

## Introduction

Les îles regorgent d'espèces propres. Avec leurs biotopes et biocénoses, elles disposent d'espèces endémiques, limitées dans leurs espaces géographiques (Futura-Sciences, 2012) avec leurs socio-écosystèmes. Les diversités biologiques terrestres sont trouvées dans des zones à caractéristiques agro-écologiques spécifiques couvertes d'espèces végétales dont certaines sont à potentiel apicole. Madagascar en tant que île dispose de nombreuses espèces endémiques. L'abeille malagasy, *Apis mellifera var unicolor* constitue un élément endémique de la biodiversité du pays. Avec les abeilles solitaires, *Apis mellifera var unicolor* comme toutes les espèces *Apis mellifera* sont des insectes pollinisateurs (Costanza *et al.* 1987 ; Mutsaers, 1991; Desquesne, 1996; Morison and al., 2000, Fact sheet, 2004, Freitas *et al.*, 2004, FAO, 2009). Ils assurent avec la production en nectar et de miel, la pollinisation des plantes et cultures (Faegri & Pjil, 1979 ; Mc Gregor, 1976 ; Pesson & Louveaux, 1984 ; Philippe, 1991 ;Tchuenguem *et al.*, 2007 Dounia & Tchuenguem, 2013). Madagascar dispose d'une diversité d'écosystème terrestre réparti sur différentes zonages agro-écologiques. La majeure partie des écosystèmes du pays dont ceux spéciaux garantit des apports alimentaires et non alimentaires aux populations locales à proximité par la fourniture de produits forestiers non ligneux dont de miel ainsi que de produits agricoles et non agricoles.

Si les liens entre la biodiversité et l'apiculture étaient peu connus et peu priorisés auparavant ; actuellement, le monde accorde une place plus importante aux pollinisateurs étant donné les services écologiques qu'ils fournissent (FAO, 2004). Ils constituent des éléments de résilience contre les changements climatiques ainsi que de prévention contre l'insécurité alimentaire.

A Madagascar, de nombreuses régions possèdent des caractéristiques agro-écologiques différentes et sont à potentiel apicole. Cependant, les effets de la pollinisation sur les biodiversités restent très peu considérés ; les apiculteurs malagasy se soucient rarement des états de leurs plantes mellifères ; durant les premières pertes d'abeilles dues à la varroase en 2010, les responsables étatiques ont nié les effets de la disparition des abeilles sur les productions de litchi de la cote Est.

D'une part, les zones à biodiversités importantes disposent d'écosystèmes diversifiés favorisant la pratique apicole. D'autre part, les pollinisateurs dont les abeilles fournissent des services écosystémiques comme la pollinisation générant des externalités positives aux cultures agricoles. Pourtant le système « écosystème spécifique – pollinisateur » est très peu considéré à Madagascar. Les répercussions de la maladie varroase sur les cultures agricoles malagasy sont minimisées. Comment peut-on qualifier qu'il y a interdépendance entre biodiversité et apiculture ?

L'objectif global est de justifier l'interdépendance existant entre l'apiculture et la biodiversité

malagasy.

Les questions de recherches posées sont :

- Existent-ils des paramètres qui justifient l'interdépendance entre biodiversité et apiculture ?
- Quelle est l'importance du rôle des abeilles dans la pollinisation des produits agricoles ?

Les objectifs spécifiques sont :

- Montrer l'avantage fourni par la biodiversité malagasy dans la réussite de la pratique de l'apiculture et
- Justifier l'existence et l'importance des services rendus par l'apiculture à la biodiversité.

Les hypothèses avancées sont :

- Les éléments biotiques et abiotiques de la biodiversité favorisent l'apiculture ;
- L'apiculture affecte positivement la biodiversité et l'agriculture.

Les résultats attendus sont :

- L'avantage fourni par la biodiversité malagasy dans la réussite de la pratique de l'apiculture sera montré ; et
- L'existence et l'importance des services rendus par l'apiculture à la biodiversité seront justifiés.

