



Analyse de la biodiversité selon différentes échelles spatio-temporelles par marqueurs moléculaires, caractères quantitatifs et molécules d'intérêt économique chez des espèces du genre *Santalum* – Evolution et fonction de cette diversité



Financement : ce projet est financé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable dans le cadre du programme de recherche "Ecosystèmes Tropicaux" (convention de recherche N° CV 020000116).



Problématique : la diversité intra-spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

Diversité moléculaire neutre : expression à différentes échelles

Diversité sélectionnée : relation avec les facteurs environnementaux

Transfert valorisation des résultats



Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

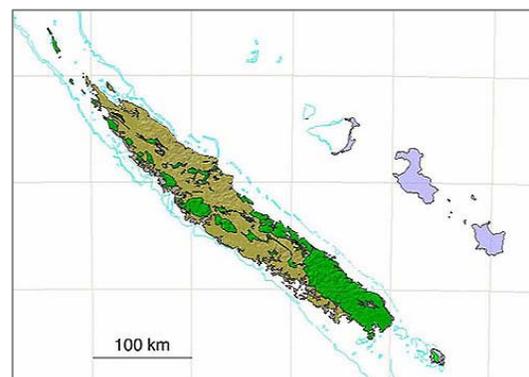
Les milieux insulaires : des écosystèmes uniques
Biotope: grande variabilité sur de petits territoires

Variation de l'altitude très prononcée

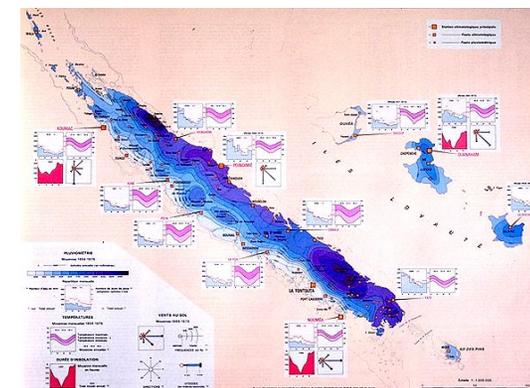


Tahiti (Polynésie française)

Variation morphologique et pédologique marquée



Variété de climats liée à l'exposition

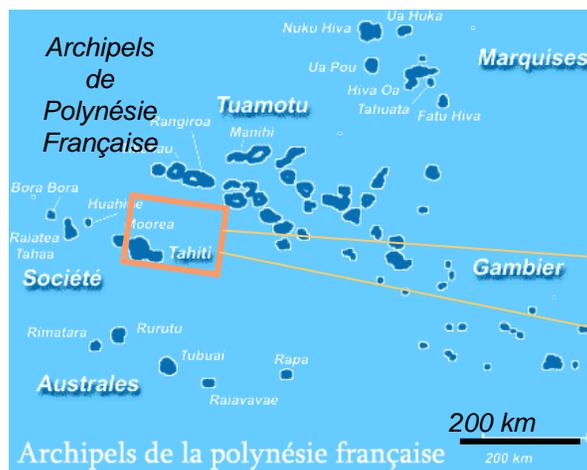


Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

✚ Forces évolutives exacerbées

**Statut isolé : Migration réduite
diminution / rupture du flux de gènes**

**Sélection naturelle pour s'adapter
aux écosystèmes insulaires**



Faible taille des populations

Faible nombre d'individus fondateurs

Phénomènes stochastiques: dérive génétique



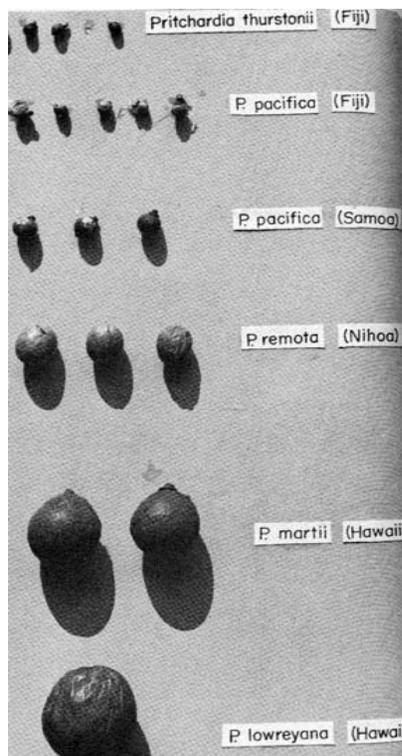
Espèces insulaires

- ✚ plus différenciées que les espèces continentales
- ✚ possèdent moins de diversité

Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

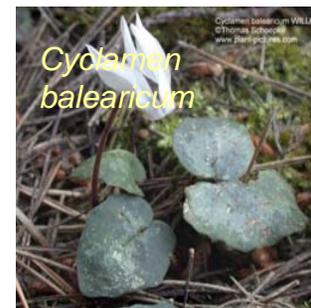
Écosystèmes uniques

Biocénose: Espèces endémiques, adaptées au conditions environnementales



Nanisme et gigantisme des Plantes: gigantisme des graines (Carlquist, 1980)

Autogamie (plantes): adaptation au manque de pollinisateurs (Barett, 1996) Ex: *Cyclamen balearicum* vs *Cyclamen hederifolium*



Objectif général : Comprendre les effets du syndrome d'insularité (archipel de petites îles) sur l'évolution de la diversité génétique selon différentes échelles spatio-temporelles

Question abordée avec les santals (genre *Santalum*)

En privilégiant l'analyse conjointe par marqueurs moléculaires « neutres », caractères adaptatifs et molécules d'intérêt économique



***Hypothèse* : au sein de chaque espèce, la dissémination du santal dans les archipels s'est réalisée de proche en proche à partir d'un peuplement fondateur.**

***Hypothèse* : la dérive génétique est un facteur évolutif prépondérant en milieu insulaire**

Problématique : la diversité intra
spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

Diversité moléculaire neutre :
expression à différentes échelles

Diversité sélectionnée : relation avec les
facteurs environnementaux

Transfert - valorisation des résultats



Le genre *Santalum* : *caractéristiques botaniques*

L'espèce *Santalum austrocaledonicum*

-Arbre, Angiospermes,
taille moyenne: 6 à 8m,
diamètre à 1,3m : 30 cm
à maturité.



Fleurs: blanches
verdâtres, en corymbe,
apétales. Plusieurs
périodes de floraison.



Feuilles: opposées,
décussées, limbe ovale.
Ind. juvéniles différents ind.
adultes .



← Feuilles
d'individus
juvéniles

Fruit: drupe charnue

Santalum austrocaledonicum et *S. insulare* dans le genre – origine des espèces ?

