



Vers des systèmes écologiquement innovants en horticulture



Ecole chercheurs 11-14 mars 2013

APPROCHES AGRONOMIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES POUR LA CONCEPTION DE SYSTÈMES HORTICOLES ÉCOLOGIQUEMENT INNOVANTS ET ÉCONOMIQUEMENT PERFORMANTS

Actions *via* la plante

Interactions entre l'architecture de la plante et les bio-agresseurs

Pierre-Eric Lauri, INRA Montpellier, UMR AGAP

Frédéric Normand, Cirad Réunion, UR HortSys

Introduction

L'architecture de la plante

Concepts

Intérêts

Modes d'actions de l'architecture de la plante sur le bio-agresseur

Actions directes

Actions indirectes

Effets spatiaux et temporels

Conclusion

Introduction

1 – Le rôle de l'architecture de la plante *lato sensu* sur le bio-agresseur est reconnu

Ex. : Hauteur de l'arbre - insectes herbivores sur le chêne pédonculé dans un mélange d'arbres forestiers (mélanges d'espèces, chênes et Pins)

↳ 2 aspects : effet « dilution » de la plante-hôte parmi d'autres plantes non-hôtes (Jactel & Prockerhoff 2007) ET hauteur de l'arbre, et interactions entre les 2 → « need to consider plant size as a covariate » (Castagneyrol *et al* 2013)

Ex. : hauteur de l'arbre → Pommier - plus d'infestation par le carpocapse (Kührt *et al* 2006 ; Stoeckli *et al* 2008a)

Ex. : type de système racinaire – Pommier - moins de nématodes quand l'arbre est sur ses propres racines (système racinaire puissant) que quand il est greffé sur porte-greffe nanisant (système racinaire moins développé) (Zimmerman & Miller 1991)

2 – Les effets de manipulation de l'architecture sont également constatés

Ex. : Tailles – *Citrus* - effets de différents traitements (hiver/été, intérieur/extérieur) de taille sur un phytophage (thrips, *Scirtothrips citri*) et sur un de ses prédateurs (*Euseius tularensis*) → tous les traitements augmentent le nombre de prédateurs ce qui diminue en retour les populations de thrips → intérêt de la taille pour le contrôle du thrips (Grafton-Cardwell *et al* 1995)

Ex. : Tailles – Pêcher - taille d'hiver → augmente les populations de puceron vert (*Myzus persicae*) (Grechi *et al* 2008)

3 – Quelques interprétations ...

- **Hauteur de la plante** - « filtre » efficace pour les insectes volants / direction du vent / maturation du fruit
- **Système racinaire** – il y aurait une relation positive entre le développement du système racinaire (arbre sur ses propres racines) et sa résistance aux nématodes
- **Tailles** – taille « vigorisante » → augmente la proportion de pousses en croissance recherchées par le puceron vert (tissus plus tendres, sève plus riche en éléments nutritifs...)

Stoeckli *et al* (2008b) hors taille : pousses longues plus infestées que pousses courtes

Relations entre plante et bio-agresseurs. Deux théories :

- ✂ “plant vigor hypothesis” : ↗ vigueur ↗ organes jeunes à forte appétence (Price 1991 ; Mody *et al* 2009). Mais pas le cas du système racinaire !
- ✂ “sink competition model” : ↘ nombre de puits physiologiques ↗ l’infestation sur les puits restants = les axes en croissance (Larson et Whitham 1997)

3 – Quelques interprétations (suite)

NB : quand attaque d'un bio-agresseur → mécanismes physiologiques (ex. : hormones (GA, ABA...), métabolisme secondaire) et morphologiques de défense de la plante → interactions complexes avec la croissance de la plante (Johnson & Lenhard 2011)

↳ « hauteur », « longueur », « croissance », « porosité »... (Pangga *et al* 2013) : nécessité d'avoir une approche précise de la structure de la plante.