### **3.1 Matériels et méthodes**

#### **3.1.1 Zones d'études**

Les zones d'études retenues pour vérifier les hypothèses diffèrent.

- Pour l'hypothèse 21, trois zonages agro-écologiques différents ont été retenus. Il s'agit de : Manjakandriana de la région Analamanga, Rantolava de la région Analanjirofo et de Marofandilia de la région Menabe. Ces localités différentes ont été retenues afin de montrer la diversité des paysages et des espèces mellifères malagasy.
- Pour l'hypothèse 22, deux zones ont été étudiées:
  - o le cas des externalités entre l'horticulture et l'apiculture à Manjakandriana. Cette zone a subi une perte en biodiversité apicole, suite à la présence de la maladie varroase depuis 2010. L'étude réalisée a pour objectif de justifier l'effet du déclin de l'apiculture sur les productions horticoles.
  - o le cas des externalités entre l'apiculture - l'arboriculture de litchi sur la côte Est. Cette zone est connue pour sa production de litchi et pour sa production de miel de litchi, pourtant elle a également subi le déclin des abeilles depuis 2011. L'étude a pour objectif de justifier les externalités écologiques et économiques de la pratique associée d'apiculture et d'arboriculture de litchi à leurs issus.

### **3.1.2 Objets d'études**

Cette partie traite l'interdépendance de l'apiculture et de la biodiversité, les objets d'études diffèrent par sous hypothèse. La recherche s'est focalisée sur :

- les paysages agraires, des plantes mellifères et des exploitations apicoles ;
- les plants de litchi, des ruches, les plantes horticoles et agricoles ainsi que les exploitations apicoles et agricoles.

### **3.1.3 Démarche de vérification commune aux hypothèses**

#### **3.1.3.1 Méthode de collecte de données**

Les méthodes de collecte de données suivantes ont été optées :

- Capitalisations bibliographiques relatives aux structures des paysages des zones d'études et leurs évolutions, aux pratiques agricoles dans les zones étudiées, aux différentes modes de mise en valeur des territoires, aux pratiques apicoles, aux informations sur les plantes mellifères et leurs états ;
- Observations, relevés, et évaluations des plantes mellifères et de leurs abondances ;
- Enquêtes, entretiens semi-structurés auprès des apiculteurs sur les plantes butinées par les abeilles, leurs abondances et leurs caractéristiques ainsi que leurs aménagements de ces plantes ;
- Focus group et MARP auprès des différents acteurs locaux pour vérifier les informations identifiées concernant la structure du paysage agraire, les plantes mellifères, leurs abondances et leurs localisations.

#### **3.1.3.2 Méthode de traitement et d'analyse de données**

##### Concepts et théories mobilisés

Le concept développé dans cette partie est celui des services écosystémiques notamment la pollinisation par les abeilles. Il s'agit des externalités écologiques et économiques de la pratique de l'apiculture au sein d'un écosystème diversifié et riche. La théorie économique de Meade, les cadrages par rapport au rôle de la pollinisation pour/grâce à la biodiversité par l'INRA et l'approche TEEB ont été pris en compte afin de justifier les externalités agricoles et économiques.

##### Types d'analyse effectués

Les types d'analyse retenus pour vérifier les hypothèses ont été :

- Approche paysage et Analyse descriptive des écosystèmes apicoles des localités associées à une analyse systémique des modes de conduite de systèmes de production par les exploitations apicoles et agricoles ;

- Modélisation d'externalités sous XLStat Excel par la simulation de l'évolution des productions et de l'évolution des valeurs ajoutées obtenues ; et
- Analyse de comportement des apiculteurs dans leurs investissements en plantes mellifères et conduite de systèmes de production face à la maladie varroase.

### **3.1.4 Démarche de vérification spécifique à chaque hypothèse**

Les démarches de vérification des hypothèses optées sont développées ci-dessous.

