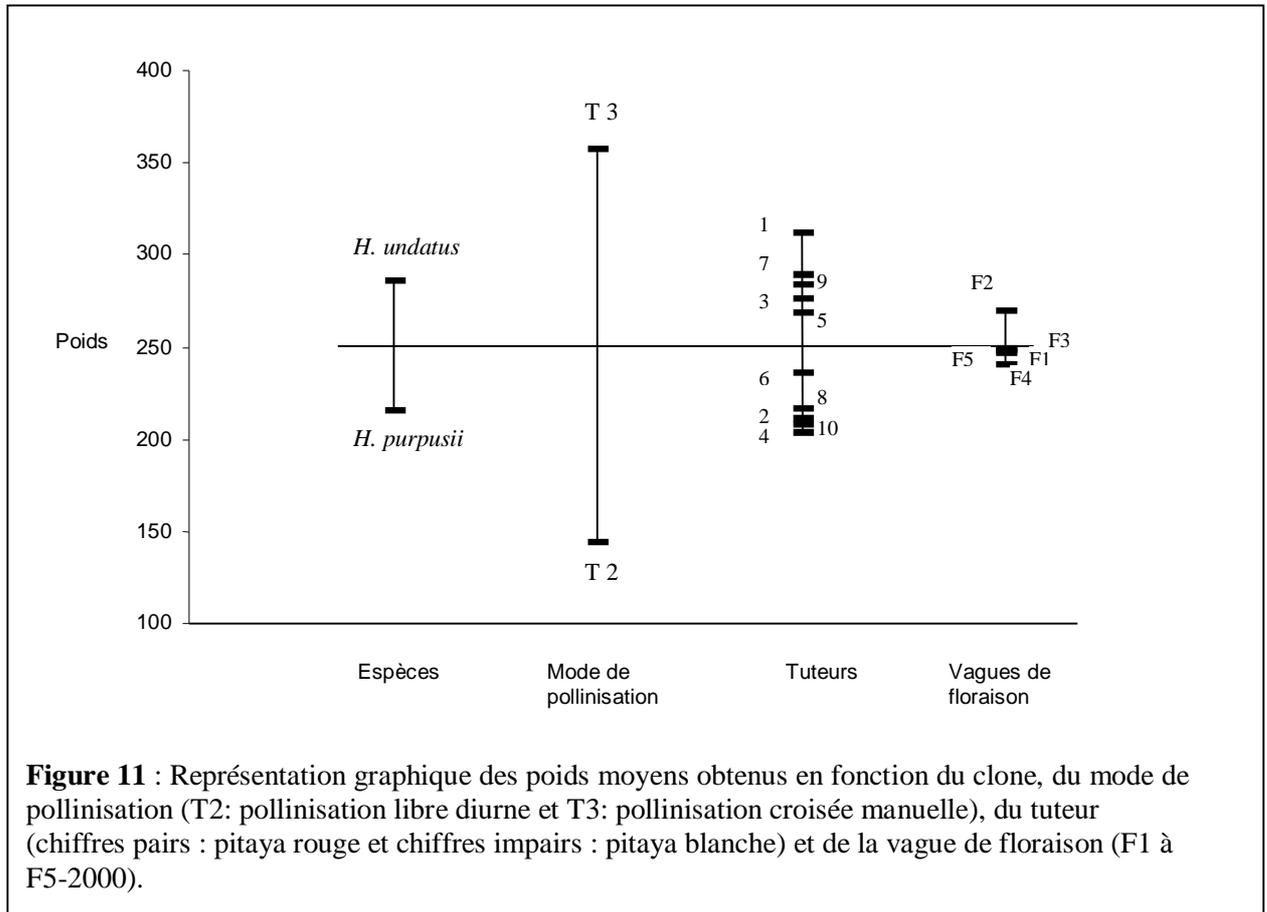
- *Saison 2000*

Même si les abeilles ont joué, durant la saison de floraison 2000, un rôle non négligeable dans la fécondation des deux clones d'*Hylocereus* étudiés, les fruits résultants de ces pollinisations libres (T 2) sont cependant de poids moindre et significativement différents ( $P: 0.0001$ ) de ceux issus d'une pollinisation manuelle croisée (T 3) ;  $144 \pm 62\text{g}$  contre  $358 \pm 111\text{g}$  pour les deux espèces confondues. Les pollinisations libres et interspécifiques ont été permises d'une part par une intensité de floraison importante et simultanée, et d'autre part grâce à la proximité (plantation mixte et intercalée) des deux clones proches d'un rucher ; les fruits provenant de ces pollinisations libres sont cependant trop petits et ne répondent pas aux exigences commerciales de pitayas de qualité (Le Bellec *et al.*, 1997).

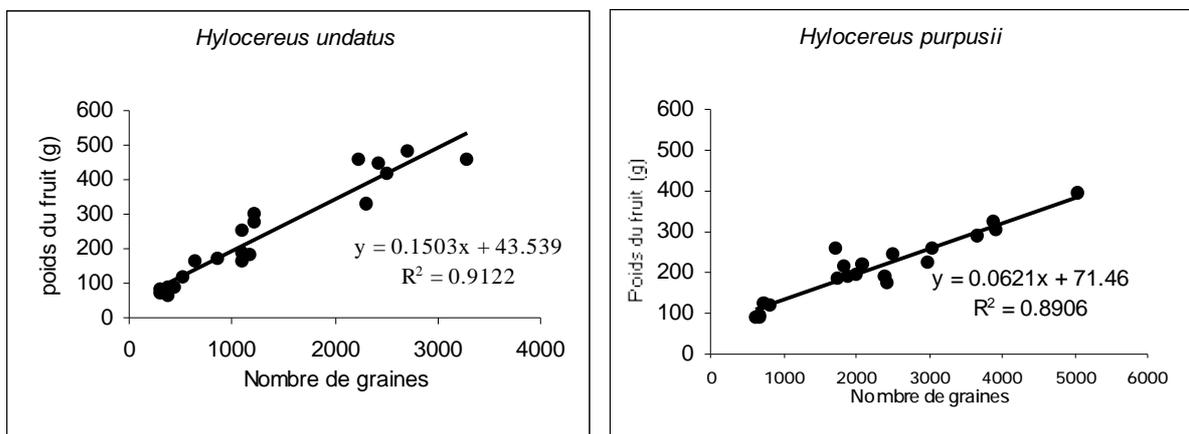
Les différences de poids moyens des fruits obtenues en fonction du mode de pollinisation, s'observent, dans les mêmes proportions, sur les deux espèces et ce malgré une différence significative ( $P: 0.0001$ ) entre *Hylocereus undatus* et *H. purpusii*. Ainsi, les gains de poids (efficacité relative) de la pollinisation manuelle par rapport à la pollinisation libre sont respectivement de 56 % pour *H. purpusii* (T 2 :  $131 \pm 46\text{ g}$  contre T 3 :  $300 \pm 82\text{ g}$ ) et de 62 % pour *H. undatus* (T 2 :  $157 \pm 73\text{g}$  contre T 3 :  $416 \pm 106\text{g}$ ). Ces différences s'observent durant les 5 vagues de floraison (poids moyens de F1 à F 5-2000 non différents,  $P: 0.1916$ ), et indifféremment sur tous les tuteurs ( $P: 0.2936$ ) ; ces poids moyens sont liés à l'espèce.



**Figure 10** : Fruits d'*H. undatus*, à gauche fruit résultant d'une pollinisation libre ; à droite d'une pollinisation manuelle.



L'efficacité limitée des abeilles à polliniser les fleurs d'*Hylocereus* ne semble pas liée à un nombre de visites insuffisant mais plutôt à la disproportion de l'abeille par rapport à la fleur. Cette hypothèse est renforcée par la très bonne corrélation existante entre le poids du fruit et son nombre de graines, dépendant lui-même du nombre d'ovules fécondés (donc de l'intensité de pollinisation). Le nombre de graines par fruit a en effet permis d'expliquer pour *Hylocereus undatus* et *H. purpusii* respectivement 91 % et 89 % de la variance observée au niveau du poids de ces fruits (figure 12).



**Figure 12 :** Corrélation entre le poids d'un fruit d'*H. undatus* ou d'*H. purpusii* et son nombre de graines, indépendamment du mode de pollinisation.

## IV. Conclusion

L'improductivité naturelle des deux clones d'*Hylocereus* étudiés est bien due à leur auto-incompatibilité. Cette propriété florale peut cependant être surmontée car la pollinisation croisée de ces deux clones (croisement interspécifique) est possible et fructueuse.

Une plantation mixte des deux clones aurait pu offrir toutes les conditions nécessaires à des pollinisations libres et croisées. Malheureusement, les pollinisateurs généralement inféodés aux *Hylocereus* n'ont jamais été observés lors des expérimentations. Seules les abeilles mellifères ont porté un intérêt aux fleurs des deux clones. Ces pollinisateurs avaient déjà été observés sur ces espèces (Weiss et al., 1994), mais leur rôle réel n'avait cependant pas été démontré. Malgré des visites répétées dans les fleurs, la petite taille des abeilles par rapport à la fleur les empêche d'être un bon pollinisateur pour les *Hylocereus*.

En effet, le poids d'une pitaya dépend de son nombre de graines qui lui-même dépend du nombre de grains de pollen déposés sur le stigmate de la fleur ; moins le stigmate reçoit de pollen compatible moins le fruit sera lourd.

La fécondation optimale de ces deux clones a été obtenue, lors de notre expérimentation, par la pratique d'une pollinisation manuelle interspécifique. Cette dernière détermine la quantité de fruits produits (taux de nouaison de 100 %) mais permet également d'augmenter très significativement les rendements avec notamment un gain de productivité de près de 60 % par rapport à une pollinisation libre. De plus, les fruits provenant d'une pollinisation libre sont trop petits pour présenter un réel débouché commercial.