L'architecture de la plante fournit des outils d'analyse et de compréhension (Costes *et al* 2013)

4 – Quelques interprétations architecturales

- ✍ **Ando et al 2007** / plante-pathogène - « architectural avoidance » / « **Echappement architectural** » :
 - Plante sensible X bio-agresseur virulent X environnement
 - MAIS absence ou ralentissement de l'infection/infestation de la plante,
 - ← caractères (pubescence foliaire, taille et forme de feuille, phyllotaxie, longueur de l'entre-nœud...) qui limitent le contact du pathogène avec la plante-hôte ou qui créent un environnement défavorable
 - ← différence de sensibilité selon l'ontogénèse de l'organe (résistance ontogénique ; cire, ouverture des stomates)

4 – Quelques interprétations architecturales (suite)

✍ **Ferrandino 2008** / plante-pathogène

Hypothèses généralistes : intégration de la phénologie et de la porosité du couvert

a) **2 échelles de temps :**

Plante : croissance frondaison

&

Pathogène : production de spores

} **Il n'y a infection que si les 2 processus sont concordants**

b) **Porosité de la frondaison** : filtration de l'air par la frondaison plus ou moins élevée → détermine le succès de l'infection

NB : même schéma pour l'infestation

L'architecture de la plante

Concepts

Intérêt

1 – Contexte et notions de base

L'architecture végétale est basée sur l'idée de lois sous-jacentes (Hallé et Oldeman 1970, Hallé *et al* 1978 ← Corner 1975)



Xanthorrhoeaceae (Noosa Natl Park, Queensland, Australie)

Végétation divariquée (Nouvelle Zélande)

L'architecture de la plante - Concepts de base

Concepts initialement développés sur arbres et buissons, en milieu inter-tropical.

Travaux de synthèse sur herbacées (Jeannoda-Robinson 1977)

Des critères qualitatifs simples

1 - Mode de croissance (un seul méristème construit la branche ou plusieurs ; monopodial vs sympodial)



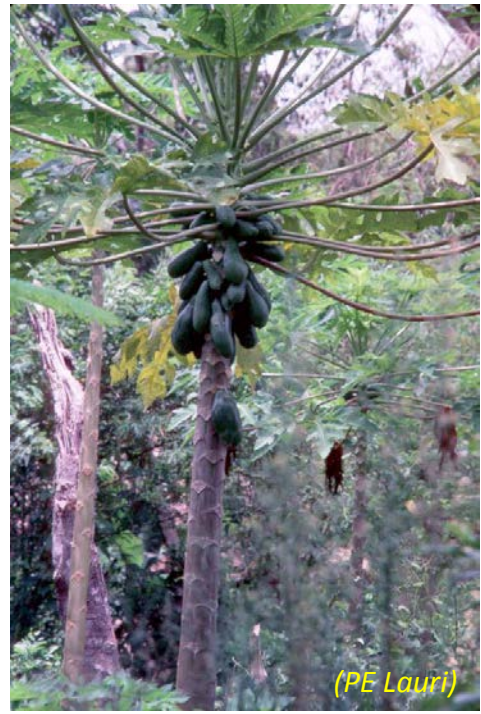
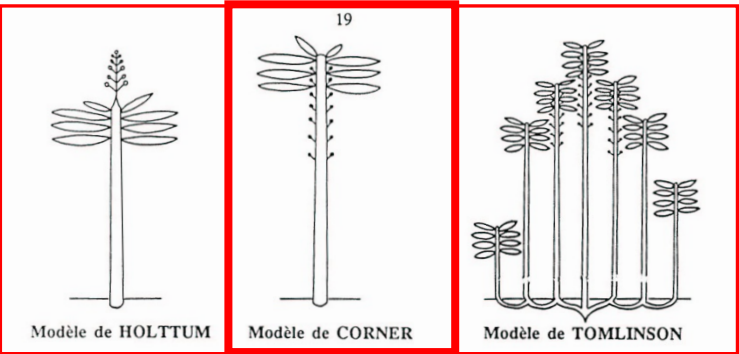
2 - Type de croissance (rythmique vs continu ou pseudo-continu)

3 – Différenciation morphologique des branches (vers le haut ou à plat ; orthotropie vs plagiotropie)

4 – position des fleurs/fruits (en bout de branche ou sur le côté ; terminale vs latérale)