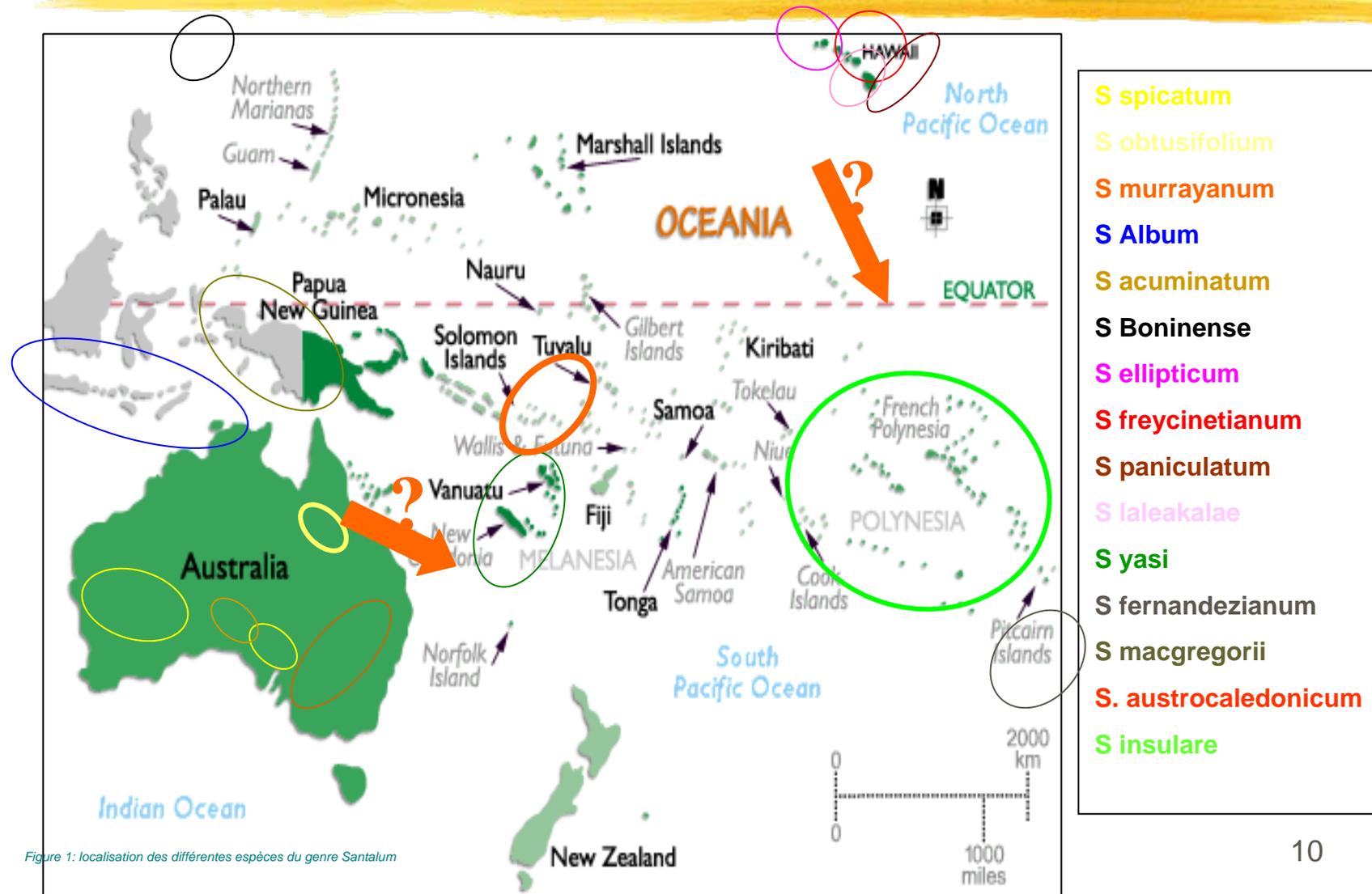
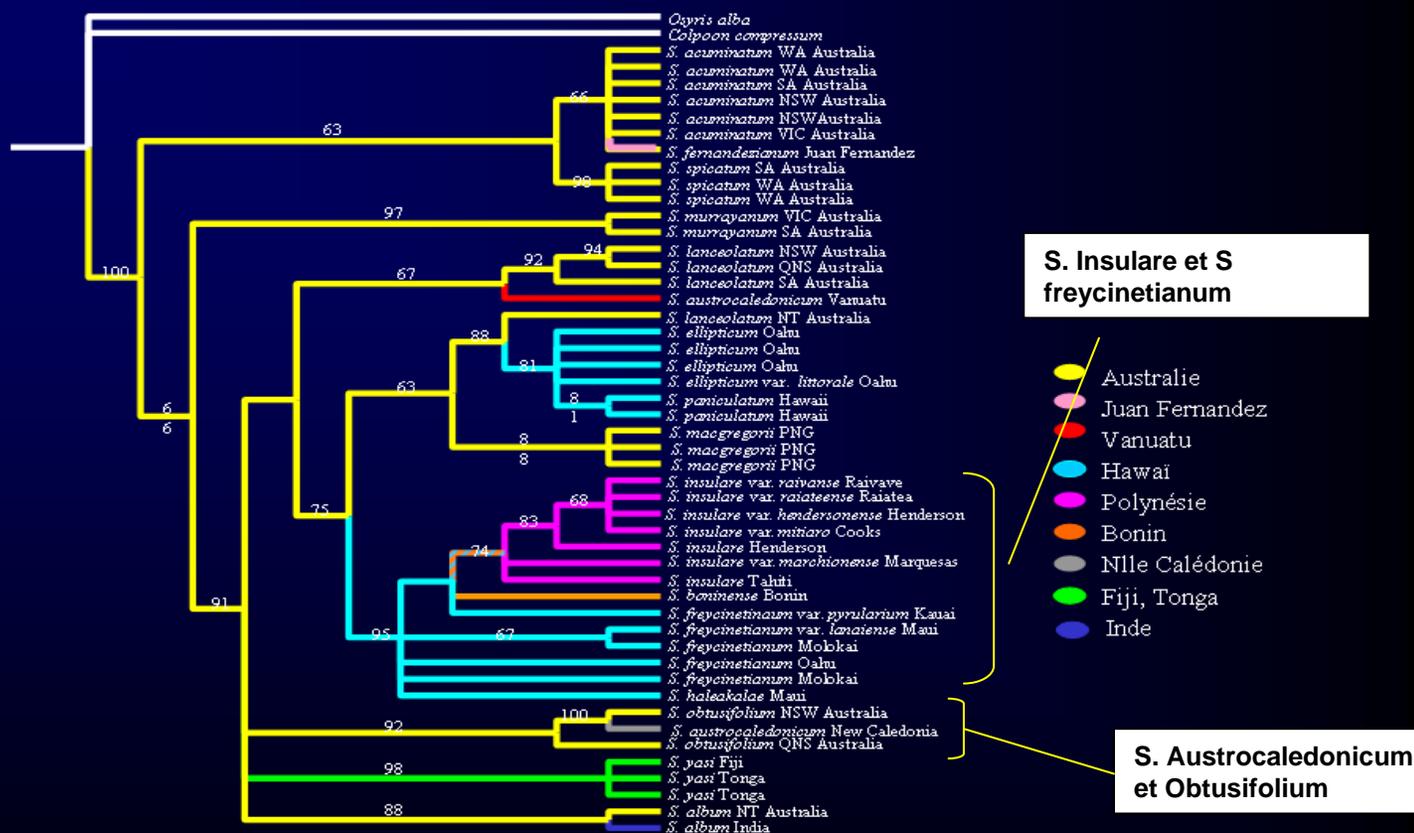


Figure 1: localisation des différentes espèces du genre *Santalum*

L'espèce *Santalum austrocaledonicum* dans le genre *Santalum* – Harbaugh et al, submitted (University Berkeley)

1. La Nouvelle-Calédonie et l'espèce *Santalum austrocaledonicum*

L'espèce *Santalum austrocaledonicum* dans le genre *Santalum*



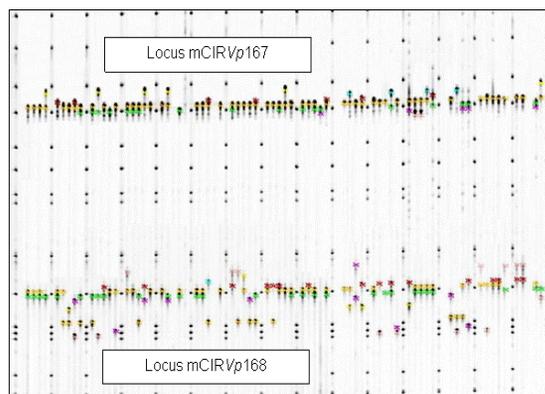
Problématique : la diversité intra
spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