Finalement, seule une pollinisation croisée et manuelle peut permettre aux deux clones d'*Hylocereus* présents sur l'île de la Réunion de produire des fruits de qualité. Nous proposons donc un itinéraire technique adapté aux conditions réunionnaises.

Les caractéristiques florales et plus précisément l'auto-incompatibilité des deux *Hylocereus* cultivés sur l'île de la Réunion vont conditionner étroitement l'itinéraire technique de pollinisation/production développé dans ce chapitre. Cependant, d'autres paramètres vont l'influencer et leur prise en compte sera indispensable afin d'optimiser la fécondation de ces espèces pour une plantation commerciale.

### 1. Décalage des floraisons des deux espèces

Le décalage de floraison des deux espèces constitue sans doute une des contraintes majeures, observée dès 1993 (Le Bellec). Ces décalages de floraison peuvent être observés entre deux vagues de floraison (*H. purpusii* fleurit plus tôt mais aussi plus tard dans la saison que *H. undatus*) mais aussi au sein d'une même vague de floraison (précocité d'un ou deux jours). Compte tenu de l'auto-incompatibilité des deux clones, ces décalages peuvent avoir de graves conséquences notamment sur la productivité de la plantation car si les croisements manuels interspécifiques sont effectivement sûrs, l'absence de pollen au jour de la floraison les interdira. La conservation du pollen, l'augmentation de la diversité génétique et le déclenchement des floraisons peuvent répondre à ces problèmes de décalage de floraison de ces deux espèces et ont été étudiés.

- *La conservation du pollen*

La conservation de pollen d'une vague de floraison à l'autre ou durant quelques jours durant une vague de floraison peut permettre de réduire le nombre de fleurs non fécondées. Il est possible de conserver le pollen de ces deux espèces jusqu'à 5 jours à température ambiante (ou mieux à +4°C), sans que cela ne compromette le succès de la fécondation ou la qualité des fruits (Le Bellec et Judith, 1999). Cette durée de conservation peut être beaucoup plus longue (de 3 à 9 mois) si le pollen est conservé à - 18 °C, avec une phase préalable de dessiccation (Metz *et al.*, 2000). L'appropriation par l'agriculteur de ces conditions de conservation suppose une organisation mais permet de résoudre le problème.

- *Diversité génétique*

Un travail de collecte de matériel végétal a été effectué sur l'île afin de trouver localement d'autres clones. Parallèlement, à cette prospection, des semis de graines des premiers fruits issus de croisements interspécifiques (*H. undatus* x *H. purpusii*) ont été effectués dans un but d'élargissement de la diversité génétique du genre *Hylocereus*. Ces démarches se sont soldées d'une part par la sélection d'un autre clone d'*H. undatus* et d'autre part par l'obtention d'une multitude d'hybrides. L'autre clone d'*H. undatus* a été trouvé sur la commune de Grand-Bois (Petit-île, au sud de l'île), et sa différenciation (par ses tiges ou même ses fleurs) est quasiment impossible par rapport au clone auto-incompatible. Il présente par contre un caractère d'auto-compatibilité. Cette qualité incontestable est malheureusement atténuée par la médiocrité de la qualité de ses fruits lorsqu'ils sont issus d'une autopolinisation (mauvaise texture de la chair) (Le Bellec et Judith, 1999). La floraison de ce clone suit le même cycle que celui du clone auto-incompatible, l'intérêt de ce clone est donc très limité et il convient même de proscrire sa plantation (risque de production de fruit de mauvaise qualité). Parmi les nombreux hybrides obtenus une dizaine d'entre eux a été sélectionnée<sup>2</sup>. Ils sont tous auto-incompatibles mais présentent l'avantage de pouvoir féconder leurs parents (ce croisement est aussi réciproque). De plus, plusieurs de ces hybrides ont un comportement floral identique à celui d'*H. purpusii*, ce qui permet de féconder les premières fleurs des vagues de floraison de cette espèce. Ces acquis permettent de répondre partiellement à la problématique.



**Figure 13** : différents hybrides d'*H. undatus* x *H. purpusii* (photo : B. Augais LEGTA St Paul)



**Figure 14** : Un hybride avec ses parents (*H. undatus* x *H. purpusii*)

<sup>2</sup> Les fruits de ces hybrides ont tous une chair rouge, comme *H. purpusii* ; la forme extérieure est par contre plus variable (voir figure 13).

- *Déclenchement des floraisons*

Le déclenchement de floraisons par pulvérisation de nitrate de potasse (KNO<sub>3</sub>), réalisé avec succès au Vietnam sur *Hylocereus* (Nguyen, 1996) et sur manguier en Guadeloupe (Lyannaz, 1994), a été testé à la Réunion en 1996 et 1997 sur les deux clones d'*Hylocereus* étudiés. Ces essais n'ont donné aucun résultat car aucune floraison déclenchée n'a été observée (Le Bellec et Judith, 1999). Une autre voie, non chimique, pourrait être explorée : il s'agirait d'influer sur les longueurs de jour (flash de lumière en pleine nuit), cette technique est aujourd'hui utilisée avec succès sur *Hylocereus undatus* par les agriculteurs vietnamiens (Cao Van, communication personnelle). La difficulté principale de ces déclenchements de floraison artificiels est de cibler le moment d'intervention idéal ; il est donc, pour cette raison, indispensable de connaître parfaitement le cycle phénologique de la plante et de le relier aux conditions écologiques.

## 2. L'itinéraire technique de fécondation des *Hylocereus*

- *Conditions élémentaires de réalisation*

La fécondation des *Hylocereus* à des fins de production de pitayas de qualité impose quelques préalables à sa réalisation :

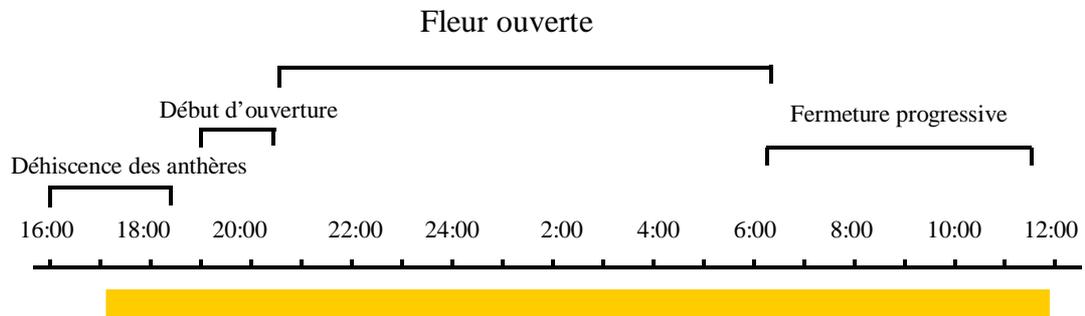
**Plantation multivariétale :** Le verger devra être composé d'au moins 3 variétés d'*Hylocereus* : *H. undatus* 'auto-incompatible', *H. purpussi* 'auto-incompatible' et un hybride (*H. undatus* x *H. purpussi*). Cette composition permet d'une part, de réduire les risques de décalage de floraison liés notamment à l'écologie et d'autre part, de disposer sur place de pollen nécessaire à la pollinisation.

**Pollinisations croisées obligatoires :** L'auto-incompatibilité des clones cultivés exige de réaliser des pollinisations croisées, il convient de composer avec les variétés cultivées (*H. undatus*, *H. purpusii* et le groupe des hybrides) sachant que tous les croisements sont possibles.

**Disponibilité de pollen au jour de la pollinisation :** Dans le cas où les floraisons entre les différents clones ne seraient pas décalées, il convient de prélever et de conserver (à température ambiante ou au réfrigérateur) le pollen de chacun des clones dès 16:00 (*figure 15*). Si cette précaution n'est pas prise, les abeilles risquent d'empêcher cette pollinisation manuelle dans la mesure où elles auront récolté la totalité du pollen nécessaire à cette pratique. Dans le cas de floraisons totalement décalées, la conservation du pollen d'une vague de floraison à l'autre peut être envisagée.

**Choix de l'heure :** La pollinisation manuelle est possible de 16:00 à 12:00 (*figure 15*), le créneau horaire 9:00 / 11:00 est à privilégier, d'une part parce que les fleurs sont entrouvertes ce qui facilite la pratique de la pollinisation et d'autre part, pour intervenir après l'activité des abeilles car lorsqu'elles sont très nombreuses ces dernières peuvent même récolter le pollen déposé sur le stigmate lors de la pollinisation manuelle.

**Climatologie :** Il est inutile de pratiquer cette pollinisation lors d'une pluie importante, le pollen serait « lessivé » et sa germination compromise.



**Figure 15 :** Cycle floral d'*Hylocereus* sp. à l'île de la Réunion.

 Créneau horaire de pollinisation manuelle.

- *La pratique proprement dite*

**Préparation du pollen :** Le pollen est prélevé dans des fleurs matures à partir de 16:00 (4 heures avant l'anthèse), ces fleurs sont facilement reconnaissables car elles laissent entrevoir dès 12:00 (8 heures avant l'anthèse) leurs pétales blancs. Cette opération doit être réalisée au sec sinon le pollen récolté s'agglomérerait au contact de l'eau. Il suffit d'entrouvrir la fleur, de la renverser au-dessus d'une feuille de papier et de la tapoter légèrement. L'intérieur de la fleur peut être brossé à l'aide d'un gros pinceau afin de faire tomber le pollen adhérant aux pétales. Le pollen est ensuite mis dans une boîte fermée et stocké jusqu'à la pollinisation. Le pollen prélevé dans une fleur permet de polliniser 50 fleurs environ.