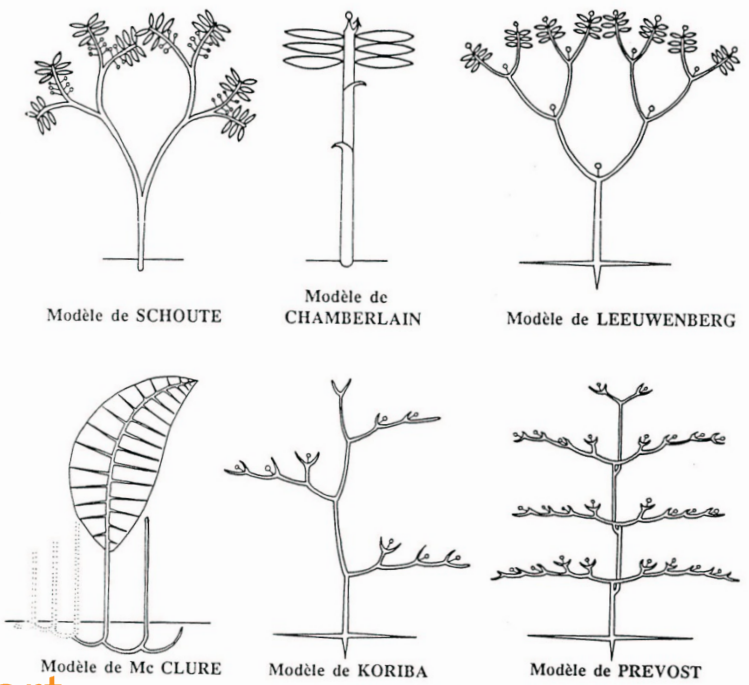
Des modèles qualitatifs simples (23) : les modèles architecturaux

Pérennes
et
herbacées



Papayer -
*Carica
papaya*

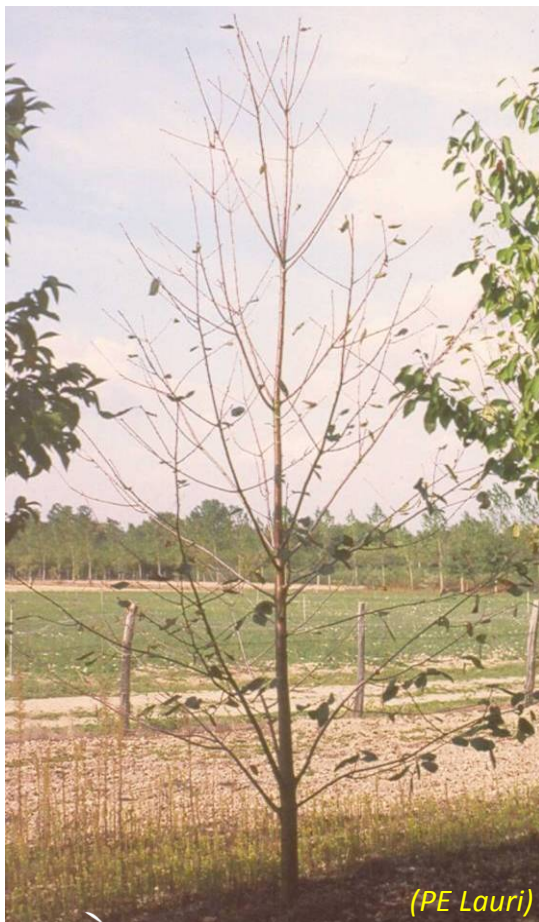
(PE Lauri)



(PE Lauri)

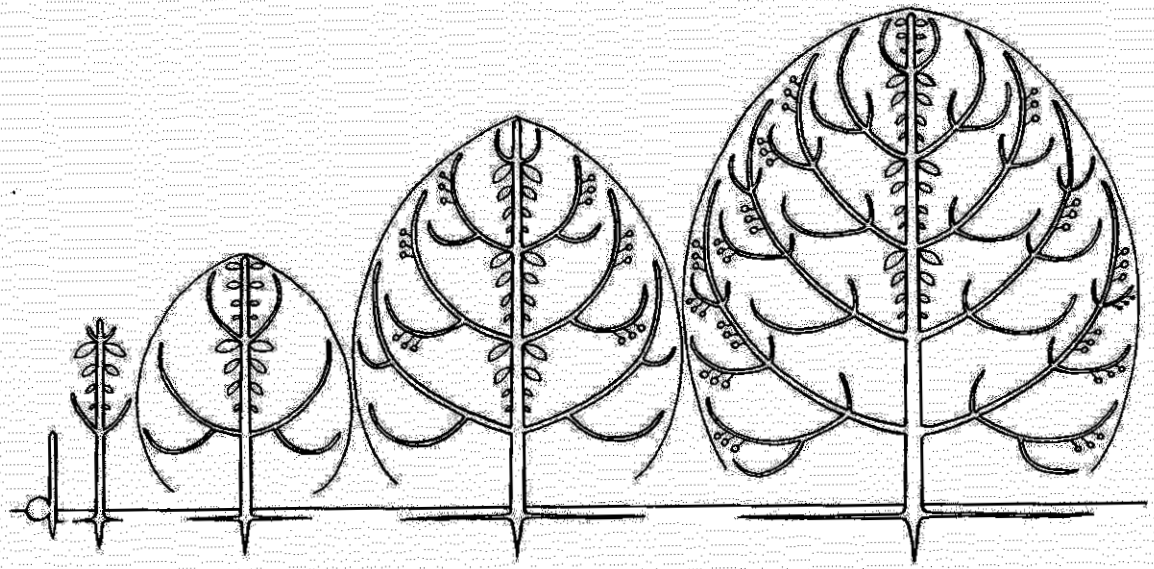
L'architecture de la plante - Concepts de base