**Diversité moléculaire neutre :
expression à différentes échelles**

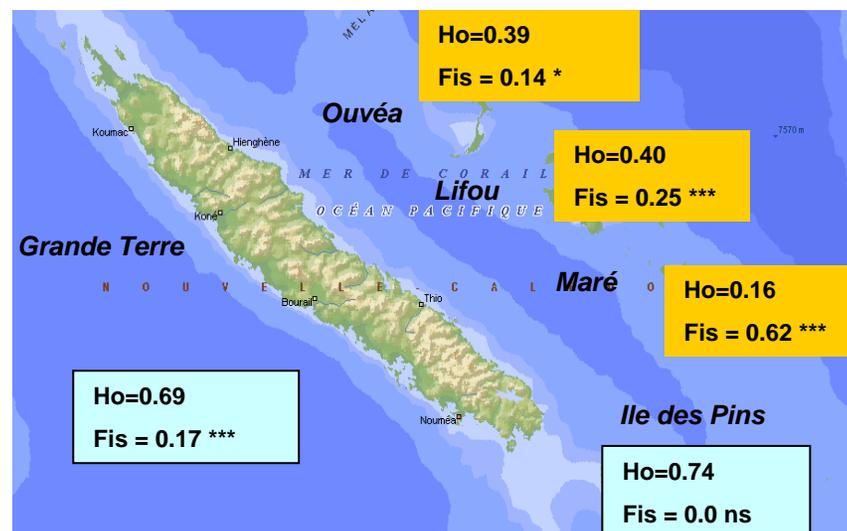
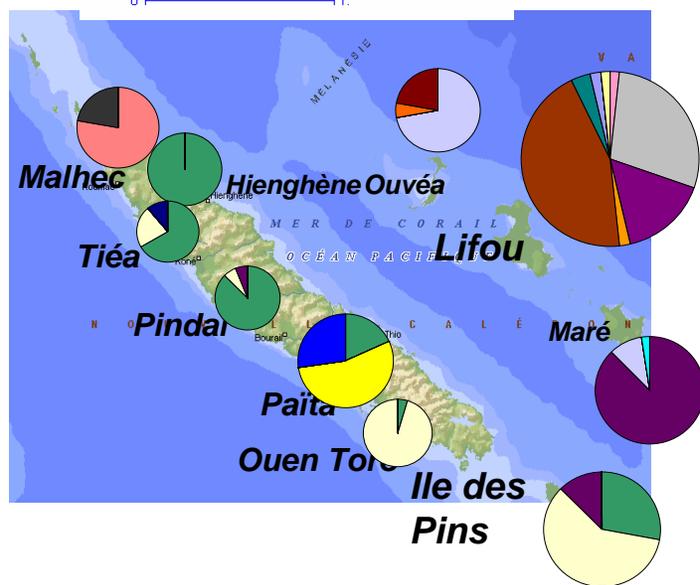
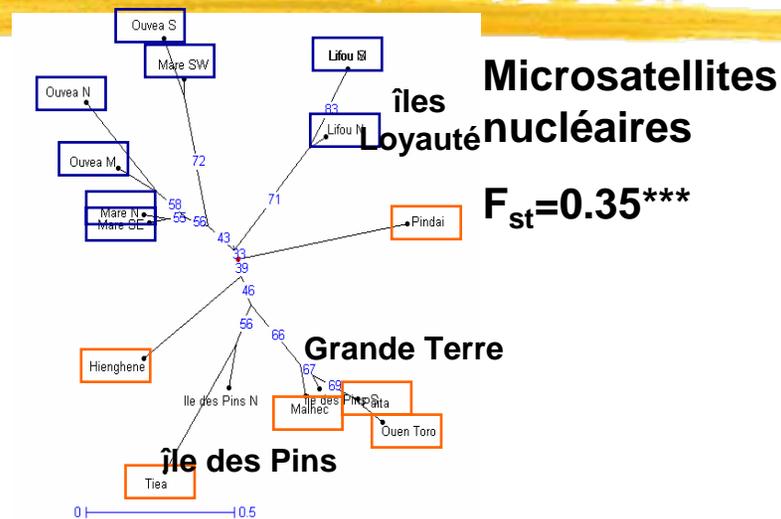
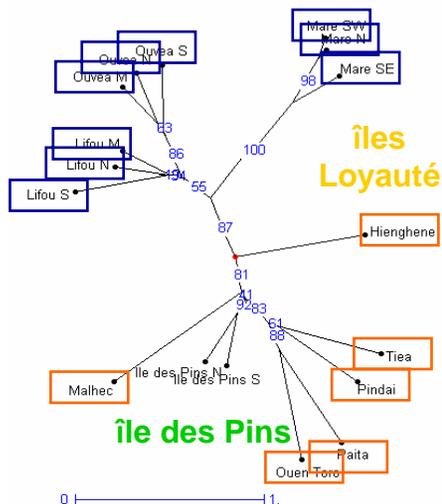
Diversité sélectionnée : relation avec
les facteurs environnementaux

Transfert - valorisation des résultats





Diversité neutre : expression à différentes échelles : aire de distribution de *S. austrocaledonicum* en Nouvelle-Calédonie



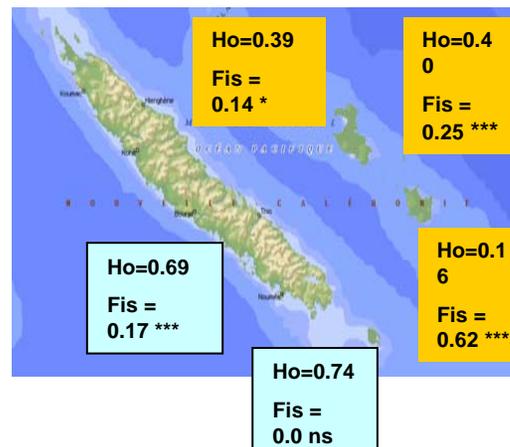
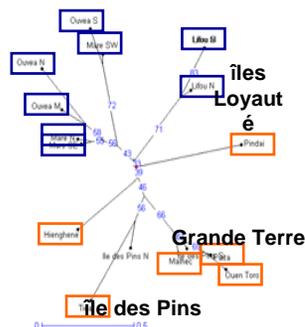
Diversité neutre : aire de distribution de *S. austrocaledonicum* en Nouvelle-Calédonie

Bilan

Une structuration génétique marquée, particulièrement entre les Iles Loyauté et Grande Terre conforme aux résultats attendus

$F_{stcp} = 0.66$

$F_{stnuc} = 0.35$



Une diversité plus faible comparée aux espèces distribuées de façon continue en zone continentale

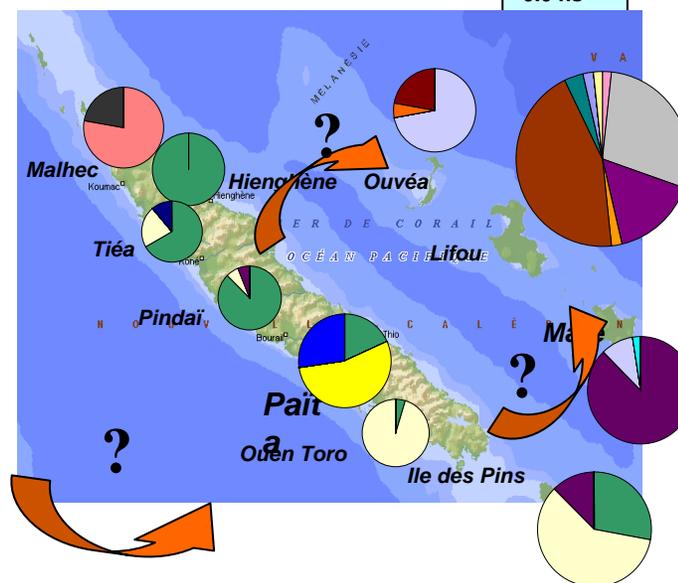
Des estimations d'index de fixation très élevée sur certaines îles

Origine du santal :

Une origine encore mal définie



Nécessité de conduire une étude phylogéographique plus poussée (autres marqueurs et autre échantillonnage)

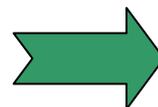
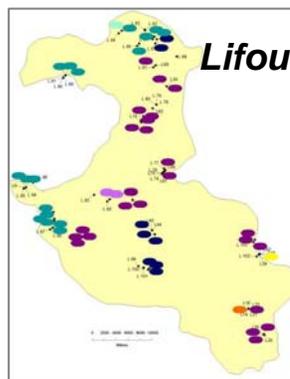
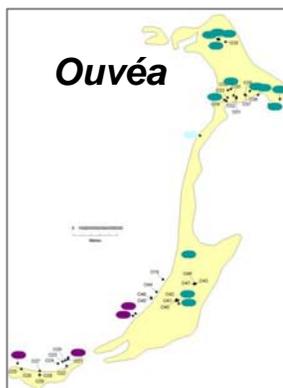


approfondissement de la biologie de reproduction

Diversité neutre - expression à différentes échelles : distribution de *S. austrocaledonicum* intra île

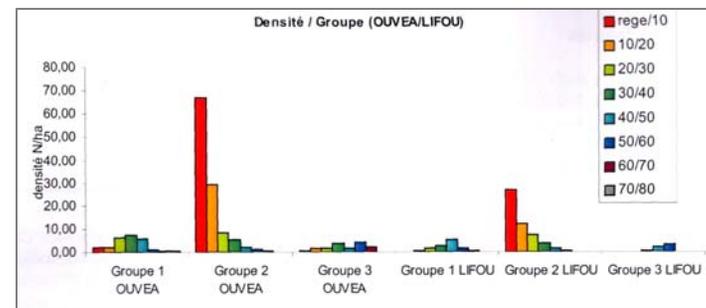
Analyse spatiale de la diversité

Microsatellite chloroplastique : La structuration dépend des îles

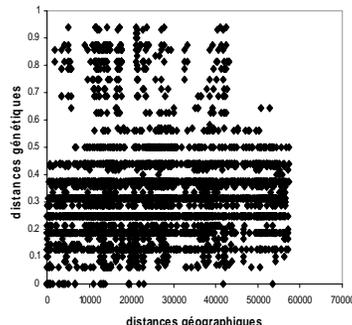
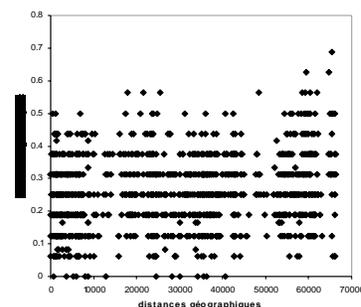


Nécessité de prolonger l'étude En tenant compte du paysage

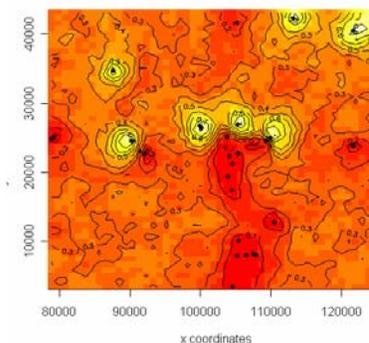
Meilleure prise en compte du paysage pour
comprendre la dynamique de la diversité



Microsatellite nucléaire : Pas ou peu de corrélation
entre dissimilarités et distances géographiques



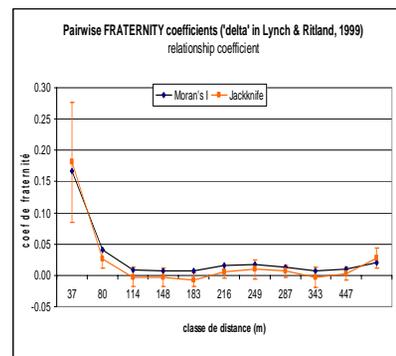
Map of posterior probability to belong to class 1



Approche
Bayésienne

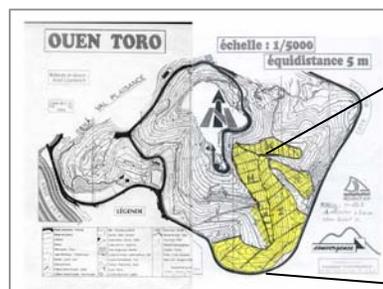
Diversité neutre - expression à échelle locale : population de *S. austrocaledonicum* à Ouen Toro

Existe-t-il une structure spatiale de la diversité à échelle locale ?