**La pollinisation :** Si la pollinisation est pratiquée avant l'anthèse de la fleur, il convient alors d'entrouvrir mécaniquement cette dernière. Un pincement sur la partie bombée de la fleur suffit généralement à faire sortir le stigmate. Ce dernier est ensuite badigeonné de pollen compatible à l'aide d'un pinceau à poils souples. Seule cette dernière manipulation est nécessaire lorsque la pollinisation est effectuée le matin suivant l'anthèse (fleur entrouverte).

**La gestion des fécondations et de la production :** Hors accident climatique majeur (et plus particulièrement des pluies diluviennes), la pollinisation manuelle est sûre à 100 %. De plus, sa pratique assure une production de pitayas de qualité en terme de calibre si la charge totale en fruits n'est pas excessive. Il convient donc de maîtriser cette charge et notamment de répartir les pollinisations sur la plante et d'une vague de floraison à l'autre. Lorsque la floraison est importante, il est, par exemple, indispensable de limiter le nombre de fleurs pollinisées (pollinisation d'une fleur sur deux lorsqu'elles sont proches) ; la fleur non pollinisée est alors coupée car elle a pu être pollinisée par les abeilles et conduirait à une production d'une pitaya non conforme aux exigences de qualité. Enfin, un autre intérêt indirect de cette pratique est la facilité de prévision de récolte ; il suffit en effet de noter le jour de la pollinisation et d'y ajouter 30 jours pour connaître la date de récolte (Le Bellec et Judith, 1999).

**L**es pollinisations croisées et manuelles entre *H. undatus*, *H. purpusii* et leurs hybrides rendent désormais possible la production de pitaya de haute qualité à la Réunion. Cependant, même si ces pratiques ont permis de surmonter les obstacles à la production initiaux liés à l'auto-incompatibilité des clones cultivés, ces seules connaissances techniques s'avèrent insuffisantes pour imaginer la diffusion de cette nouvelle culture auprès des agriculteurs.

En effet, la culture d'une nouvelle espèce végétale n'est pas sans contrainte et les causes entraînant des échecs d'appropriation peuvent être nombreuses : problèmes agronomiques, phytosanitaires, d'adaptation écologique, de débouchés commerciaux, etc. Dans ces conditions, une approche pluridisciplinaire semblait indispensable pour réussir l'accompagnement de cette nouvelle culture fruitière à la Réunion.

Le dernier chapitre de cette étude, publié dans la revue *Fruits*, décrit la stratégie d'accompagnement de cette nouvelle culture fruitière à la Réunion mais précise également pourquoi et comment ce nouveau fruit a été choisi parmi d'autres espèces, et finalement comment tous les acteurs de la filière (du producteur au consommateur, en passant par le vendeur) se sont appropriés ce nouveau fruit qui leur était totalement inconnu quelques années plus tôt.



## Chapitre III

### La pitaya (*Hylocereus* sp.) en culture de diversification

#### à l'île de la Réunion :

#### stratégie d'accompagnement de son développement



Vente directe de pitaya à Saint-Leu (Réunion, 03/2003)

## Chapitre III

### La pitaya (*Hylocereus* sp.) en culture de diversification à l'île de la Réunion : stratégie d'accompagnement de son développement

F. Le Bellec <sup>a</sup> et R.C. Judith <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Cirad-Flhor – Station de Neufchâteau – 97130 Capesterre B/E – Guadeloupe, France

<sup>b</sup> Cirad-Flhor – B.P. 180 - 97455 Saint-Pierre cedex – Ile de la Réunion, France

*Fruits*, 2002, vol. 57, p. 219-230

#### **The pitaya (*Hylocereus* sp.) as a diversification crop in Reunion: strategy of its development accompaniment.**

**Abstract – Fruit-bearing plant heritage of Réunion.** Among nearly 138 fruit-bearing species which make up the fruit plant heritage of Réunion, only some are actually cultivated. However, some others could attract avid consumers of new products. **Criteria of preselection for a diversification crop.** Considering this report, a preselection was carried out in order to identify new fruit-bearing species able to be used as a diversification crop in Réunion; the selection criteria were: the attractiveness of the fruit, its convenience for being consumed, its taste, the conditions for its storage, the profitability of the species, etc. The pitaya (*Hylocereus* sp.) was then retained. This choice was then validated by a fruit consumption survey on Réunion consumers. Development of the pitaya in Réunion. The development of this new crop was carried out in tree stages: identification of the agronomic constraints related to the intensification of this cultivation and the search for solutions; acquisition of the basic farming techniques and sensitizing of the general public; the taking into account for the farmers' constraints, and the commercial accompaniment for the new product. Conclusions. The commercial quality of the pitaya due to its attractive color and shape, the consumers' enthusiasm and the farmers' motivation towards this new species make H. Sp. A real opportunity for diversification for Réunion whereas, 7 years ago, the fruit of this species was completely unknown on this island.

**Réunion / *Hylocereus* / diversification / agricultural development / crop management / farmers / merchants / consumer surveys**

#### **La pitaya (*Hylocereus* sp.) en culture de diversification à la Réunion : stratégie d'accompagnement de son développement.**

**Résumé – Le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion.** Parmi les quelques 138 espèces fruitières qui composent le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion, seules quelques-unes d'entre-elles sont véritablement cultivées. Pourtant, certaines autres pourraient séduire les consommateurs avides de nouveauté. **Critères de présélection pour une culture de diversification.** Face à ce constat, une présélection a été réalisée afin d'identifier des espèces fruitières nouvelles, candidates à la diversification pour l'île de la Réunion. Les critères de choix ont été : l'attractivité du fruit, sa commodité à être consommé, son goût, son aptitude à sa conservation, la rentabilité de l'espèce, etc. La pitaya (*Hylocereus* sp.) a alors été retenue.

Ce choix a ensuite été validé par une enquête auprès des consommateurs réunionnais. **Développement de la pitaya à l'île de la Réunion.** Le développement de cette nouvelle culture a été réalisé en trois étapes : identification des contraintes agronomiques liées à l'intensification de cette culture et recherche de solutions ; acquisition des techniques culturales de base et sensibilisation du grand public ; prise en compte des contraintes des agriculteurs et accompagnement commercial du nouveau produit. **Conclusion.** Les qualités commerciales de la pitaya (couleur et forme attrayantes), l'enthousiasme des consommateurs et la motivation des agriculteurs envers cette nouvelle espèce font de *H. sp.* une véritable opportunité de diversification pour l'île de la Réunion alors que, il y a 7 ans, le fruit de cette espèce était totalement inconnu sur l'île.

**Réunion / *Hylocereus* / diversification, développement agricole / conduite de la culture / agriculteur / négociant / enquête auprès des consommateurs**

## I. Le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion

Presque toutes les espèces fruitières présentes aujourd'hui à la Réunion y ont été introduites. Les premières introductions ont débuté dès la fin XVI<sup>ième</sup> [1, 2] et d'autres ont suivi jusqu'à nos jours. Un inventaire récent a permis de répertorier près de 138 espèces fruitières différentes [3]. Si ce patrimoine peut sembler conséquent, toutes ces espèces n'ont pas pour autant aujourd'hui la même importance. Trois groupes ont pu être identifiés : les espèces cultivées à des fins commerciales, les espèces naturalisées et/ou acclimatées et enfin les autres espèces de jardins peu ou pas développées.

Le premier groupe est représenté par cinq productions principales : l'ananas, la mangue, le litchi, la banane et les agrumes. Jusqu'ici considérées comme des cultures d'appoint, ces productions s'apparentent aujourd'hui à de véritables filières. Les espèces naturalisées et acclimatées représentent quant à elles près d'un quart du patrimoine. Leurs fruits peuvent jouer un rôle non négligeable sur les marchés, c'est le cas par exemple du goyavier-fraise (*Psidium cattleianum*), du nèflier du Japon (*Eriobotrya japonica*), du jacquier (*Artocarpus heterophyllus*), du longani (*Nephelium longan*) ou de la pomme cannelle (*Annona squamosa*). Leur approvisionnement est difficilement contrôlable car, bien souvent, il provient de cueillettes. Ces espèces naturalisées sont aussi parfois devenues envahissantes vis à vis des plantes indigènes [4], c'est le cas notamment de la vigne marronne (*Rubus alcefolius*), du jamrosade (*Syzygium jambos*) ou encore du goyavier-fraise (*Psidium cattleianum*).

Le reste du patrimoine fruitier, qui en représente la plus grande part, correspond aux espèces cultivées dans les jardins. Depuis une quinzaine d'années, les collectivités réunionnaises ont consenti un effort certain pour réhabiliter l'ensemble de ce patrimoine par le financement de plantations. De plus, l'essor touristique que connaît la Réunion depuis quelques années incite les agriculteurs à promouvoir une agriculture de service, notamment par le développement des fermes/auberges. Le verger créole prend alors toute son importance et devrait permettre de valoriser une partie de la diversité du patrimoine fruitier soit par une consommation en direct du producteur au consommateur (fermes/auberges), soit par la mise en marché d'espèces fruitières, populaires ou non, jusqu'alors peu ou pas cultivées. Dans ce contexte, une démarche a été adoptée à l'île de la Réunion pour sélectionner, développer et accompagner une nouvelle espèce fruitière, la pitaya (*Hylocereus sp.*). La synthèse présentée explique pourquoi l'espèce a été sélectionnée parmi une vingtaine d'autres, quand et comment le producteur a pu être impliqué pour son développement et quelles ont été les démarches d'accompagnement technique et commercial de cette culture fruitière jusqu'alors inconnue dans l'île. La prise en compte de ces différents aspects de la démarche est apte à conditionner étroitement la réussite d'une opération

de diversification car les causes d'échecs et de succès de telles expériences peuvent être nombreuses [5-8]: nature des débouchés commerciaux, relation et compétition entre les cultures pivot et cultures de diversification, acquisition des compétences culturelles par le producteur, problème d'adéquation au marché, adaptation écologique de l'espèce, problèmes agronomiques, etc. En effet, le lancement d'une culture nouvelle n'est pas sans contraintes et leur anticipation grâce à une approche pluridisciplinaire est probablement la clé d'une diversification réussie.