Selon l'espèce, l'architecture correspond à un seul modèle...
e.g. Cerisier du modèle de Rauh



(PE Lauri)

21 a. Trunk with *rhythmic growth in height* Rauh's model (p. 221)
e.g., Gymnosperm: *Pinus caribaea* (Honduran pine – Pinaceae)
Dicotyledon: *Hevea brasiliensis* (Para rubber tree – Euphorbiaceae)



Rauh

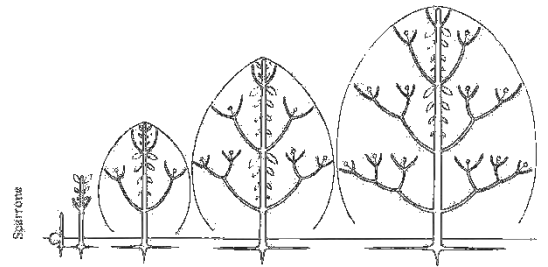
(Hallé et al 1978)

L'architecture de la plante - Concepts de base

... ou à 2 modèles

e.g. Pommier des modèles de Rauh et de Scarrone

18a. Vegetative axes all orthotropic 19
 18b. Vegetative axes all mixed 22 (p. 96)
 19a. Inflorescences terminal, i.e., branches sympodial and, sometimes in the periphery of the crown, apparently modular 29
 19b. Inflorescences lateral, i.e., branches monopodial 21
 20a. Trunk with rhythmic growth in height Scarrone's model (p. 213)
 e.g., Monocotyledon: *Pandanus taminii* (Pandaniaceae)
 Dicotyledon: *Mangifera indica* (mango – Anacardiaceae)



Caractères architecturaux du pommier :

- 1 – Branches initialement orthotropes (tronc et branches érigés). Affaissement secondaire variable selon la variété et la charge en fruit.
 - 2 – Ramification rythmique.
 - 3 – Floraison latérale / terminale ET Croissance monopodiale / sympodiale (tronc et branches).
- Modèles de Rauh vs. Scarrone

Starkrimson tree / M7 âgé de 5 ans

Critères qualitatifs simples

Modèles architecturaux

Intégration de connaissances analytiques sur les plantes

→ Modèle synthétique

Réitération

Mécanisme par lequel la plante va augmenter sa hauteur et son volume en répétant tout ou partie de son modèle architectural

L'architecture de la plante - Concepts de base

Nb : répétition (processus) formant des complexes répétitifs (résultat)



(PE Lauri)



(PE Lauri)



(PE Lauri)



(PE Lauri)