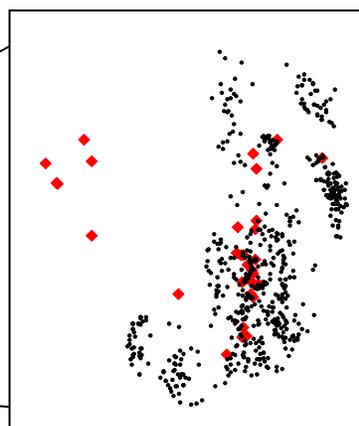


Pas ou peu de spatialisation de la diversité

Mise évidence clones mais pourcentage réduits <5% des arbres

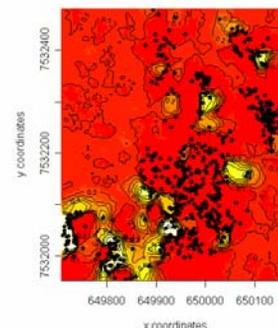


Peuplement d'une 20 aine d'ha)

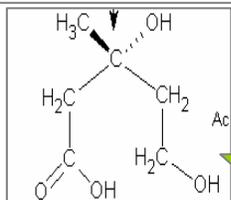


Continuer l'étude par l'analyse du régime de reproduction et des flux de gènes

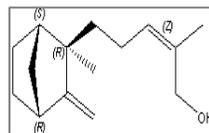
Map of posterior probability to belong to class 1



Acide mévalonique



Sesquiterpénoï
de (β -santalol)



Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

Diversité moléculaire neutre : expression à différentes échelles

Diversité sélectionnée : relation avec les facteurs environnementaux

Synthèse des résultats

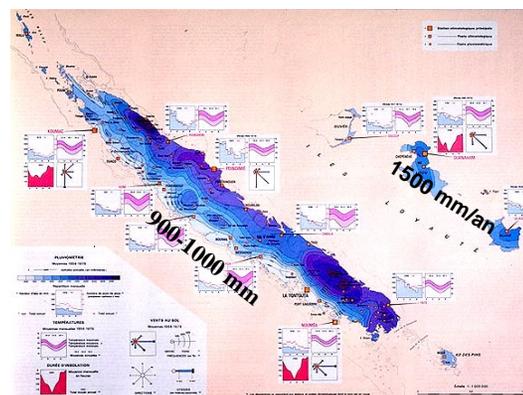
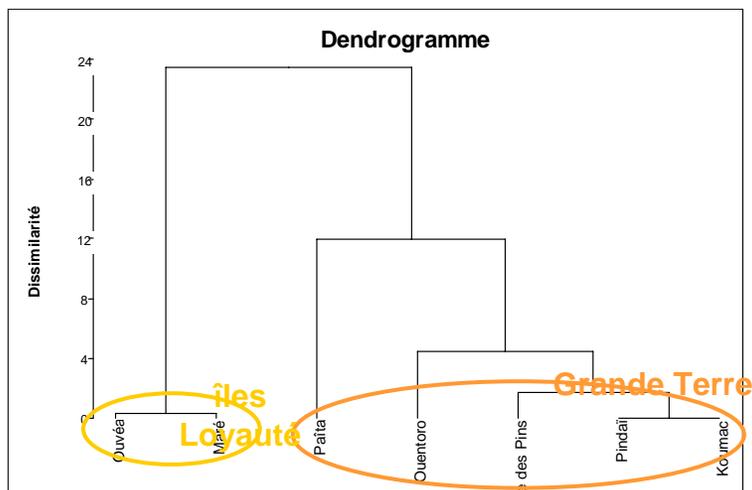
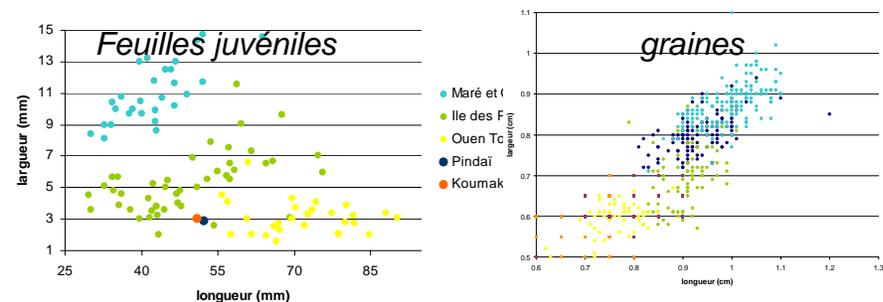
Transfert - valorisation des résultats



Diversité sélectionnée : variabilité morphologique des feuilles et des graines de *S. austrocaledonicum*

Variation marquée entre les populations pour la morphologie des feuilles et des graines

Sous forte dépendance génétique $H^2=0.70-0.80$ et fortement structurée $Qst=0.55-0.74$



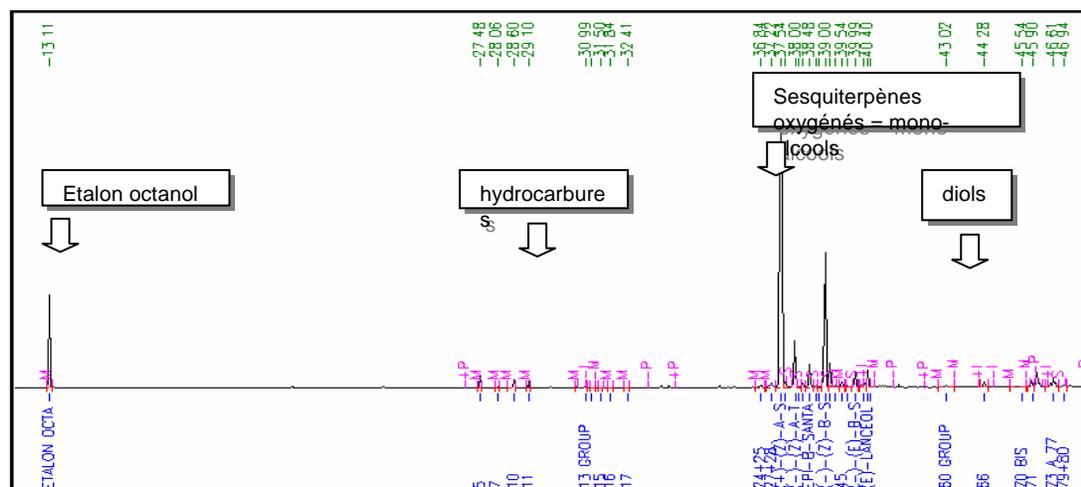
Relation avec la pluviométrie ?

Facteur induisant la sélection naturelle

Diversité sélectionnée : variabilité des constituants chimiques des huiles essentielles de *S. austrocaledonicum*

33 pics mis en évidence par CPG après extraction de la concrète (huiles essentielles + autres molécules)

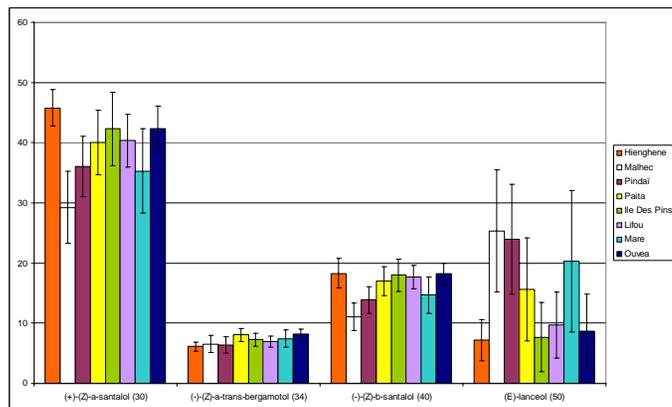
Hydrocarbures: 3.56% de l'aire totale de la concrète, Alcools: 89.0%, Diols: 3.54%.