## II. Critères de pré-sélection

Partant du constat qu'il existait déjà, à l'île de la Réunion, une grande diversité de fruits de forme, goûts et couleurs différents, il n'était donc pas nécessaire d'introduire un hypothétique nouveau fruit, mais bien d'évaluer les potentialités de certains fruits sous utilisés ; ces espèces présentaient en outre l'avantage d'être déjà acclimatées aux conditions pédoclimatiques de l'île.

Un premier criblage du patrimoine fruitier réunionnais a permis d'identifier près d'une centaine d'espèces manifestement insuffisamment développées dans l'île. Une présélection a ensuite été réalisée afin d'identifier des espèces fruitières nouvelles candidates à la diversification [9]. Une approche basée sur les exigences des divers acteurs de la filière a été retenue. Elle s'est nécessairement basée en priorité sur les critères de choix du consommateur (*tableau V*) avant d'être affinée par la prise en compte des critères du vendeur puis du producteur (*tableau VI*). Ainsi ont été considérés :

- pour le consommateur, l'attractivité du nouveau fruit évalué au travers de sa forme, de sa couleur, de son goût (bon équilibre sucre/acidité, aptitude à désaltérer) et de sa facilité à être consommé ;
- pour le vendeur, l'intérêt du nouveau fruit au travers de sa durée de vie sur les rayons, de ses possibilités de conservation et de la régularité de son approvisionnement (soit tout au long de l'année, soit saisonnier). Si des solutions techniques peuvent être envisagées pour pallier d'éventuelles lacunes à ce niveau, elles sont coûteuses.
- pour l'agriculteur, la rentabilité de la nouvelle culture assurée par une culture aisée et une mise à fruit rapide (retour sur investissement). C'est en fait à ce producteur que reviendra finalement la décision de développer ou pas une nouvelle espèce, en se guidant sur la possibilité d'intégrer cette culture dans son système d'exploitation et sur la capacité de l'espèce à s'adapter à son environnement.

Après une présélection basée par anticipation sur les exigences émanant à la fois du consommateur, du vendeur et de l'agriculteur, les choix devront être ensuite confrontés et validés par le grand public. En s'appuyant sur de telles considérations, 21 espèces présentes à l'île de la Réunion (*tableau VI*) auraient pu séduire le consommateur, mais seulement 8 d'entre elles ayant atteint une note finale supérieure ou égale à 12 se sont révélées susceptibles de satisfaire également les exigences du vendeur et du producteur : *Cyphomandra betacea* (tamarillo), *Diospyros kaki* (kaki) *Fortunella sp.* (kumquat), *Hovenia dulcis* (raisin de Chine), *Hylocereus sp.* (pitaya), *Manilkara zapota* (sapotillier), *Passiflora ligularis* (grenadelle) et *Physalis peruviana* (physalis). Finalement, comme il semblait difficile d'accompagner le développement de ces huit espèces de front, seule l'une d'entre-elles a été retenue : la pitaya. La forme nouvelle du fruit, ses couleurs attrayantes, la rapidité de mise à fruit de la plante et les bonnes aptitudes de conservation du fruit ont motivé cette sélection.

**Tableau V**

Schématisation de la méthode utilisée à l'île de la Réunion pour présélectionner les espèces fruitières intéressantes à développer dans le cadre d'une démarche de diversification à partir des critères propres au consommateur.

Etape	Patrimoine fruitier considéré	Critères appliqués	Espèces fruitières retirées
1 <sup>er</sup> criblage	138 espèces acclimatées	Espèces déjà exploitées dites «espèces économiques»	Manguier, papayer, oranger, etc.
2 <sup>e</sup> criblage	100 espèces sous-utilisées	Note <sup>1</sup> du consommateur sur trois caractères : attractivité, goût, facilité de consommation	Toutes les espèces dont la note globale est inférieure à 5 (voir tableau II).

<sup>1</sup> La notation de chacun des trois caractères se fait selon le barème suivant : 0, le fruit ne répond pas au critère ; 1, le fruit répond en partie au critère ; 2, le fruit répond au critère.

**Tableau VI.**

Liste des espèces fruitières intéressantes à développer dans le cadre d'une démarche de diversification à l'île de la Réunion après présélection sur des critères propres au consommateur et prise en compte des critères du vendeur et du producteur (0, le fruit ne répond pas au critère ; 1, le fruit répond en partie au critère ; 2, le fruit répond au critère).

Espèces sélectionnées par le consommateur	Note globale du consommateur (voir <i>tableau I</i> ) (N <sub>cons</sub> )	Critères et notes du vendeur (N <sub>vend</sub> )			Critères et notes du producteur (N <sub>prod</sub> )			Note globale N <sub>cons</sub> + N <sub>vend</sub> + N <sub>prod</sub>
		Fragilité	Conser- vation	Approvis. (calendrier austral)	Précocité Mise à fruit	Rusticité	Adapta. écologique ( <sup>1</sup> )	
<i>Annona cherimolia</i>	5	1	1	hiver	2	1	C	10
<i>Annona reticulata</i>	5	1	1	hiver	2	1	B/D	10
<i>Annona squamosa</i>	5	1	1	été	2	1	A	10
<i>Averrhoa carambola</i>	5	1	1	été	1	2	B/D	10
<i>Cereus hexagonus</i>	5	1	1	été	2	2	A/D	11
<i>Chrysophyllum cainito</i>	5	1	1	été	1	1	D/B	9
<i>Cyphomandra betacea</i>	6	2	2	année	2	2	C	14
<i>Diospyros kaki</i>	6	2	1	hiver	1	2	C	12
<i>Eriobotrya japonica</i>	6	0	1	hiver	2	1	C	10
<i>Eugenia brasiliensis</i>	5	0	1	été	1	1	D/B	8
<i>Euphoria longan</i>	5	2	1	été	1	2	D/B	11
<i>Fortunella</i> sp.	6	2	2	hiver	2	1	D/C	13
<i>Hovenia dulcis</i>	6	2	2	hiver	1	2	D/C	13
<i>Hylocereus</i> sp.	6	2	2	été	2	1	D	13
<i>Manilkara sapota</i>	6	2	1	été	1	2	B/D	12
<i>Passiflora ligularis</i>	5	2	2	hiver	2	2	C	13
<i>Physalis peruviana</i>	6	1	2	année	2	2	C	13
<i>Psidium cattleianum</i>	5	0	1	année	2	1	D/B	9
<i>Psidium guajava</i>	5	0	1	année	2	1	A/D	9
<i>Syzygium jambos</i>	5	1	1	été	2	2	B/D	11
<i>Ziziphus jujuba</i>	5	2	1	hiver	1	1	A/D	10

<sup>1</sup> Adaptabilité écologique [10] : A : zone écologique chaude et sèche, B : zone écologique chaude et très humide, C : zone écologique d'altitude et D : zone écologique chaude et humide.

### III. La pitaya à l'île de la Réunion

Originnaire d'Amérique Latine, la pitaya (genre *Hylocereus*) n'est cultivée à grande échelle que dans peu de pays (Colombie, Costa Rica, Nicaragua et Vietnam). Ailleurs, la pitaya est considérée comme une culture nouvelle prometteuse [11-13]. L'introduction d'*Hylocereus undatus* Britt. & Rose, la pitaya à chair blanche, sur l'île de la Réunion est ancienne ; l'espèce y est aujourd'hui naturalisée sur tout le littoral [14] (figure 16). La plante est populaire : elle sert de nourriture aux tortues terrestres et les racines sont utilisées en médecine traditionnelle [15]. Une autre pitaya, *Hylocereus purpusii* Britt. & Rose à chair rouge est également répertoriée sur l'île bien que moins représentée.



Figure 16. Naturalisation d'*H. undatus* à l'île de la Réunion

Les fruits de ces deux espèces, sont quant à eux inconnus des réunionnais [16] ; la production naturelle de fruit y étant quasi inexistante. L'auto incompatibilité [17] des clones de ces deux espèces présentes, conjuguée à une absence de pollinisateurs efficaces, semblent être responsables de cette improductivité.

En 1994, la pitaya est un fruit inconnu à la Réunion ; en 2001, près de 3 ha ont été implantés (10.000 plants) impliquant une vingtaine d'agriculteurs. En 2002, une dizaine de tonnes de fruits est attendue sur le marché. Ce résultat est la conséquence de la stratégie qui a été adoptée pour accompagner le développement de l'espèce et préparer le consommateur.

### IV. Accompagnement et évaluation du développement de la pitaya à la Réunion

Le statut de la plante à la Réunion (espèce populaire mais fruit inconnu), les caractéristiques de stérilité de ses clones et les connaissances techniques insuffisantes ont influencé la stratégie utilisée. Ce processus s'est appuyé sur trois phases qui ont été évaluées à partir de la définition d'indicateurs de résultats.

#### 1. Recherche en microparcelles et validation du choix de l'espèce

Cette première phase s'est déroulée de 1994 à 1995. Pour pallier les problèmes de stérilité rencontrés dans la nature et pour évaluer les contraintes agronomiques liées à l'intensification d'*Hylocereus* sp., nouvelle espèce à développer, une meilleure connaissance de la plante était indispensable. Pour cela, un travail sur microparcelles en station de recherche et la sélection de clones dans la nature ont été entrepris ; ils ont permis de surmonter les obstacles à la production. Il est alors devenu indispensable de vérifier auprès du grand public son éventuelle adhésion à ce nouveau fruit.