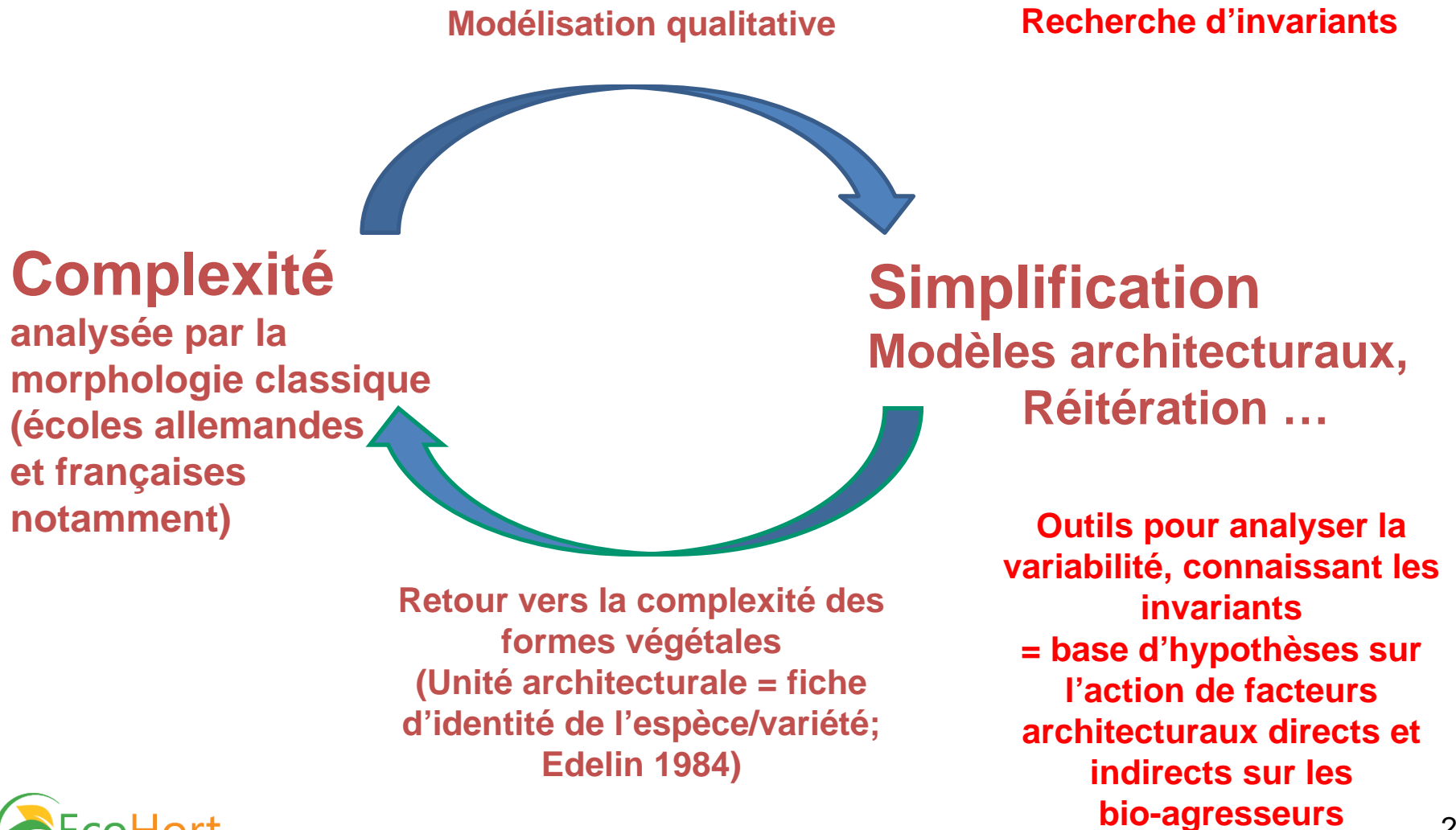


(PE Lauri)

Réitération induite par la taille de l'arbre fruitier



2 – Intérêt de la connaissance architecturale pour analyser la plante



2 – Intérêt de la connaissance architecturale pour analyser la plante

→ Caractères architecturaux : à l'échelle spatiale (Barthélémy & Caraglio 2007 ; Godin & Caraglio 1998)

1 – Plante entière :

hauteur
volume
forme

} Appareils aérien et racinaire

2 – Intra-plante :

caractères topologiques : type de connexion entre organes (monopode/sympode), **densité de ramification...**
caractères géométriques : dimensions, angles...

On y ajoute les caractères de la botanique classique détaillant la morphologie des organes : **feuille** (forme, pubescence...), fleur, inflorescence.

→ Caractères architecturaux : à l'échelle temporelle (Dambreville *et al* 2013)

Modes d'actions de l'architecture de la plante sur le bio-agresseur

Modes d'actions de l'architecture de la plante

1 – Direct :

Topologie

Ex. : **densité de ramification** qui agit sur la dynamique d'infestation du puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*) sur Pommier (Simon *et al* 2012)

2 – Indirect :

Via un effet sur un prédateur

Ex. : **feuille vs vrille** qui agit sur le prédateur (coccinelle) du puceron sur Pois (Kareiva et Sahakian 1990)

Via un **effet sur le micro-climat** résultant de la croissance végétative

Ex. : Pommier – tavelure (Simon *et al* 2006)

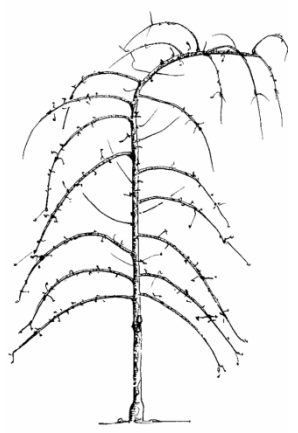
3 – Dimensions structurelle et temporelle de l'architecture