#### **3.1.4.1 Démarche de vérification de l'Hypothèse 21 : « les éléments de la biodiversité et ceux qui garantissent son existence favorisent l'apiculture »**

Les facteurs biotiques et abiotiques de la biodiversité garantissent son existence. L'approche paysage et la cartographie participative sur la base d'approche systémique des éléments de la biodiversité dans le temps et au niveau spatial ont été optées.

La valorisation des études antérieures, les descentes d'identification, d'observation, d'enquêtes sur terrain et les cartographies participatives ont été effectuées pour vérifier l'hypothèse émise dans cette partie de la thèse.

##### ***a) Description des facteurs abiotiques et biotiques de la biodiversité des zones d'études***

Des représentations sous forme de schémas des unités agro-écologiques dont des éléments qui les constituent et de leurs usages ont été réalisées. Les facteurs suivants ont été considérés : les espèces d'abeilles malagasy, les socio-écosystèmes dominants, le paysage, le climat, la géologie, la physiographie (Harrisson I. H *et al*, 2004) et la flore des zones d'études.

La description des principaux pédopaysages de Randriamboavonjy en 1996, l'atlas de Madagascar, les observations sur terrain et l'élaboration d'une cartographie participative par la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) ont permis la description des éléments constituant la biodiversité des zones d'études.

##### ***b) Appréciation des potentiels mellifères des zones d'études***

Afin de produire du miel, les abeilles ont besoin de plantes cultivées ou spontanées produisant des fleurs à nectar et/ou à pollen. Les plantes mellifères butinées par les abeilles constituent des ressources de miellées durant la floraison.

##### **✓ Inventaire des plantes mellifères identifiées**

Les identifications des ressources mellifères et de leurs potentialités apicoles ont été déterminées à partir des observations, des enquêtes et des inventaires par rapport aux ruchers des apiculteurs. La liste de plantes mellifères établie par la FAO en 1986, les études antérieures sur les espèces apicoles des zones

d'études ont servi d'élément de base. Les plantes mellifères situées à 1km aux environs des ruchers ont été les plus observées car lorsque les ressources florales sont abondantes, les colonies ne dépassent presque pas ce rayon (Zurbuchen *et al.*, 2010).

Les plantes sur lesquelles on retrouve *Apis mellifera unicolor* entrain de butiner sont dénommées plantes mellifères. Les ressources mellifères ont été identifiées à partir : (i) des observations directes, (ii) des enquêtes auprès des apiculteurs et (iii) par l'appréciation de l'abondance des espèces déterminées à la suite de bibliographies dont celles relatives aux analyses polliniques des miels issus de la zone. Certains éléments de la morphologie, de la physiologie de la plante et des facteurs de l'environnement déterminent l'intérêt apicole des plantes. Les autres utilisations possibles des plantes en tant qu'aliment, bois de chauffe, bois de construction, plantes médicinales, moyen de défense ou de restauration de sols etc. ont également été pris en compte.

Pour chaque plante supposée mellifère :

- les informations suivantes ont été recueillies : (i) types de plante mellifère, (ii) genres et espèces, (iii) exposition au soleil, (iv) élément(s) de la fleur/plante exploité(s) par les abeilles, (v) usages possibles et (vi) rôle dans l'amélioration de la fertilité du sol.
- Les données recueillies ont été analysées sous Excel et Xlstat. Il s'agit des données sur : les tendances d'utilisation des plantes mellifères par zone d'étude, la corrélation entre les usages possibles des plantes et leurs caractéristiques.