Cet aspect de la démarche de diversification fruitière a été traité à l'aide d'une enquête effectuée sur le marché forain de la ville du Tampon. Le lieu - rendez-vous hebdomadaire de Sud de la Réunion – et le créneau horaire – 13 :00 h à 18 :30 h - ont permis d'interroger 200 personnes se présentant d'elles-mêmes au stand. Celles-ci ont répondu à 30 questions au total, établies selon une chronologie logique : appréciation du fruit entier, puis du fruit coupé en deux ; appréciation sur dégustation ; enfin intention d'achat et marge de prix acceptable (*tableau VII*). Les deux variétés de pitaya, à chair blanche et à chair rouge, ont été présentées. La population enquêtée était composée de 61,5% de femmes de tout âge, une majorité d'entre-elles appartenant, cependant, à la tranche 26-45 ans. La plupart des personnes interrogées (87,5%) résidait sur l'île de la Réunion, les autres étant en séjour de vacances.

Pour la majorité (82 %) des personnes interrogées, la pitaya aurait un avenir commercial (*tableau VII*). Cette opinion a été confirmée par le pourcentage final des consommateurs prêts à l'achat. Le nombre d'acheteurs potentiels a évolué au fur et à mesure de la découverte du produit (*figure 17*) ; après dégustation, 85,5 % des personnes enquêtées achèteraient la pitaya à un prix accepté de l'ordre de 10 FF (1,52 €) l'unité. Ces résultats encourageants ont motivé la poursuite du développement de cette nouvelle espèce fruitière.

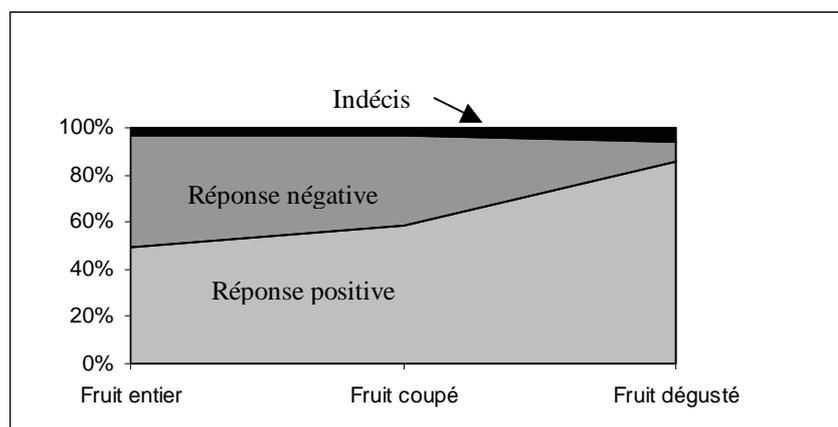
**Tableau VII.**

Terme et résultats d'une enquête effectuée auprès de 200 consommateurs réunionnais pour évaluer leur intention d'achat de pitayas, production choisie dans le cadre d'une opération de diversification fruitière à l'île de la Réunion.

Question posée	Question ouverte	Questions fermées		Sans avis (%)
		Oui	Non	
Pensez-vous que ce fruit a un avenir commercial ?	Sans objet	82	3,5	14,5
A quel prix pensez-vous qu'il se vendrait sur les marchés (fruit présenté de 400 g) ?	1,51 €	Sans objet	Sans objet	25,0
A quel prix maximum achèteriez-vous ce fruit ?	1,60 €	Sans objet	Sans objet	17,5
Quel prix de vente minimum vous ferait craindre une mauvaise qualité de fruit ?	0,67 €	Sans objet	Sans objet	36,5
Ce fruit vous fait-il penser à un autre fruit ?	Kiwi	76	24	Sans objet

**Figure 17.**

Evolution des intentions d'achat au fur et à mesure de la découverte de la pitaya par des consommateurs interrogés à l'occasion d'une enquête effectuée à l'île de la Réunion.



## 2. Recherches en macroparcelles et sensibilisation

Cette nouvelle étape qui a duré de 1996 à 1999 a permis de mettre au point un itinéraire technique de base à appliquer à la culture de la pitaya (*tableau VIII*). Elle s'est déroulée en macroparcelles expérimentales sur station de recherche. Une fois validées, les données ont été transmises aux agriculteurs par le biais de formations destinées aux agents du développement agricole et aux agriculteurs. Ainsi, deux formations ont été organisées avec la Chambre d'Agriculture et environ une centaine de producteurs a été formée. La sensibilisation du grand public a également été entreprise par le biais de différents médias comme la presse écrite (quatre articles publiés dans la presse locale) et la télévision (deux reportages). L'opération a été nommée dans un concours organisé par la jeune Chambre économique de la Réunion (Réunion Bio).

## 3. Recherche appliquée et accompagnement commercial

Cette phase de recherche appliquée, commencée en 2000, s'est effectuée en milieu réel chez les producteurs et en station de recherche. Elle a permis de prendre en compte les contraintes des agriculteurs, notamment par l'adaptation de l'itinéraire technique à l'exploitation. Parallèlement, l'accompagnement à la commercialisation du nouveau produit a été engagé : édition d'une fiche produit, dégustation organisée dans les foires, salons et hôtel (articles de presse), suivi de la mise en marché (marché forain) et étude des débouchés en fruit frais, transformé ou pour la décoration. La législation commerciale du produit a été abordée par une participation à un projet de norme Codex de la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes).

A la suite de cet ensemble de mesures, les surfaces plantées et le nombre de producteurs concernés ont augmenté. Au travers de foires et de salons, il a été possible de se rendre compte de la perception positive du produit par le public, acceptation également constatée de la part de l'industriel (confection de sorbet), et de l'artisan (glacier et restaurateur). Le prix de vente fixé après l'enquête s'est révélé être bien accepté par le public, et la clientèle s'est fidélisée.

## **V. La pitaya chez le producteur**

L'itinéraire technique de production de la pitaya à l'île de la Réunion ayant été mis au point à l'issue des différentes phases de la démarche de diversification entreprise, les agriculteurs concernés par le projet se sont facilement appropriés ces techniques culturales de base. La troisième phase de ce programme a alors permis d'adapter cet itinéraire à l'exploitation. Des solutions individuelles de type de palissage de la plante (poteau individuel (*figure 18*), table de production (*figure 19*), pan incliné de production, etc.) ont été notamment recherchées afin de diminuer le coût de plantation élevé et d'assurer à l'agriculteur un retour sur investissement plus rapide (*tableau IX*).

Aucune aide directe financière n'a été apportée aux agriculteurs concernés, sauf la fourniture du matériel végétal (boutures des trois variétés devant composer le verger). Tous les agriculteurs se sont entièrement autofinancés. Il en résulte une parfaite intégration de cette nouvelle culture à leur système d'exploitation : surfaces développées réduites [entre (2000 et 5.000) m<sup>2</sup>] et proportionnelles à leur exploitation, adaptation de l'itinéraire technique (choix du tuteur, des densités), valorisation de terrains difficiles, etc. Dans ces conditions, la culture de la pitaya peut être considérée comme une culture de diversification complémentaire à une spéculation principale (canne à sucre principalement). D'ailleurs, les différentes phases de ces deux cultures peuvent se coordonner car les pics de travail ne se chevauchent pas (pollinisation-récolte de la pitaya de décembre à juin et coupe de la canne à sucre de juillet à décembre).

**Tableau VIII.**

Synthèse des pratiques culturales conseillées pour la culture de la pitaya *Hylocereus* sp. à l'île de la Réunion.

**Exigences agroclimatiques**

A planter à l'ouest (avec irrigation) et au sud de l'île de la Réunion, altitude < à 600 mètres.  
Eviter les zones trop humides car les fortes pluies font chuter systématiquement les fleurs et les jeunes fruits.

**Diversité végétale**

Trois variétés ont été sélectionnées pour composer le verger : pitaya rouge, pitaya blanche et hybride (création Cirad).  
Le fruit des pitayas rouge et hybride est rouge à l'intérieur et à l'extérieur ; le fruit de la pitaya blanche est rouge à l'extérieur et blanc à l'intérieur.

**Biologie florale et conséquences**

Floraison de nuit, la pollinisation manuelle est obligatoire car les agents pollinisateurs sont absents ou peu efficaces ; la pollinisation croisée est obligatoire ; elle peut s'effectuer dès 16:00 (ouverture mécanique de la fleur) jusqu'à 10:00 le lendemain de la floraison ; efficacité assurée à 100 %, obtention de fruits de haute qualité.

**Conduite de la plante, densité de plantation**

Sur tuteur individuel (bois, fer...) d'une hauteur maximum de 140 cm ou sur table de production ; irrigation d'appoint avec système goutte-à-goutte, de 2500 à 6500 plants par ha. Bouturage en place. Tailles de formation et d'entretien obligatoires.  
Rendements de 10 à 15 tonnes/ha dépendant des fumures minérale et organique, de l'apport en eau et de la pollinisation manuelle.

**Protection phytosanitaire**

La fourmi (*Solenopsis geminata*) est aujourd'hui le principal ravageur ; les dégâts (morsures des différents organes de la plante) sont directs et importants : traitement au sol à la Basudine® (diazinon) dès l'apparition d'une colonie.

**Récolte - conservation**

Fruits se récoltant au sécateur ; les fruits récoltés au stade « virage de couleur » peuvent être conservés 1 mois à 12°C.  
Délai floraison / récolte : 30 jours ; poids compris entre (300 et 700) g.