Modes d'actions de l'architecture de la plante - Direct

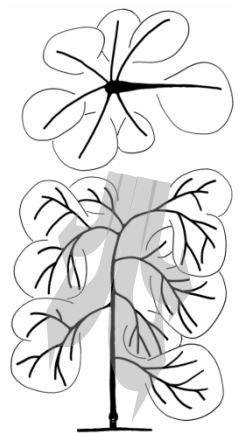
1 – Direct

Topologie - Pommier et Puceron cendré (Simon *et al* 2012)

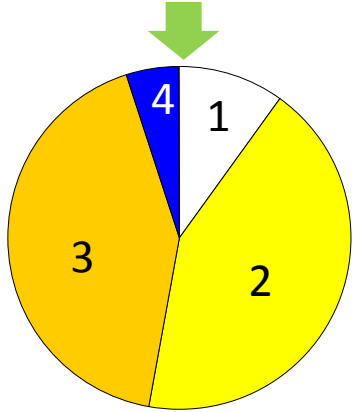
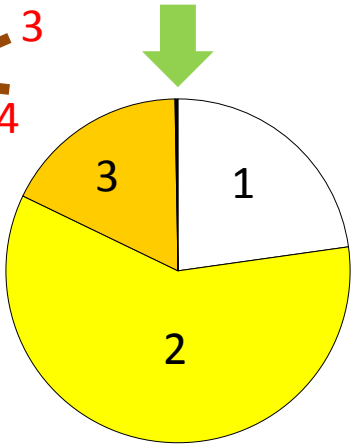
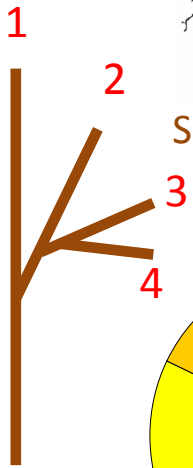
✂ La conduite de l'arbre modifie la topologie des rameaux (Lauri 2002)



Solaxe (années 1990)



Conduite Centrifuge (années 2000)



Ordre de ramification → nombre de bifurcations



(PE Lauri)

Pour améliorer la régularité de la fructification il faut diminuer la densité de la ramification.

Méthode de taille : *extinction artificielle*



(PE Lauri)

Modes d'actions de l'architecture de la plante - Direct

Puceron cendré :

- insecte piqueur-suceur
- n'est nuisible qu'au Pommier
- Plante-hôte secondaire :
Plantain (*Plantago lanceolata*)

- ↗ proportion des formes ailées
- migration sur **Plantain** (juin-juillet).
- NB : dispersion des formes aptères sur d'autres arbres par le vent

→ sexupares aptères & ailés, mâles

Facteur architectural prépondérant : distance/connectivité entre organes

oeuf d'hiver déposé en automne à la base des **bourgeons** ou sous les **écorces**