#### ✓ **Identification des plantes mellifères abondantes/potentielles**

Le choix des abeilles dans le butinage des fleurs est fonction de la diversité et de l'abondance des plantes (Louveaux, 1990 ; Lobreau-Callen & Damblon, 1994). La diversité est fonction du nombre de types de plantes. L'abondance par contre est fonction de la densité au mètre carré ainsi qu'au nombre de fleurs butinées et de la quantité de nourriture extraite. La fréquence de butinage des abeilles sur une plante est liée aux nombres de fleurs et à la facilité de son butinage. Les étapes suivantes ont été effectuées :

- Calcul de la variable « importance mellifère » « IM » de chaque plante par :
  - Scorification de la densité au km<sup>2</sup> (Dté au km<sup>2</sup>), l'abondance des fleurs (Abd),
  - Identification de la durée de floraison (Dfl en mois).
  - Calcul de la variable importance
$$IM = Dté * Abd * Dfl$$
$$IM\% = IM / 300$$
- Pour les plantes identifiées comme étant d'importance mellifère et insistées par les apiculteurs comme étant mellifère :
  - l'abondance des fleurs a été scorifiée : 5 pour ceux qui présentent une densité<sup>3</sup> importante,

---

<sup>3</sup> Arbres : 20pieds/100m<sup>2</sup> avec nombreuses fleurs par pied

- 3 pour une densité moyenne et 1 pour une densité faible,
  - la couleur des fleurs a été identifiée.
- Analyse sous ACP de XLstat de la corrélation des caractéristiques des plantes mellifères dans chaque zone d'études.
- Pour toutes les plantes, soit, 105 plantes dans toutes les sites étudiées, les calendriers de floraison ont été dressés.
- Le calendrier apicole a également été dressé.

### **3.1.4.2 Démarche de vérification de l'Hypothèse 22 : « La pratique de l'apiculture affecte positivement la biodiversité »**

Dans cette partie il s'agit de montrer l'existence d'externalité positive de l'apiculture sur la biodiversité dont sur l'agriculture.

Les effets de la situation de la pratique apicole sur les arbres fruitiers et les productions horticoles ont été étudiés. Deux études de cas ont été optées :

- A l'aide de la modélisation d'externalité entre l'arboriculture de litchi et l'apiculture, l'effet de l'apiculture sur la biodiversité, sur l'arboriculture de litchi a été apprécié. Le cas d'un verger de litchi situé dans la partie Est de Madagascar a été étudié.
- L'effet de la disparition des abeilles sur les productions horticoles a été évalué.

Les analyses d'externalités ont été faites dans un contexte d'approche systémique des zones de production, les ressources mellifères, les abeilles, les apiculteurs et agriculteurs ont été étudiés par rapport à leur logique socio-économique et analyses financières de rentabilité.

#### ***a) Modélisation d'externalité entre arboriculture de litchi et apiculture***

La cote Est malagasy est dominée par des pieds sauvages de litchi à 80% (CITE, 1999) et l'apiculture moderne ne fait que commencer à se développer pour quelques zones. Cette partie comprend : i) la modélisation de l'évolution dynamique d'une exploitation, et ii) l'identification des externalités qui existent entre la production de miels et de litchi.

#### **✓ Modélisation de l'évolution dynamique d'une exploitation**

La modélisation tient compte de la capacité de production de litchis par âge et par pied, du nombre de pieds nécessaires de litchi pour satisfaire à une colonie d'une ruche, etc.

La modélisation a été faite à l'aide des calculs sous Excel. Pour cette recherche, l'étude de cas prise est celle d'une exploitation sur 30 ans d'investissement dans la mise en œuvre :

- de verger structuré de litchi type respectant les normes de l'EurepGap, et
- de rucher nécessitant la surface du verger de litchi comme plante mellifère principale.

La modélisation de l'évolution dynamique a permis d'identifier : (i) l'évolution du nombre de

pieds de litchi et de ruches à mettre en place par an, (ii) l'évolution des productions et (iii) les taux de production.

- *Verger de litchi sur 30 ans d'investissement*

Concernant la production de litchis, les données utilisées pour une étude de mise en place de verger structuré de litchi et de corossol en 2009 ont été considérées. La même logique dans l'évolution de surface de verger exploitée ( $SV_i$ ) et de production de litchis sur 30 ans d'investissement a été retenue.