Molécules les plus importantes (aire > 5%): (+)-(Z)- α -santalol, (Z)- α -trans-bergamotol, (-)-(Z)- β -santalol et (E)-lanceol

	<i>S. spicatum</i>	<i>S. album</i>	<i>S. austrocaledonicum</i>
(+)-(Z)- α -santalol	25%	50%	40.80%
(-)-(Z)- α -trans-bergamotol	5%	3%	7.50%
(-)-(Z)- β -santalol	11%	20%	17%
(Z)-nuciferol	11%	1%	1.50%
(E)-lanceol	2%	2%	14.20%

Diversité sélectionnée : variabilité des constituants chimiques des huiles essentielles de *S. austrocaledonicum*



On note une forte variabilité au sein des populations et faible variabilité entre populations (19%) malgré des populations relativement différenciées

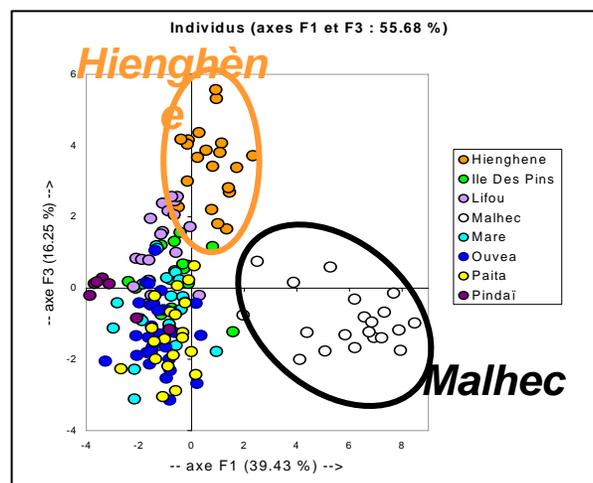
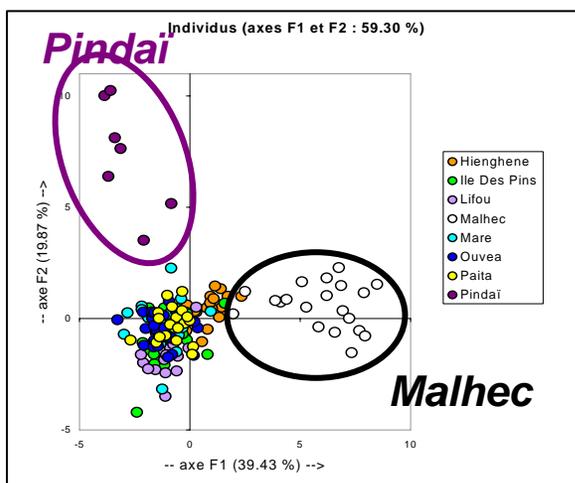
(+)-(Z)-a-santalol :
19.68%,

(-)-(Z)-a-trans-bergamotol :
9.06 %,

(-)-(Z)-b-santalol :
22.52%,

(E)-lanceol : 13.26%.

Qst=0.05-0.22



Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

Diversité moléculaire neutre : expression à différentes échelles

Diversité sélectionnée : relation avec les facteurs environnementaux

Synthèse des résultats

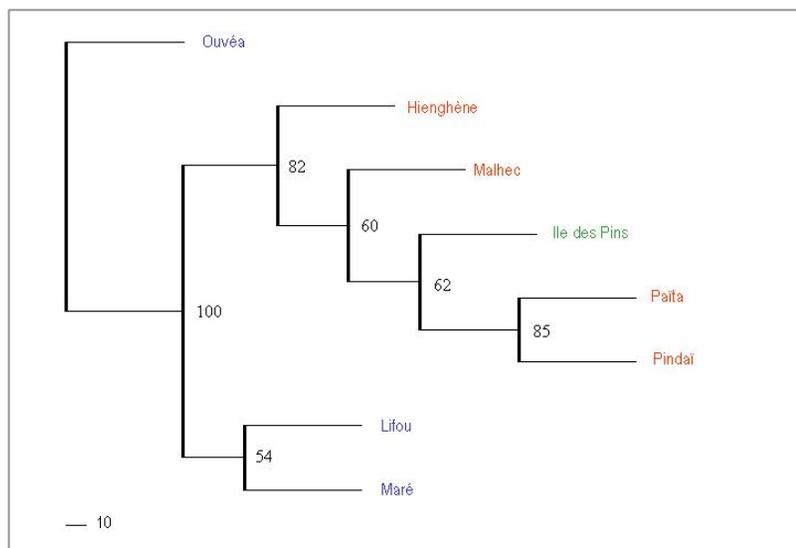
Transfert - valorisation des résultats



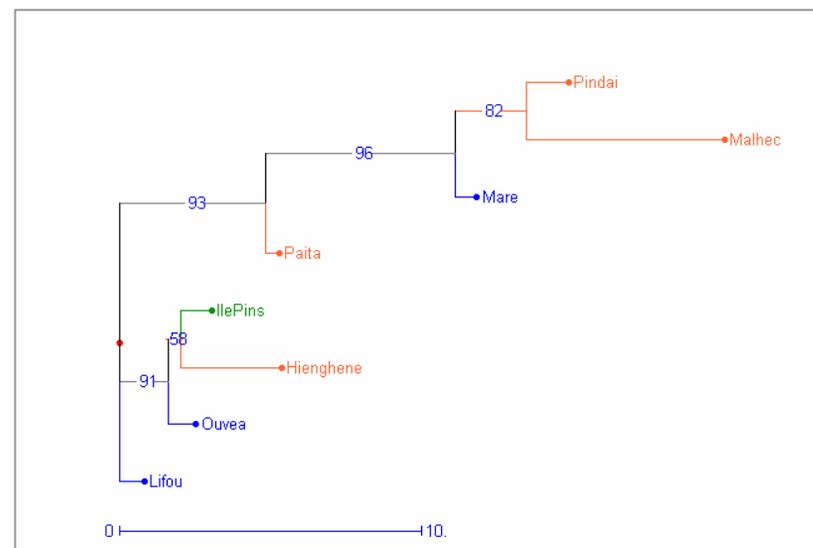
Diversité sélectionnée : variabilité des constituants chimiques des huiles essentielles de *S. austrocaledonicum*

Phénomène de dérive? Si oui, on attend une structuration similaire à celle des microsatellites : le test de Mantel ne met pas en évidence de relation entre les structures : possible effet de la sélection stabilisante ?

arbre des distances génétiques (microsatellites nucléaires)



arbre des distances chimiques





Impact des facteurs évolutifs sur la diversité de *Santalum austrocaledonicum*

Chez *S. austrocaledonicum*, les effets d'adaptation locale semblent prépondérants pour expliquer la différence de taille des feuilles et des graines $Q_{st} > F_{st}$.