**Figure 18.** Pitaya conduite sur tuteur individuel en bois en macroparcelles expérimentales à l'île de la Réunion.



**Figure 19.** Pitaya conduite sur table de production en macroparcelles expérimentales à l'île de la Réunion.

**Tableau IX.**

Dépenses occasionnées par les coûts de plantation et d'entretien, chiffre d'affaire et retour sur investissements générés par 0,5ha de pitaya conduits sur « table de production » ou sur tuteur individuel à l'île de la Réunion.

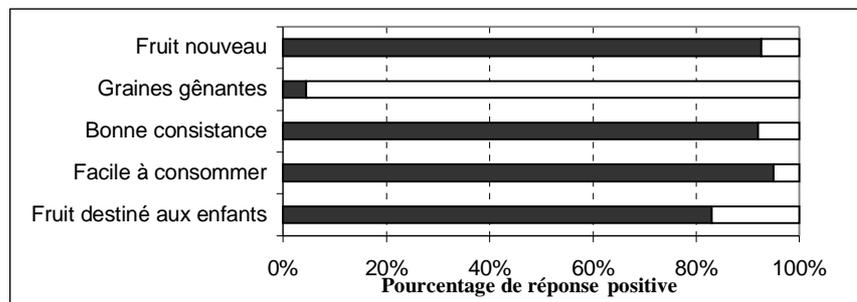
Nombre d'années à partir de la plantation	Dépenses (€)		Chiffre d'affaire (€)		Retour sur investissement (€)	
	Conduite sur tables <sup>1</sup>	Conduite sur tuteurs <sup>2</sup>	Conduite sur tables <sup>1</sup>	Conduite sur tuteurs <sup>2</sup>	Conduite sur tables <sup>1</sup>	Conduite sur tuteurs <sup>2</sup>
1	17.042	14.101	0	0	-17.042	-14.101
2	3.567	1.372	10.899	6.288	- 9.710	- 9.185
3	5.945	2.287	24.177	13.948	8.522	2.476
4	8.323	3.201	34.680	20.008	34.879	19.283

<sup>1</sup> Table de production : sur la base de 260 tables de 6,6 m<sup>2</sup> par ha ; densité d'implantation des tables : 1,10 m x 4 m ; densité : 6.500 plants/ha.

<sup>2</sup> Tuteurs individuels : sur la base de 1.250 tuteurs en pin traité par ha ; densité d'implantation des tuteurs : 2 m x 4 m ; 3.750 plants/ha

## VI. La pitaya et ses débouchés

La pitaya est maintenant accueillie très favorablement par le consommateur réunionnais [16] qui a été séduit tant par la forme, la couleur et la chair ferme et juteuse de ce fruit que par sa facilité à être consommé (figure 20). Le prix d'achat accepté de 4.57 €/kg.



**Figure 20.** Synthèse des appréciations données sur le fruit de la pitaya par un panel de 200 personnes enquêtées sur le marché forain de la ville du Tampon (île de la Réunion). Seules deux modalités ont été considérées : [oui] ou [non + sans avis].

Le commerçant, quant à lui, apprécie certaines caractéristiques commerciales de la pitaya : fruit facile à conserver, peu fragile aux manipulations et dont la production est étalée sur 6 mois. Si la vente en frais est aujourd'hui à privilégier car la marge est alors plus intéressante pour le producteur, d'autres débouchés ne sont cependant pas à négliger. En effet, différents corps de métier s'intéressent à cette production : l'industrie agroalimentaire (sorbet, colorant naturel, etc.), ou la restauration (décoration, coupe de fruit, etc.). A cours terme, le marché local devrait permettre d'écouler facilement de petites quantités de fruits de l'ordre de quelques dizaines de tonnes. A moyen ou long terme, si les volumes produits venaient à augmenter, l'exportation vers l'Europe pourrait être envisagée car la période de production à l'île de la Réunion est décalée par rapport à celle des autres pays producteurs (Vietnam et Israël) et les prix pratiqués [18] restent encore favorables à un produit de qualité (marché de niche) même provenant d'une région à coût de main d'œuvre élevé.

## VII. Forces et faiblesses de la culture d'*Hylocereus* sp. à l'île de la Réunion

De l'ensemble de l'étude qui vient d'être présentée, il ressort que l'exploitation de la pitaya à l'île de la Réunion présente un certain nombre de points forts qui permettent de valider le choix qui a été fait de promouvoir cette espèce fruitière en culture de diversification (*tableau X*). En effet, les quelques faiblesses identifiées ne suffisent pas à discréditer cette production qui procure par ailleurs des avantages indéniables à l'agriculteur et au vendeur tout en satisfaisant les goûts du consommateur.

**Tableau X.**

Forces et faiblesses identifiées lors d'une démarche de diversification fruitière entreprise à partir du développement de la culture de la pitaya (*Hylocereus* sp.) à l'île de la Réunion.

Forces	Faiblesses
Esthétique et attractivité du fruit nouveau Plante très rustique et facile à multiplier Plante acclimatée à la l'île de la Réunion Entrée en production rapide Retour sur investissement dès 3 ans Prévision de récolte aisée Production étalée sur 6 mois Fruits de qualité et peu fragile Bonne aptitude à la conservation (30 j) Prix de vente élevé accepté par le consommateur (4.57 €/kg) Différentes valorisations (frais, transformation, décoration) Débouché à l'export (marché favorable, contre saison)	Marché inexistant à la Réunion car fruit nouveau Coût de plantation élevé car tuteurage obligatoire Main d'œuvre importante (pollinisation)

## VIII. Conclusion

Le contexte réunionnais semble favorable au développement de cultures nouvelles [5] (agrotourisme, engouement du consommateur pour la nouveauté, soutien des collectivités locales telles que le conseil général et le conseil régional de l'île de la Réunion, image du « produit pays », etc.). Un accompagnement réussi nécessite obligatoirement une approche pluridisciplinaire car il ne suffit pas de produire encore faut-il bien vendre. Ce principe a été adopté pour accompagner le développement de la culture de la pitaya dans l'île. Après avoir résolu les problèmes techniques comme la stérilité de la plante et la mise au point des méthodes de cultures, il a fallu s'assurer de l'adhésion du consommateur à ce nouveau fruit. Cette démarche a été favorisée par les médias réunionnais (presse et télévision). Le commerçant, l'intermédiaire entre le consommateur et le producteur, a ensuite été sensibilisé par certains arguments comme l'élargissement de sa gamme de produit ou les qualités commerciales du fruit. Enfin, le producteur, à qui revenait la décision finale de développer ou non cette nouvelle culture, a été associé à son lancement au travers d'une adhésion volontariste ; une nouvelle filière est née. Conscient de la jeunesse et de la fragilité de cette nouvelle filière, les producteurs se sont regroupés au sein d'une association (Association des Producteurs de Pitaya de la Réunion, APPIR) afin d'organiser collectivement la production et la commercialisation des pitayas. A l'avenir, cette dynamique sera soutenue et relayée par la mise en place d'un projet financé par le

conseil régional de la Réunion et l'Europe, visant à élaborer des itinéraires techniques respectueux de l'environnement ; il conviendra également d'anticiper les problèmes liés à l'intensification d'une nouvelle culture (problème phytosanitaire par exemple), d'approfondir les connaissances de la plante et la caractérisation de son fruit et de favoriser sa commercialisation par la mise au point de technique post-récoltes, l'attribution d'un label, etc. Ce projet associera tous les acteurs de l'agriculture réunionnaise : chercheurs, développeurs et producteurs.

En dépit des faibles surfaces plantées aujourd'hui, les qualités de la pitaya, l'enthousiasme des consommateurs et la motivation des agriculteurs envers ce nouveau fruit font de cette espèce une véritable opportunité de diversification pour l'île de la Réunion.

## Références

- [1] Rivals P., Les espèces fruitières introduites à La Réunion, Imprimerie A. Gomes, Toulouse France, 1960.
- [2] Trouette E., Introduction de végétaux à la Réunion, N.I.D., Saint-Denis, France, 1898.
- [3] Le Bellec F. et Renard V., Le grand livre des Fruits Tropicaux, Orphie Editions, Saint-Denis, France, 1997, 180 p.
- [4] Cadet T., La végétation de l'île de la Réunion, étude phytoécologique et phytosociologique, Thèse de Doctorat, France, 1977.
- [5] Normand F., Résultats d'une action de diversification fruitière menée à l'île de la Réunion, Fruits 54(4) (1999) 233-245.
- [6] Leakey R.R.B. and Tchoundjeu Z., Diversification of tree crops : domestication of companion crops for poverty reduction and environmental services, Expl. Agric. 37(2001) 279-296.
- [7] Nerd A., Aronson J.A. and Mizrahi J., Introduction and domestication of rare and wild Fruit and nut trees for desert areas, Advances in new crops : proceedings of the first national symposium New Crops, research, development, economics, Indianapolis, Indiana, oct 23-26, 1998 USA Janick J. Simons J.E. (ed.).
- [8] Wilson L. A., Agricultural Diversification and processing : the way forward. Tropical Fruits Newsletter 27(1998) 7-12.
- [9] Le Bellec F., Vers un développement des espèces fruitières sous-utilisées à la Réunion, Fruits Oubliés, 4 (1998) 1-3.
- [10] Le Bellec., Le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion. Cirad-Flhor (ed.), Saint-Pierre France, 1993, 53 p.
- [11] Nerd A. and Mizrahi Y., Reproductive biology of cactus fruit crops, Hort. Rev. 18 (1997) 321-346.
- [12] Barbeau G., La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique, Fruits 45 (1990) 141-174.
- [13] Jacobs D., Pitahaya, *Hylocereus undatus*, a potentiel new crop for Australia, Rare Fruit Concils of Australia Inc. Newsletter 107(1998) 3-7.
- [14] Bosser J., Cadet Th., Gueho J. et Marais W., Flore des Mascareignes, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM), Paris, France, Tome 103, Famille des Cactaceae, 1984, pp. 1-8.
- [15] Lavergne R., Fleurs de Bourbon. Imprimerie Cazal, Saint-Denis, France, Tome 7, 1984, pp. 173-191.
- [16] Le Bellec F *et al.*, La pitahaya à l'île de la Réunion, un nouveau fruit bien séduisant, Fruitrop 41 (1997) 17-18.
- [17] Raveh, E., Weiss J., Nerd A. and Mizrahi Y., Pitayas (genus *Hylocereus*) new fruit crop for the Negev Desert of Israel, in: Janick J. and Simon J.E. (eds.), New crops, Wiley, New York, 1993.
- [18] Imbert E., La Pitahaya, un marché en devenir. Fruitrop 80 (2001)13.