**Tableau 12: Esquisse du tableau de l'évolution de production de litchi**

Année	Verger	Surface verger cumulé (ha)	Nb. pieds de litchi	Prod. de litchi (kg)	Taux de production
1		$SV_1$	$L_1$	$PL_1$	$PL_1/\max(\$PL_1:\$PL_n)$
			$L_2$		
...		$SV_i$	$L_i$	$PL_i$	$PL_i/\max(\$PL_i:\$PL_n)$
n		$SV_n$	$L_n$	$PL_n$	$PL_n/\max(\$PL_n:\$PL_n)$

Source : Auteur, 2011

L'évolution des taux de production a été représentée sous forme de graphe.

- *Rucher pour exploiter le verger de litchi*

Le nombre de ruches à implanter dépend de la surface totale de verger cultivée. Pour déterminer le nombre de ruches à investir, un tableau d'évolution de production de miel a été dressé puis représenté sous forme de graphe.

**Tableau 13: Esquisse du tableau de l'évolution de production de miel**

Année	Surface verger (ha)	Nb. ruches correspondant	Nb. ruche à investir par an	Prod. miel (kg)	Prod. miel de litchi (kg)	Taux production
1		$NR_{c1}$	$NR_1 = NR_{c1}$	$PM_1$		$PL_1/\max(\$PL_1:\$PL_n)$
		$NR_{c2}$	$NR_2 = NR_{c2} - NR_{c1}$			
...		$NR_{ci}$		$PM_i$		$PL_i/\max(\$PL_i:\$PL_n)$
N		$NR_{cn}$	$NR_n = NR_{cn} - NR_{c(n-1)}$	$PM_n$		$PL_n/\max(\$PL_n:\$PL_n)$

Source : Auteur, 2011

Où :  $PM_i$ : Quantité de production de miel à l'année « i »  
 $PL_i$ : Quantité de production de litchis à l'année « i »  
 $NR_{ci}$ : nombre de ruches correspondant à la surface de verger exploitée à l'année « i »  
 $NR_i = NR_{ci} - NR_{c(i-1)}$ : nombre de ruche à investir par an à l'année « i ».

✓ **Externalité positive**

L'externalité positive réside dans le fait que l'implantation de verger structuré de litchi située à côté de rucher influence positivement les possibilités de la production de miel de litchi et augmente la pollinisation de pieds de litchi. On distingue deux services indirects :

- L'arboriculteur ne tient compte que du coût de pollen pour calculer ses profits sans tenir compte du

coût qu'elle induit à l'apiculteur. Il se préoccupe par contre du nombre de pollinisations qu'effectue l'abeille sur les fleurs de ces pieds de litchi. L'apiculture permet la pollinisation de pieds de litchi de l'arboriculteur par l'amélioration de rendement de production et la résistance aux maladies et affections des plantations ;

- L'apiculteur se préoccupe du volume de pollen et donc du verger de litchi sur lequel il n'exerce aucun contrôle. L'état des pieds de litchi entretenus par l'arboriculteur lui permet d'obtenir du miel de meilleure qualité et à bon prix.

Face aux externalités, on a déterminé les fonctions de production de chaque type de producteur et on a montré leurs interrelations ou influences des uns sur les autres. Ce qui a permis de déterminer la maximisation de profit ou l'effet positif de l'un par l'autre.

- *Identification des fonctions de production*

Pour montrer l'effet positif de la mise en œuvre de l'un par l'autre, les valeurs des Taux Internes de Rentabilité (TRI) ont été modélisées et représentées en fonction de la production par régression non linéaire. Le logiciel XLStat a permis d'effectuer la modélisation. Pour cela, on a pris comme :

- variables à modéliser ou dépendantes les valeurs des TRI, et
- variables explicatives les valeurs des productions.

Les résultats de la régression non linéaire ont permis l'obtention de l'équation du TRI en fonction de la production (P). La fonction est représentée sous forme d'équation.