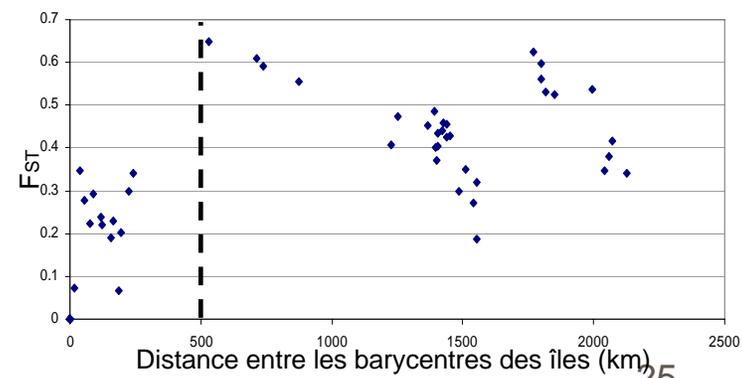
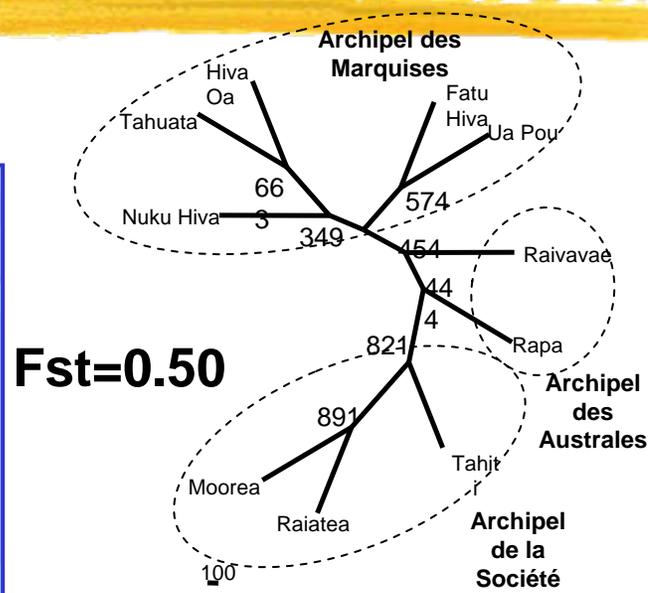
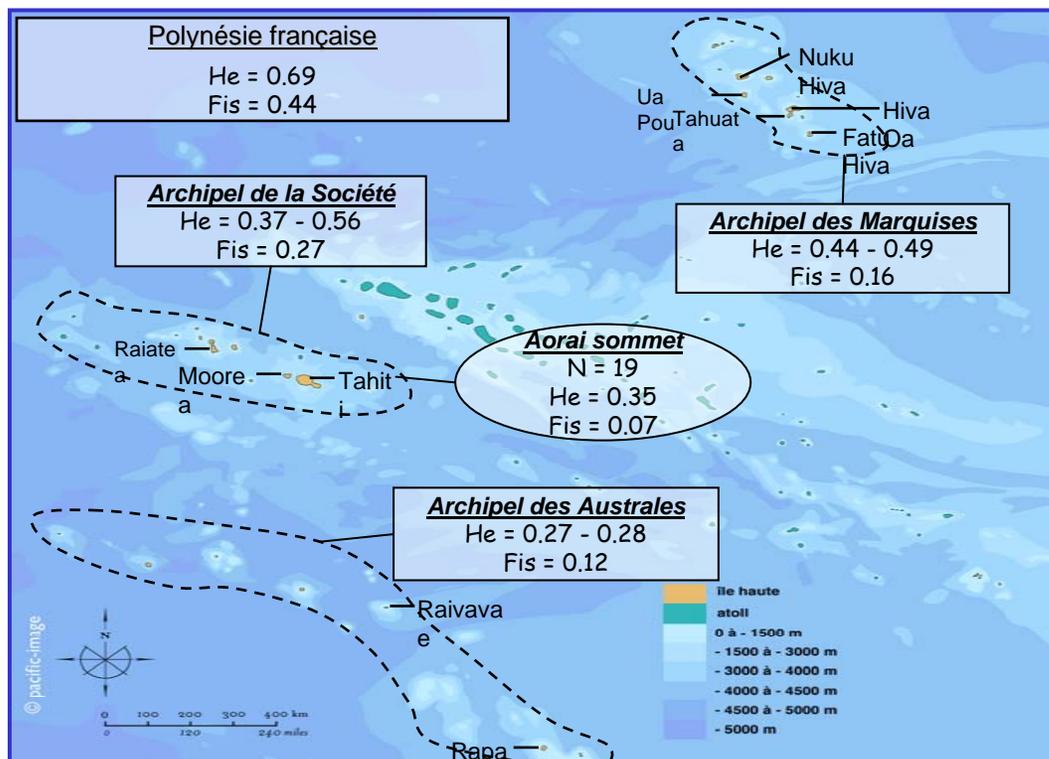
Par contre, pour les constituants sesquiterpénoïdes des huiles essentielles, $Q_{st} < F_{st}$, ce qui suggère une sélection stabilisante autour d'un optimum.



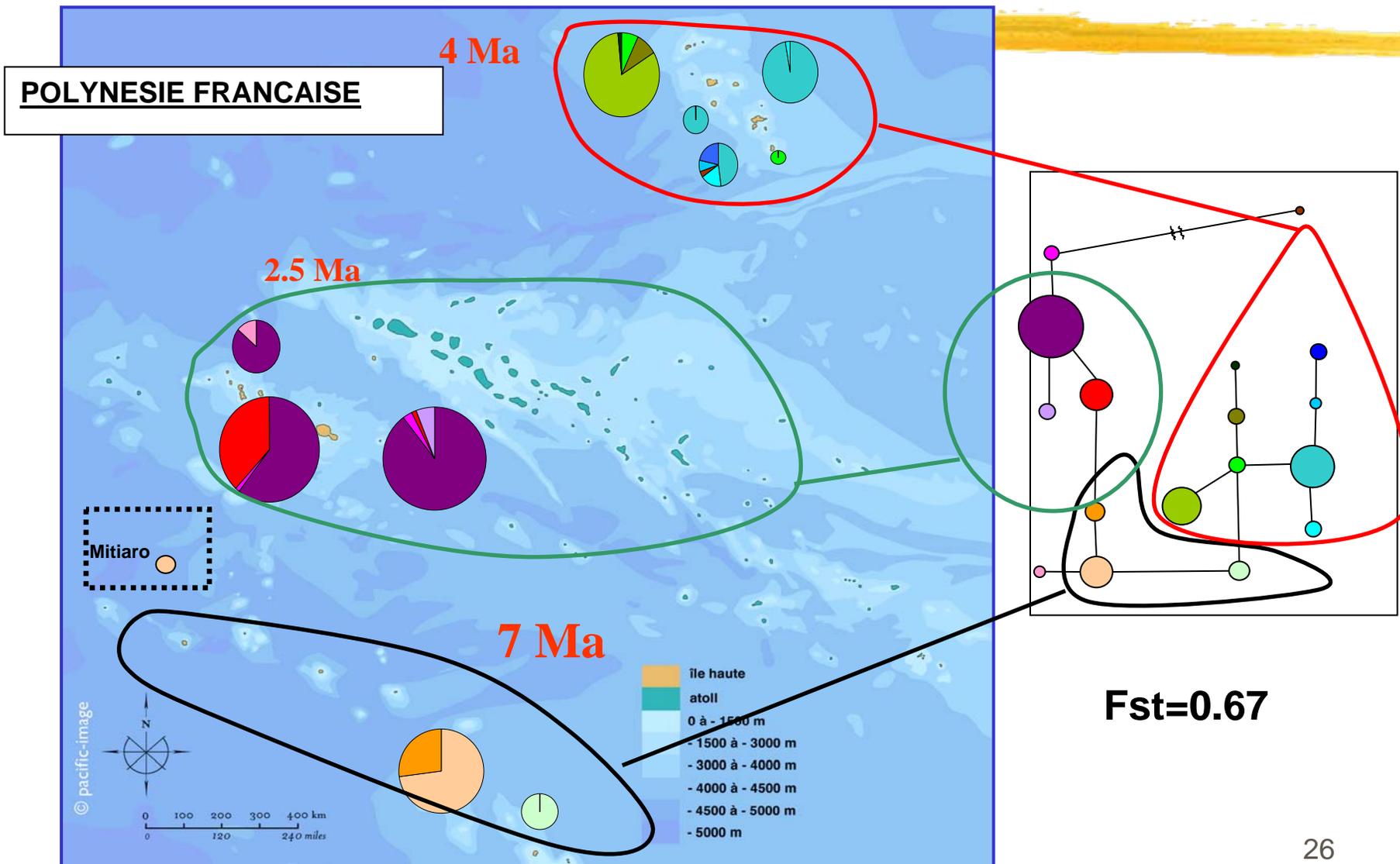
Approche similaire avec *Santalum insulare*



Diversité neutre : expression à différentes échelles : aire de distribution de *S. insulare* en Polynésie Française



Diversité neutre : expression à différentes échelles : aire de distribution de *S. insulare* en Polynésie Française



Diversité sélectionnée : variabilité morphologique des feuilles et des graines de *S. insulare*

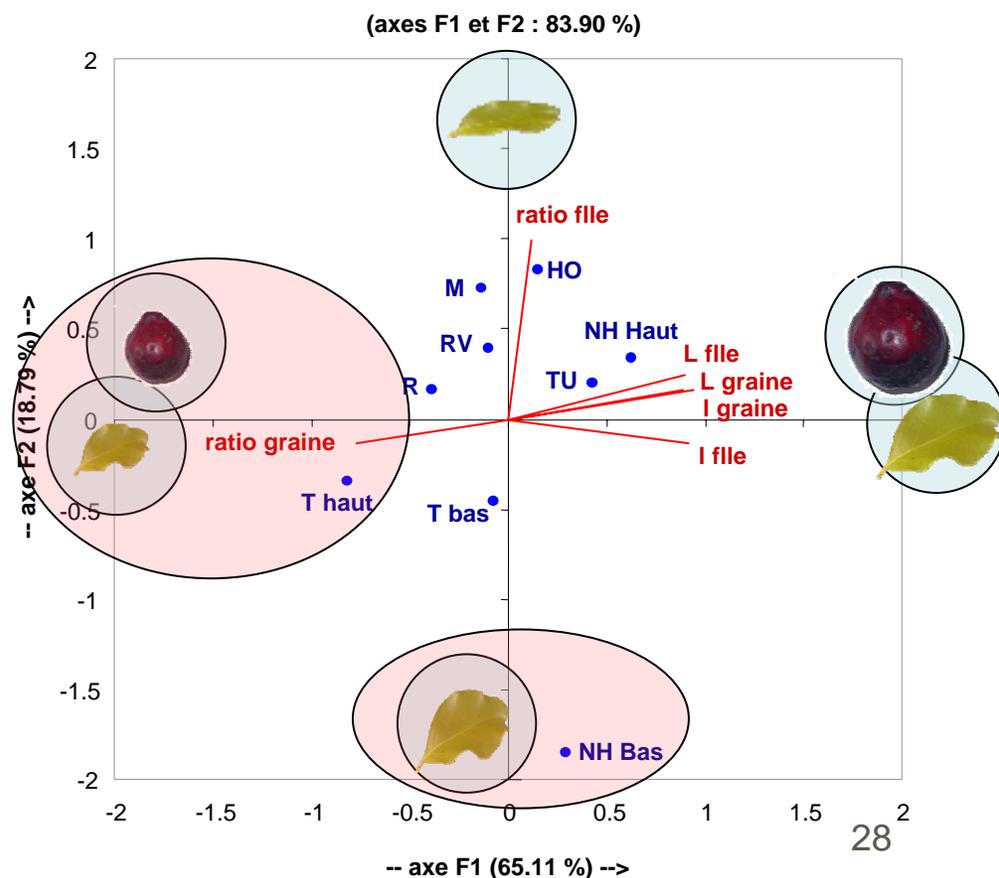
Gradient important
au sein de chaque île