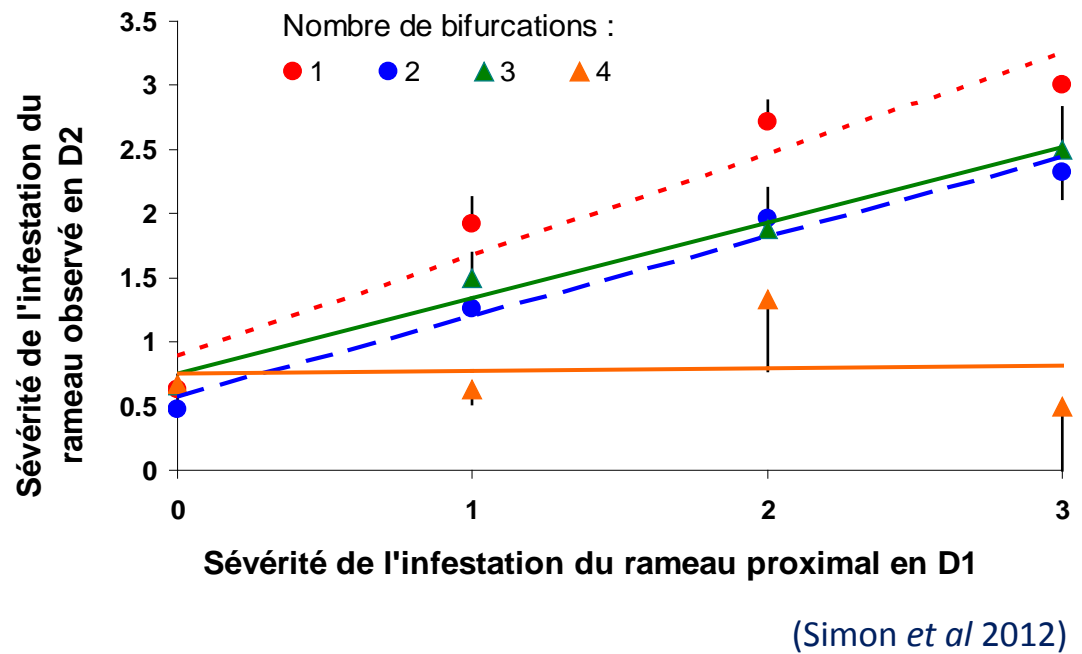
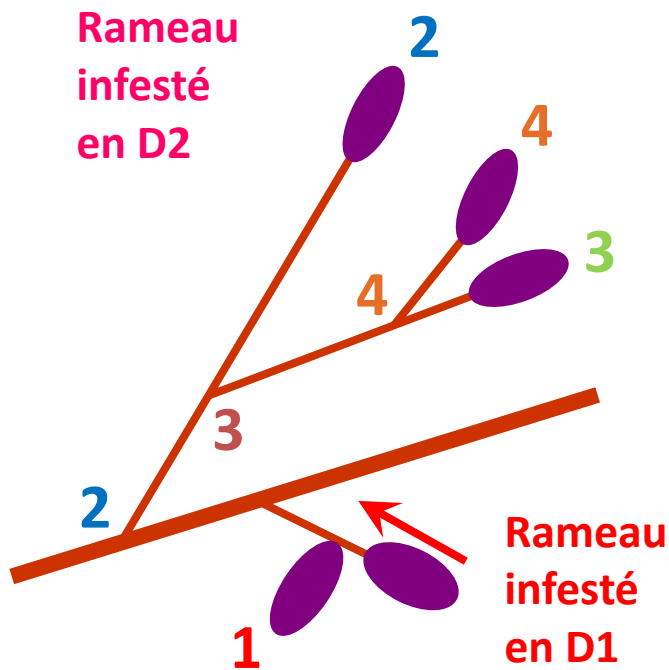
- Eclosion au débourrement printanier / pommier
- **fondatrice**
- virgines aptères (parthénogenèse)
- **déplacement sur rameaux**
- colonies à la face inférieure des feuilles ou sur les rameaux



Modes d'actions de l'architecture de la plante - Direct

Influence de l'architecture de la branche sur l'infestation par le puceron cendré :

- Distance métrique : peu pertinent à l'échelle de la branche
- Nombre de bifurcations ?



1 – Corrélation positive entre sévérité d'infestation des rameaux voisins en date D2

2 – Le nombre de bifurcations diminue cette corrélation ($P < 0.05$)

2 – Indirect :

Via un effet sur un prédateur (Kareiva et Sahakian 1990 ; Legrand et Barbosa 2000)

Contexte d'interactions tri-trophiques

Plante ← herbivore ← prédateur

ex. : Pois ← puceron ← coccinelle



L'architecture du pois (feuille vs vrille) affecte le prédateur qui régule alors le puceron ... mais n'affecte pas directement le puceron

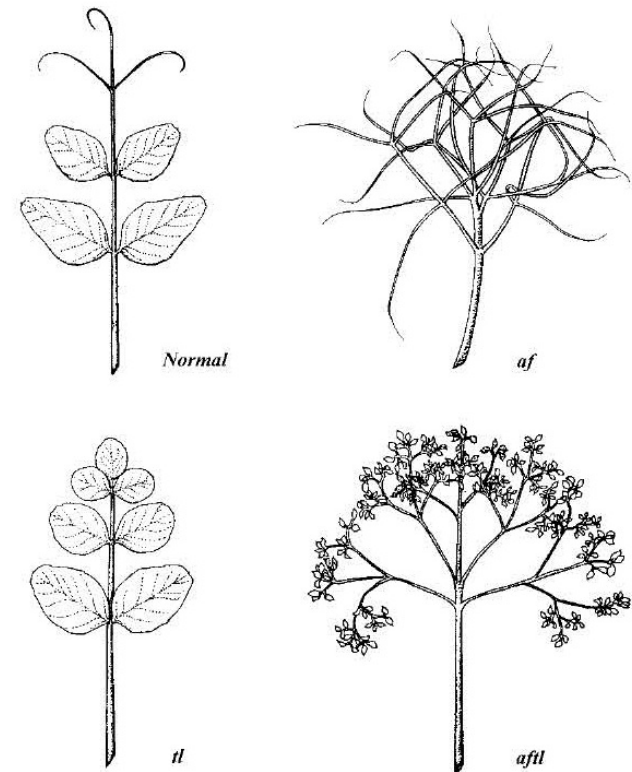


Fig. 1. Leaves of the *Normal*, *af*, *tl*, and *aftl* near-isogenic lines of pea, *Pisum sativum* L. The *Normal* leaf type is composed of the rachis, two pairs of leaflets, and terminal tendrils. The *af* leaf has all leaflets substituted by tendrils. The *tl* leaf mutant is composed of a rachis and only leaflets. The *aftl* leaf mutant is composed of a highly branched rachis and tiny leaflets.