$TRI = f(P) = aP^2 + bP + c$  où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des constantes (Ramananarivo et al., 2012)

- *Détermination de rapport de production*

Puisqu'il s'agit d'externalité, la maximisation de profit de l'un influence positivement celle de l'autre. L'optimum est à déterminer pour une maximisation de profit. A partir de la notion de maximisation de profit, on peut déterminer le maximum de production pour chaque activité. A partir de la dérivée partielle, le profit maximal pour chaque fonction de production est déterminé.

$$\partial TRI / \partial P = \partial f(P) / \partial P = 2aP + b$$

A partir des résultats obtenus sur la maximisation de profit, on a déterminé le rapport de productions optimales convenables. Ce qui a permis de déterminer les conditions auxquelles chaque activité peut être optimale.

**b) *Justification de cas d'existence d'externalités par l'effet de la varroase dans des zones apicoles***

Des analyses sur les logiques de conduite des exploitations apicoles de la zone d'Anjepy affectées par la varroase et la qualité de leurs productions agricoles ont été effectuées.

✓ **Effet sur les productions**

Il s'agit de comparer et représenter sous forme de graphique les variations de production agricole des EAA pendant 3 périodes importantes notées :

- $Prod_i$  = Production avant l'arrivée de la varroase
- $Prod_v$  = Production pendant la période de déclin des colonies, c'est-à-dire durant la période d'infestation, à la période de déclin des colonies jusqu'à la désertion des ruches ou extinction des colonies
- $Prod_r$  = Production pendant la période de repeuplement des ruchers et du début d'utilisation de traitement, c'est la Production après l'infestation de la varroase dans les ruchers.

✓ **Effets sur la conduite des systèmes de production**

Les activités priorisées avant et après la varroase ont été déterminées par l'évaluation de l'importance des valeurs ajoutées issues des activités pendant les 3 périodes importantes. Ce qui a permis de comprendre comment les EAA ont géré leurs systèmes de production avant et après la varroase.

$$VA = (Prod * Prix) - Consommation intermédiaire$$

L'importance de la VAB par activité de production par période a été déterminée

$$\text{Importance } VA = VA_n / VA_i$$

$VA_n$  = Valeur ajoutée à la période n et  $VA_i$  = Valeur ajoutée avant l'apparition de la varroase

✓ **Effets sur le prix de miel, les qualités de production**

Les valeurs des indicateurs les variations de prix et de qualité de production ont été déterminées. Les indicateurs pris en compte sont : le prix du miel, le calibre des fruits, le taux de fleurs des arbres fruitiers et les rendements de production.

La variation du prix de miel sur le marché a été calculée. Un graphe de changement de prix de miels auprès des apiculteurs durant les trois périodes marquant la maladie a été dressé. Les périodes : avant 2010, entre 2010 et 2011 et après 2012 + ont été retenues.

Des entretiens ainsi que des observations directes ont été faites en vue de déterminer la qualité des fruits situés à proximité des ruchers infestés. Les dimensions et les quantités de production ont été comparées par rapport aux années passées.

**Tableau 14: Fiche de relevé**

Produit	Quantité produite avant varroase Avant 2010	Quantité produite durant période début varroase 2010-2011	Quantité produite après 2012+	Anomalies perçues

### 3.1.5 Limites de l'étude

L'étude n'a pas tenu compte des aspects suivants :

- Seules les plantes mellifères ont fait l'objet d'études, le poids des ruches durant les périodes de miellée n'ont pas été considérées.
- Le comportement des abeilles par rapport à l'exploitation de propolis et de miellat.
- Les plantes mellifères déterminées n'ont pas été vérifiées par des analyses polliniques. L'abondance des pollens dans le miel n'a pas été déterminée. Les plantes retenues figurent dans les bibliographies.
- Les études de la localisation des types de plantes mellifères déterminées à chaque étage écologique des terroirs agricoles n'ont pas été considérées.

### 3.1.6 Synthèse de la deuxième démarche

La figure suivante synthétise la démarche entamée dans la vérification de cette deuxième partie de la thèse.