Pas de relations claires
avec les variables
abiotiques

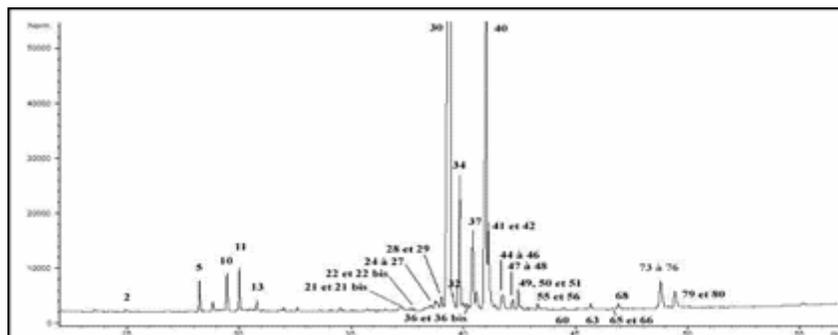
La variation inter
populations
représente de 50 à
90% de la variation
totale

Qst=0.38-0.53 feuilles

Qst=0.79-0.83 graines



Diversité sélectionnée : variabilité des constituants chimiques des huiles essentielles de *S. insulare*



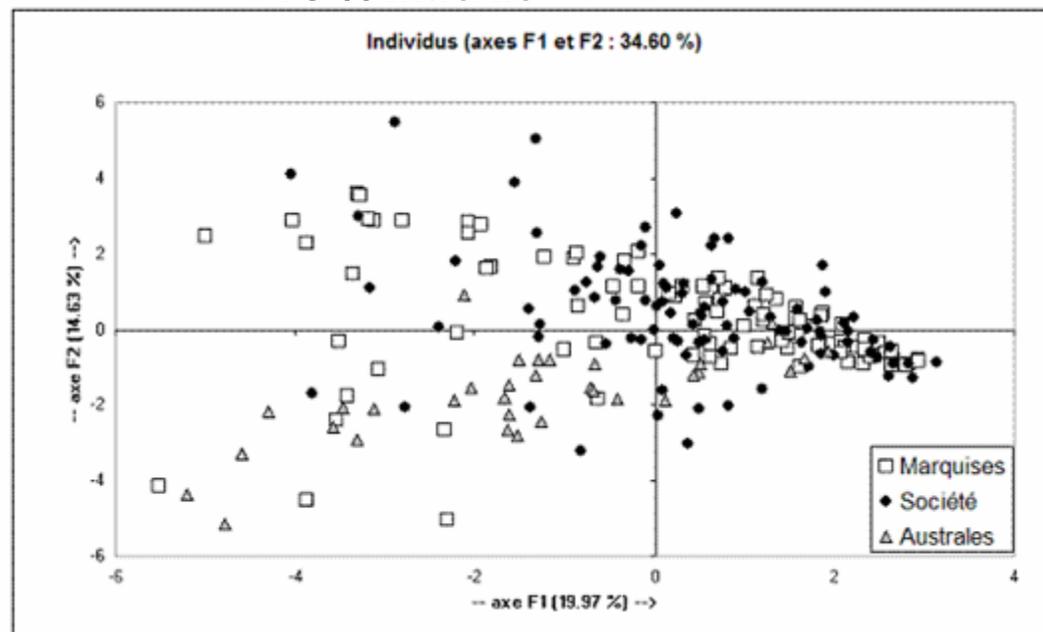
Distribution de la variabilité montrant un fort pourcentage intra île

14% inter archipel

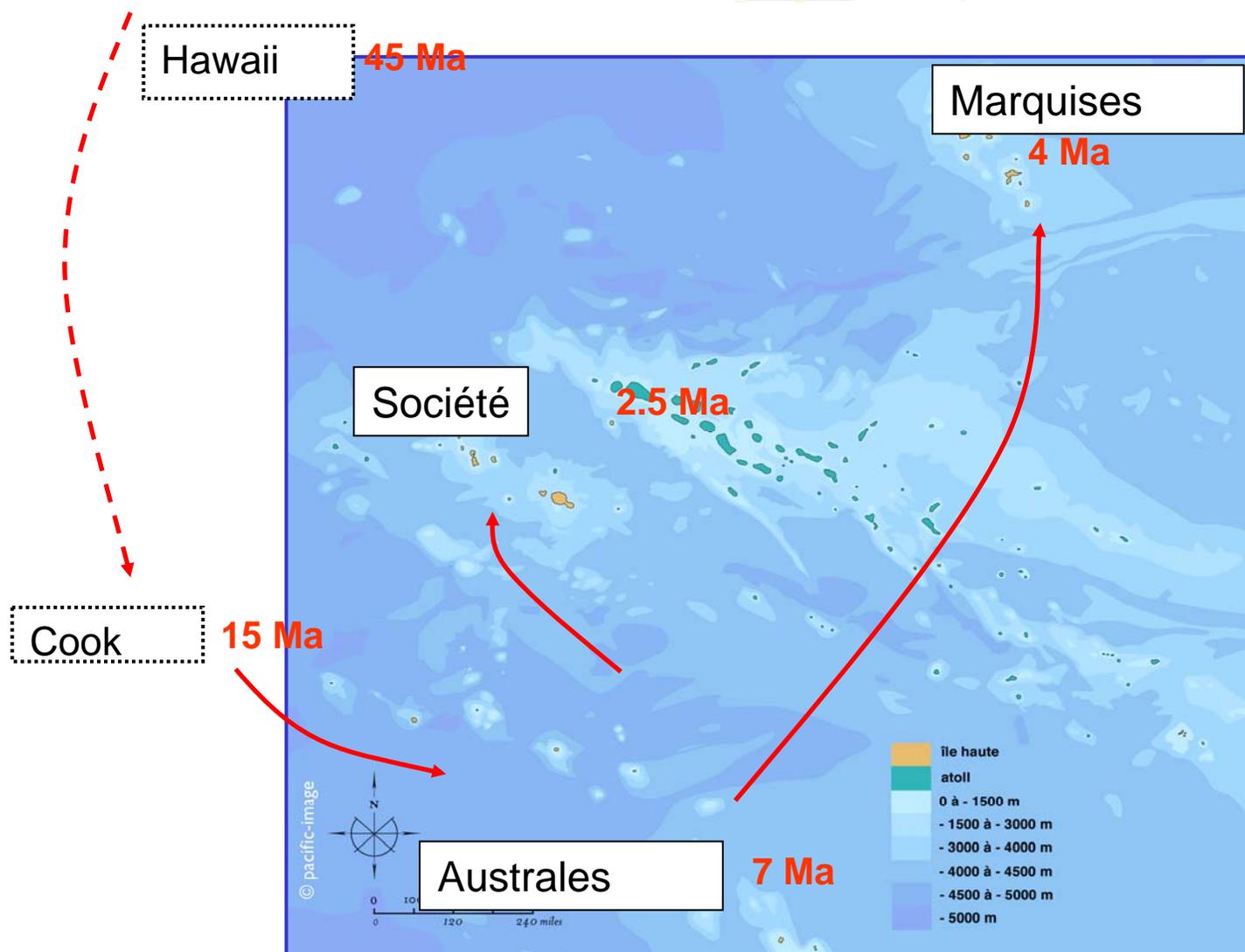
13% inter île/intra archipel

73 % intra île

Qst=0.07-0.34



Impact des facteurs évolutifs sur la diversité de *Santalum insulare* _ route de colonisation – pseudo vicariance





Impact des facteurs évolutifs sur la diversité de *Santalum insulare*

Chez *S. insulare*, les effets d'adaptation locale semblent prépondérants pour expliquer la différence de taille des graines $Q_{st} > F_{st}$, pour les feuilles, les effets de dérive semblent à l'origine de la différenciation.