## Conclusion générale

**L**a diversification des cultures dans les économies agricoles insulaires (et plus spécifiquement des DOM Français) semble vitale, non pas pour se substituer à une culture pivot (canne à sucre, banane, etc.) mais bien pour diversifier les ressources des producteurs notamment avec des cultures à forte valeur ajoutée.

La culture de la pitaya (*Hylocereus* sp.) à l'île de la Réunion est un exemple de ce type de diversification. Elle a été choisie parmi une vingtaine d'autres espèces candidates pour ses différentes qualités (esthétisme, couleur et forme attrayante, etc.) mais aussi pour sa rapidité de mise à fruit permettant un retour sur investissement rapide.

Des contraintes techniques liées aux caractéristiques des variétés des deux espèces de pitaya (*H. undatus* et *H. purpusii*) cultivées à la Réunion ont été rapidement identifiées (auto-incompatibilité des clones) et résolues.

Un itinéraire technique de production a ainsi pu être mis au point et validé sur des macroparcelles expérimentales avant d'être diffusé auprès des producteurs via les services de développement de l'île de la Réunion. Dix ans à peine après le début du lancement de cette nouvelle culture sur l'île, le bilan est globalement positif. Les surfaces plantées en 2003 sont de l'ordre de 7 ha et concernent maintenant une quinzaine d'agriculteurs. Toujours pour cette même année, le volume produit est estimé à 40 t de fruits pour lesquels des débouchés commerciaux rémunérateurs ont été facilement trouvés (prix de vente moyen observé en 2003 : 5 €/kg).

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer ce succès mais les qualités de la pitaya, tant de son fruit que de sa culture (rusticité) ont largement contribué à son plébiscite auprès de tous les acteurs de cette filière (du producteur au consommateur en passant par le vendeur). L'étroitesse de l'île et de son marché conjugué à un accès facile aux médias (presse écrite et télévision) ont également accéléré la promotion de cette nouvelle culture à la Réunion.

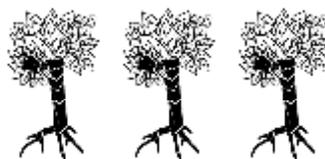
Depuis 2001, la filière 'pitaya' se met en place sous l'impulsion de quelques agriculteurs motivés et épaulés par un GIS (Groupement d'intérêt Scientifique) composé de toutes les forces vives de la recherche, de la formation et du développement de la Réunion. Peu de problèmes techniques sont rencontrés, hormis les problèmes de gestion des décalages de floraisons (*chapitre II. 4.1*). La contrainte majeure semble par contre commerciale. En effet, l'engouement des réunionnais pour ce nouveau fruit et donc les débouchés qui en découlent ont engendré une production de pitayas 'sauvages'. Ces fruits sont issus d'une exploitation de pitayas non cultivées (plantes naturalisées en bordure de ravines) par des 'opportunistes' qui pollinisent les fleurs de ces plantes et vendent ensuite les fruits - souvent de piètre qualité - sur les bords de route à des prix défiant toute concurrence.

**Il conviendrait pour ces raisons d'organiser rapidement cette nouvelle filière, de la production à la commercialisation, sinon elle risquerait de péricliter avant même de s'être développée véritablement.**

**Les prix de vente rémunérateurs actuellement constatés sur les marchés suivent encore la loi de l'offre et de la demande mais ne devraient pas persister compte tenu des projets de plantation en cours et des jeunes plantations non productives. Le marché local semble pouvoir absorber quelques dizaines de tonnes de fruits mais probablement pas beaucoup plus ; d'autres débouchés doivent donc être recherchés.**

**La transformation peut en être un, les agro-industriels semblent motivés pour valoriser ce nouveau produit, notamment en sorbet ou glace. Les potentialités de la pitaya rouge en tant que colorant naturel n'ont pas non plus été véritablement explorées. Enfin, l'exportation de fruits frais vers l'Europe n'est pas à exclure. Le marché est demandeur surtout à la période de production naturelle des pitayas à la Réunion (de décembre à mai). Ce créneau commercial de contre saison par rapport aux autres pays producteurs permettrait de valoriser correctement des volumes importants.**

**Il semble aujourd'hui plus que jamais indispensable de faire connaître ce produit en communiquant sur sa provenance mais aussi sur la qualité de sa production ; d'autant que la rusticité de la plante et les faibles pressions phytosanitaires pourraient permettre une production de fruits 'propres' (issus d'une culture raisonnée dans un premier temps et de culture biologique à terme). Un label serait tout indiqué et celui des régions ultra-périphériques - relativement facile et rapide à obtenir – pourrait répondre à ces premières attentes. Il permettrait, d'une part, de faire connaître et de démarquer la production de pitayas réunionnaises par rapport aux autres provenances (notamment sur un marché extérieur) et d'autre part, de faciliter localement la distinction sur le marché des fruits issus d'une production organisée. Un label plus spécifique pourra ensuite voir le jour pour faire de la pitaya, aux côtés de l'ananas victoria ou du litchi, un autre symbole de la diversité fruitière réunionnaise.**



## Littérature citée

(Y compris celles citées dans le chapitre III publié dans la revue *Fruits*)

- [1] Anonyme, 1992. *L'île de la Réunion par ses plantes*. Conservatoire botanique de Mascarin, Pollina, Luçon, France, 96 p.
- [2] Barbeau, G. (1990). La pitahaya rouge, un nouveau fruit exotique. *Fruits*, 45, 141-174.
- [3] Bárcenas, P. (1994). Efecto de tres sustratos en el enraizamiento y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort., 38, 120-121.
- [4] Becerra Ochoa, L.A. (s.d.). *El cultivo de la pitaya*. Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia, 6 Edicions, Manizales, Colombia, 20 p.
- [5] Bertin, Y. (2001). Bilan de la diversification fruitière en Martinique. *Journées annuelles du Cirad-Flhor*, 4 et 5 septembre 2001, Montpellier, France.
- [6] Bourriquet, G. (1954). *Le vanillier et la vanille dans le Monde*. Editions Paul Lechevalier, Paris, 740 p.
- [7] Bosser, J., Cadet, T., Gueho, J. et Marais, W. (1984). *Flore des Mascareignes*. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer. Paris, France, Tome 103, Famille des Cactaceae. 1-8.
- [8] Boyle, T. H., Mayhew, D.E. et Wiens A. L. (1997). Virus in cactus grafting stocks. *Cactus and succulent journal* (U.S), 69, 40-41.
- [9] Cadet, T. (1977). *La végétation de l'île de la Réunion, étude phytoécologique et phytosociologique*, Thèse de Doctorat, France.
- [10] Cadet, T. (1980). *A la découverte de l'île de la Réunion*. Favory, Saint-Denis, France, volume 5, 27-65.
- [11] Daubresse Balayer, M. (1999). Le pitahaya. *Fruits Oubliés*, 1, 15-17.
- [12] De Cordemoy, E. J. (1895). *Flore de l'île de la Réunion*. Librairie des sciences naturelles, Paul Klincksieck, Paris, France, 574 p.
- [13] du Prez, R.J. (1997). The pitaya – a cactus fruit with potential. *Neltropika*, August 1997, 28-29.
- [14] Erwin, J. E. (1996). Temperature and photoperiod affect grafted cactus scion necrosis. *HortTechnology*, 6, 393-397.
- [15] Fouqué, A. (1969) *Espèces fruitières d'Amérique Tropicale*. IFAC, Paris, France, famille des Cactaceae.

- [16] Fournet, J. (2002). *Flore illustrée des phanérogames de Guadeloupe et de Martinique*. INRA Editions, CIRAD Editions, Gondwana Editions, Nouvelle Edition, Tome 1, Cactaceae, 224-240.
- [17] Herrera, G. L. et Martinez Del Rio, C. (1998). Pollen digestion by new world bats: effects of processing time and feeding habits. *Ecology*, 79, 2828-2838.
- [18] Imbert, E. (2001). La Pitahaya, un marché en devenir. *Fruitrop*, 80, 13.
- [19] Jacobs, D. (1998). Pitaya, *Hylocereus undatus*, a potentiel new crop for Australia. *Rare Fruit Concil of Australia Inc. Newsletter*, 107: 3-7.
- [20] Lavergne, R. (1984). *Fleurs de Bourbon*. Imprimerie Cazal, Saint-Denis, France, Tome 7, 173-191.
- [21] Leakey, R.R.B. et Tchoundjeu, Z. (2001). Diversification of tree crops : domestication of companion crops for poverty reduction and environmental services. *Expl. Agric.*, 37, 279-296.
- [22] Le Bellec, F. (1993). *Le patrimoine fruitier de l'île de la Réunion*. Cirad-Flhor (ed.), 53 p.
- [23] Le Bellec, F. et Renard V. (1997). *Le grand livre des Fruits Tropicaux*. Orphie Editions, Saint-Denis, France. 180 p.
- [24] Le Bellec, F., Judith, R.C., Dijoux, S. et Schröder, A. (1997). La pitahaya à l'île de la Réunion, un nouveau fruit bien séduisant. *Fruitrop*, 41, 17-18.
- [25] Le Bellec, F. (1998). Vers un développement des espèces fruitières sous-utilisées à la Réunion. *Fruits Oubliés*, 4, 1-3.
- [16] Le Bellec, F. et Judith, R.C. (1999). *La pitahaya à la Réunion, bilan et perspectives*. Cirad, Saint-Pierre, France, 20 p.
- [28] Le Bellec, F. et Judith, R.C. (2002). La pitaya (*Hylocereus* sp.) en culture de diversification à l'île de la Réunion : stratégie d'accompagnement de son développement. *Fruits*, 57, 219-229.
- [29] López Turcios, O. et Guido Miranda, A. (1998). Evaluación de dosis de nitrógeno y fósforo en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agronomia Mesoamericana*, 9, 66-71.
- [30] Lubrano di Sbaraglione, M. (1984). *Fruits subtropicaux secondaires susceptibles d'être acclimatés en région méditerranéenne française*. Conservatoire Botanique de Porquerolles, France, 78 p.
- [31] Luders, L. (1999). The pitaya or dragon fruit. *Primary Industry and Fisheries*, Northern Territory of Australia, 778.
- [32] Lyannaz, J. P. (1994). Floral induction study in mango in Guadeloupe. *Fruits*, 49, 355-356.
- [33] Metz, C., Nerd, A., et Mizrahi, Y. (2000). Viability of Pollen of Two Fruit Crop Cacti of the Genus *Hylocereus* is Affected by Temperature and Duration of storage. *HortScience*, 35, 22-24.