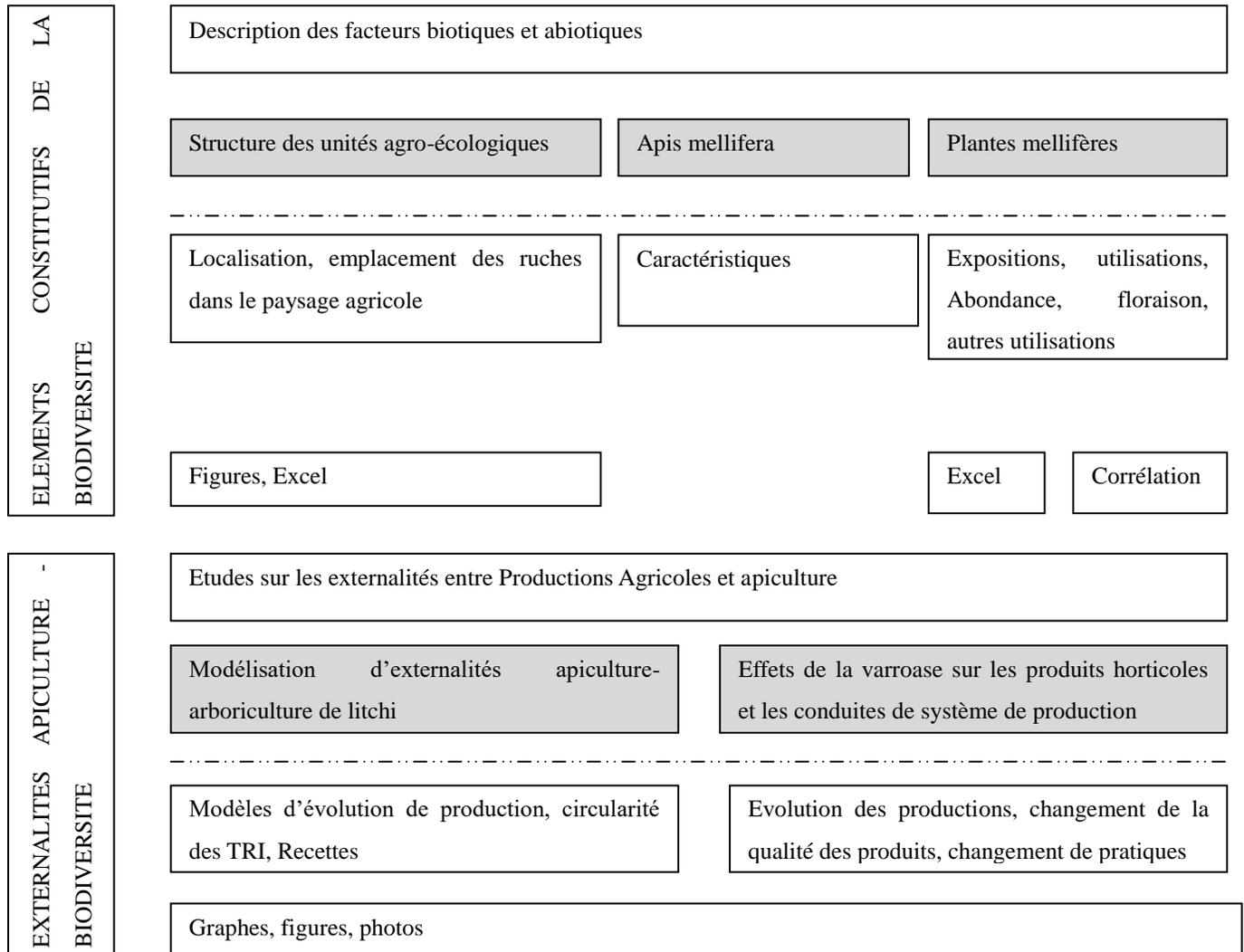


Figure 12: Synthèse de la deuxième démarche