Pour les composés secondaires on retrouve une faible différenciation inter populations, et $Q_{st} < F_{st}$ ce qui suggère chez cette espèce aussi un possible effet de la sélection stabilisante à l'échelle de la population totale.



Problématique : la diversité intra spécifique en milieu insulaire

Le genre *Santalum*

Diversité moléculaire neutre : expression à différentes échelles

Diversité sélectionnée : relation avec les facteurs environnementaux

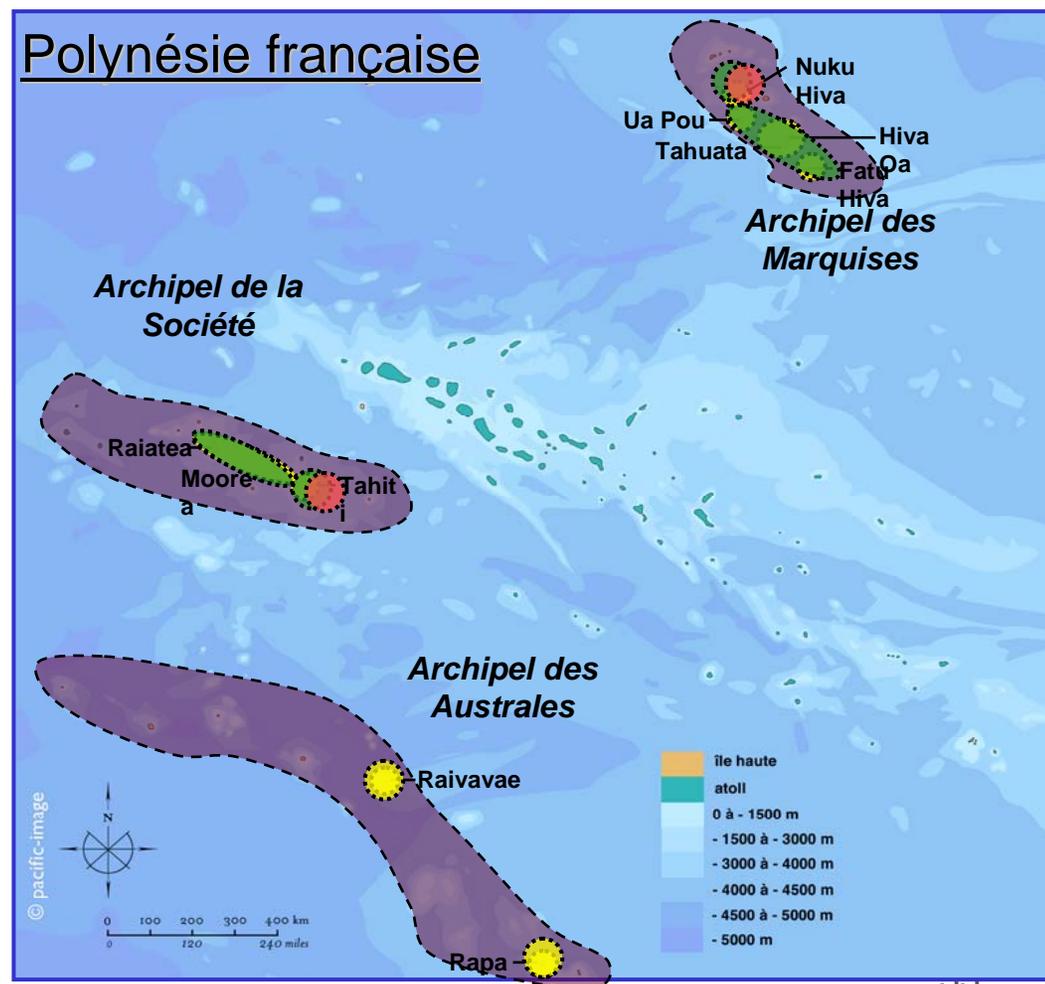
Synthèse des résultats

Transfert - valorisation des résultats

Application : Stratégies de Gestion/conservation

Définition d'unité de gestion

Sur la base du concept développé par Crandall et al (2000) associant approches moléculaires et caractères adaptatifs et autres facteurs abiotiques



Application : Stratégies de Gestion/ conservation des santals

Gestion pratique des unités de gestion

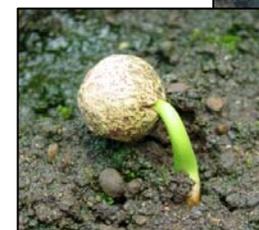
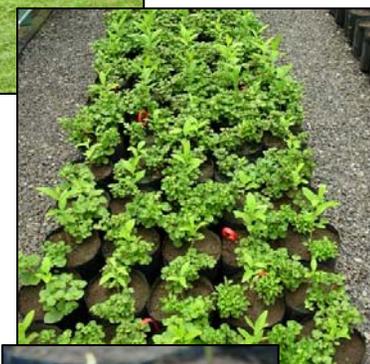
Restaurer la diversité - Restaurer le potentiel évolutif

⇒ Augmenter les effectifs réels des populations

- ☒ Plantations protégées → Réintroduction en milieu naturel
- ☒ Favoriser la régénération naturelle en luttant contre coupes illégales, feux, chèvres
- ☒ Favoriser la reproduction sexuée en luttant contre les rats...

⇒ Favoriser / restaurer les flux de gènes

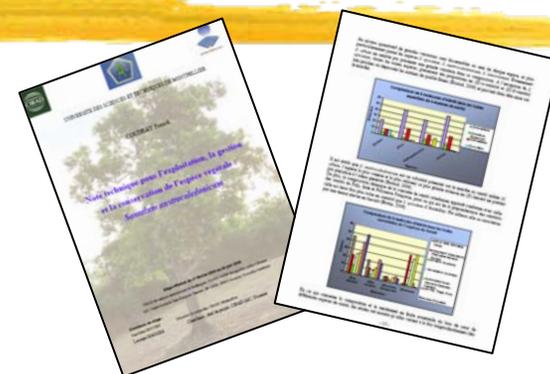
- ☒ Lutter contre les rats, les insectes
- ☒ et parasites
- ☒ Restaurer les populations d'agents disséminateurs
- ☒ Import / Export de jeunes plants



Transfert et valorisation

Note technique : Gestion du santal en Nouvelle-Calédonie
(Coudray et al., 2006)

Note technique : Bottin et al., 2005. Etude de la variabilité chimique de la concrète de bois de santal. Calédonien. 20 p + annexes. Maquette éditée par le CIRAD département Forêt.

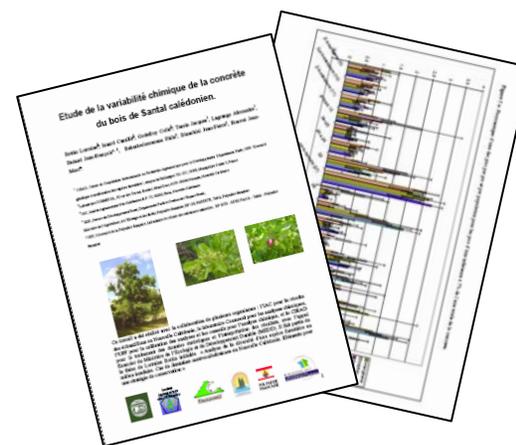


Actions de transfert et de communication

Butaud J.F. 2004. *Santalum insulare* (Bertero ex A.DC.): Distribution and Ecology. *Sandalwood Research Newsletter* 19: 1-4.

Butaud J.F. (Ministère de la Promotion des Ressources Naturelles –SDR). 2004. Santal (*Santalum insulare*). In : Arbres indigènes et arbres introduits de Polynésie française. Fascicule réalisé par le département FOGER du SDR à l'occasion des journées de l'arbre 2004 en Polynésie française.

Butaud J.F. & Meyer J.Y. 2004. Plans de conservation pour des plantes menacées et/ou protégées en Polynésie française. Contribution à la Biodiversité de Polynésie française N°11. Service du Développement Rural/Délégation à la Recherche, Papeete, 51 pages (fiche relative à *Santalum insulare* var. *margaretae*).



Equipes impliquées dans le projet



Financement : ce projet est financé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable dans le cadre du programme de recherche "Ecosystèmes Tropicaux" (convention de recherche N° CV 020000118).



J Tassin
A Lagrange
G Derroire
JP Chauvin
et son équipe

C Isnard
J Godefroy

W Tetuani
JP Meyer

P
Raharivelomana
na
JP Bianchini
V Gaydou
JF Butaud

I Olivieri
Dubois
L Fabricius

JM Bouvet
D Verhaegen
A Vaillant
M Poitel
D Marcon
A Aubry
A Martinez
P Sire
F Rives
E Lhuillier
F Coudray
L Bottin

Thèse UPF

Master UMII
Master Paris VI

Thèse UMII