- [34] Ming, C.W. et Chin, S.C. (1997). Variation of sugar content in various parts of pitaya fruit. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 110, 225-227.
- [35] Mizrahi, Y., Nerd, A. et Nobel, P.S. (1997). Cacti as crop. *Horticultural Reviews*, 18, 291-320.
- [36] Mizrahi, Y. et Nerd, A. (1999). Climbing and columnar cacti : new arid land fruit crop. In: *Perspectives on new crops and new uses*. J. Janick (ed), ASHS Press, Alexandria, V.A., 358-366.
- [37] Nerd, A. et Mizrahi Y. (1997). Reproductive biology of cactus fruit crops. *Horticultural Reviews*, 18, 321-346.
- [38] Nerd, A., Aronson, J.A. et Mizrahi, Y. (1998). Introduction and domestication of rare and wild Fruit and nut trees for desert areas. *Proceedings of the first national symposium New Crops, research, development, economics*, 23-26 oct, Janick J. Simons J.E. (ed.), Indianapolis, Indiana.
- [39] Nerd, A., Guttman, F. and Mizrahi, Y. (1999). Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). *Postharvest Biology and Technology*, 17, 39-45.
- [40] N'Guyen, V.K. (1996). *Floral induction study of dragon fruit crop (Hylocereus undatus) by using chemicals*. University of agriculture and forestry. Faculty of agronomy. Vietnam, 54 p.
- [41] Normand, F. (1999). Résultats d'une action de diversification fruitière menée à l'île de la Réunion. *Fruits*, 54, 233-245.
- [42] Normand F. (2002). *De la fleur au fruit : étude et modélisation de la floraison, de la fécondation-fructification et de la croissance du fruit chez le goyavier-fraise (Psidium cattleianum)*. Thèse, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, France.
- [43] Pesson, P. et Louveaux, J. (1984). *Pollinisation et production végétales*. Institut National de la Recherche Agronomique. France. 10-99.
- [44] Petit, J.M.(2001). *Mémento 2001- La statistique Agricole*. Agreste Réunion, DAF Réunion.
- [45] Raveh, E., Weiss, J., Nerd, A. et Mizrahi, Y. (1993). Pitayas (genus *Hylocereus*) new fruit crop for the Negev Desert of Israel. In: *New crops*, J. Janick and J.E. Simon, (eds.), Wiley, New-York, 491-495.
- [46] Raveh, E., Nerd A. et Mizrahi Y. (1996). Responses of climbing cacti to different levels of shade and to carbon dioxide enrichment. *Acta Hort.*, 434, 271-277.
- [47] Raveh, E., Nerd, A. et Mizrahi, Y. (1998). Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Scientia Horticulturae*, 73, 151-164.
- [48] Rivals, P. (1960). *Les espèces fruitières introduites à La Réunion*. Imprimerie A. Gomes, Toulouse, France.
- [49] Rondón, J. A. (1998). Cactáceas epífitas y trepadoras de la reserva forestal de Caparo, estado Barinas, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.*, 42, 119-129.

- [50] Stern, R. A. et Gazit, S. (1998). Pollen viability in lychee. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123, 41-46.
- [51] Spichiger, R.E., Savolainen, V.V. et Figeat, M. (2000). Botanique systématique des plantes à fleurs – une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, Suisse.
- [52] Trouette, E. (1898). *Introduction de végétaux à la Réunion*. N.I.D., Saint-Denis, France.
- [53] Vaissière B. E., Rodet G., Cousin M. Botella L. and Torrè Grossa J.P. (1996). Pollination effectiveness of honey bees (Hymenoptera: Apidae) in a kiwifruit orchard. *Entomological Society of America*, 89, 453-461.
- [54] Weiss, J., Nerd, A. et Mizrahi, Y. (1994). Flowering behavior and pollination requirements in climbing cacti with fruit crop potential. *HortScience*, 29, 1487–1492.
- [55] Wollenweber, E. et Dörr, M. (1995). Wax composition of the two cacti *Hylocereus purpusii* and *Stenocereus beneckii*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 23, 577.
- [56] Wilson, L. A. (1998). Agricultural Diversification and processing : the way forward. *Tropical Fruits Newsletter*, 27, 7-12.

## **Annexes**

## Annexe 1

**HYLOCEREUS** (Berg.) Britt. & Rose. 1909.

About 15 species widespread in Latin America. Stems clambering, triangular, more or less spiny. Flowers usually large to very large, rarely small, nocturnal, the base usually spineless and with large overlapping scales, or rarely with small, separated scales and sometimes spiny (*H. trigonus*), petals usually white, rarely red (*H. extensus*, *H. stenopterus*).

- ***H. calcaratus*** (Web.) Britt. & Rose. 1902. Costa Rica. Stems soft, green, strongly lobed. Flowers 35-37 cm long, 20-30 cm wide.
  - ***H. costaricensis*** (Web.) Britt. & Rose. 1909. Costa Rica, Nicaragua. Stems waxy-white. Flowers ca. 30 cm long. Similar to *H. guatemalensis*.
  - ***H. escuintlensis*** Kimm. 1984. Guatemala. Stems green, brown-margined. Flowers 28-31 cm long, 24-36 cm wide.
  - ***H. extensus*** (S.-D.) Britt. & Rose. 1828. Trinidad. Flowers large, innermost petals rosy white. A questionable species not known to be in cultivation.
  - ***H. guatemalensis*** (Eichl.) Britt. & Rose. 1911. Guatemala. Stems waxy-white. Flowers ca. 30 cm long. Similar to *H. costaricensis*.
  - ***H. lemairei*** (Hook.) Britt. & Rose. 1854. Trinidad, Tobago, Surinam. Stems gray-green. Flowers 27 cm long, petals white, tinged pinkish near base.
  - ***H. minutiflorus*** Britt. & Rose. 1913. (*Wilmatea minutiflora*). Guatemala, Honduras. Stems green. Flowers with rigid spines at base of flower, 5 cm long, 8-9 cm wide, white. Often placed in its own genus, *Wilmatea*, due to its small, spiny flowers.
  - ***H. monacanthus*** (Lem.) Britt. & Rose. 1845. Colombia, Panama. Stem with 1-2 minute spines. Flowers 28 cm long, 17 cm wide.
  - ***H. ocamponis*** (S.-D.) Britt. & Rose. 1850. Mexico. Stems white-waxy, spines needle-like, 5-12 mm long. Flowers 25-32 cm long. Separated from *H. purpusii* only by its longer, thinner spines.
  - ***H. polyrhizus*** (Web.) Britt. & Rose. 1897. (?*H. estebanensis*). Colombia, Panama, Venezuela, Ecuador. Flowers 25-30 cm long.
- ✓ **\**H. purpusii*** (Weing.) Britt. & Rose. 1909. Mexico. Stems white-waxy, spines short and thick. Flowers 25-28 cm long, 20-25 cm wide. Closely allied to *H. ocamponis*.
- ***H. scandens*** (S.-D.) Back. 1850. Guyana. Stems bluish green. Flowers unknown. A little-known, questionable species.
  - ***H. stenopterus*** (Web.) Britt. & Rose. 1902. Costa Rica. Stems thin, soft, green. Flowers 9-10 cm long, 13-15 cm wide, tube nearly lacking, petals purplish red. The small dark-red flowers are untypical of the genus.
  - ***H. triangularis*** (L.) Britt. & Rose. 1753. (*H. cubensis*). Cuba, Haiti, Dominican Republic, Jamaica. Stems green. Flowers ca. 20 cm long, base with wide overlapping scales.
  - ***H. trigonus*** (Haw.) Saff. 1812. (*H. napoleonis*, *H. antiguensis*). West Indies (Puerto Rico south to Grenada). Stems green. Flowers ca. 22 cm long, 21 cm wide, base with small, narrow, widely spaced scales, sometimes spiny.
- ✓ ***H. undatus*** (Haw.) Britt. & Rose. 1830. Native habitat uncertain, widely cultivated in the tropics. Stems green, margins undulate and brown. Flowers 25-30 cm long.
- ***H. venezuelensis*** Britt. & Rose. 1920. (?*Wilmatea venezuelensis*). Venezuela, ?Ecuador. Flowers 23-28 cm long. Closely allied to *H. polyrhizus*.