2 – Indirect

Via le micro-climat résultant de la croissance végétative

Ex. : Pommier – tavelure (*Venturia inaequalis* ; Simon *et al* 2006)



Climat lumineux (STAR) dans des arbres soumis à 2 modes de conduite (Willaume *et al* 2004)

Tavelure sur fruit (PE Lauri)

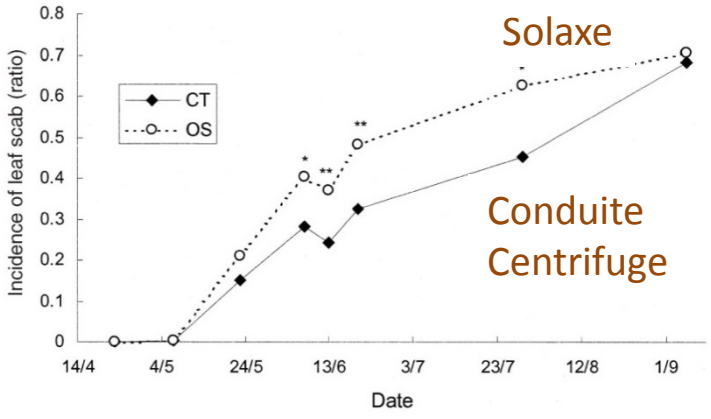
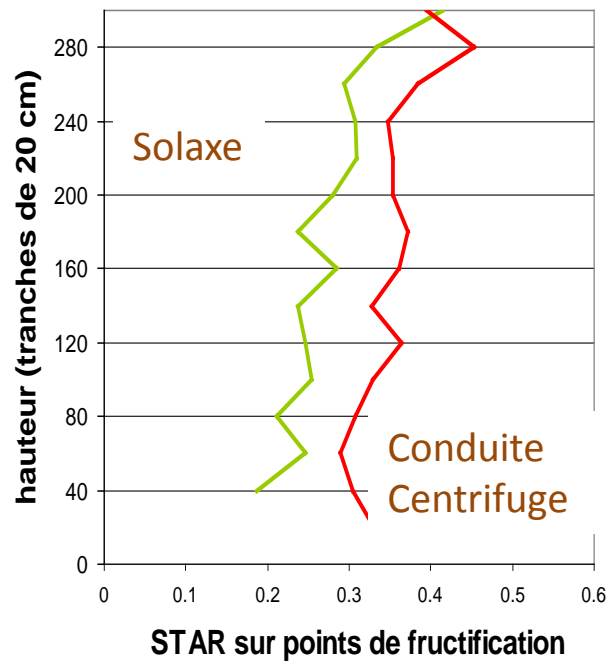


FIG. 5

Incidence (ratio of scabbed to total fruits) of apple scab on fruit in centrifugal trained (CT) and Original Solaxe (OS) trees in 2002. Statistical significance at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ is indicated by * or **, respectively.

Profil vertical des STAR sur points de fructification



L'infection par la tavelure est diminuée par une frondaison aérée

NB : Conforte des résultats précédents sur Pois – *Sclerotinia* : faible espace entre rangs → micro-climat plus humide → infection plus élevée (Ando *et al* 2007)

3 - Architecture spatiale et temporelle

Certains bio-agresseurs sont inféodés à un stade phénologique sensible, parfois très fugace



(CIRAD)

Ex: certaines mouches des fruits (*Ceratitidis rosa*, *C. capitata*, *Bactrocera zonata*) piquent les mangues ou les goyaves-fraises (Normand *et al* 2000) à l'approche de la maturité du fruit.

Ex. : cécidomyie des fleurs du manguier (*Procontarinia mangiferae*) s'attaque

* à tous les stades des inflorescences, mais les dégâts économiques sont sur les jeunes stades (Amouroux *et al*, 2010)

* aux jeunes stades de développement des feuilles, (4-10 jours).



Dégâts de cécidomyie des fleurs sur une jeune inflorescence de manguier (P. Amouroux)



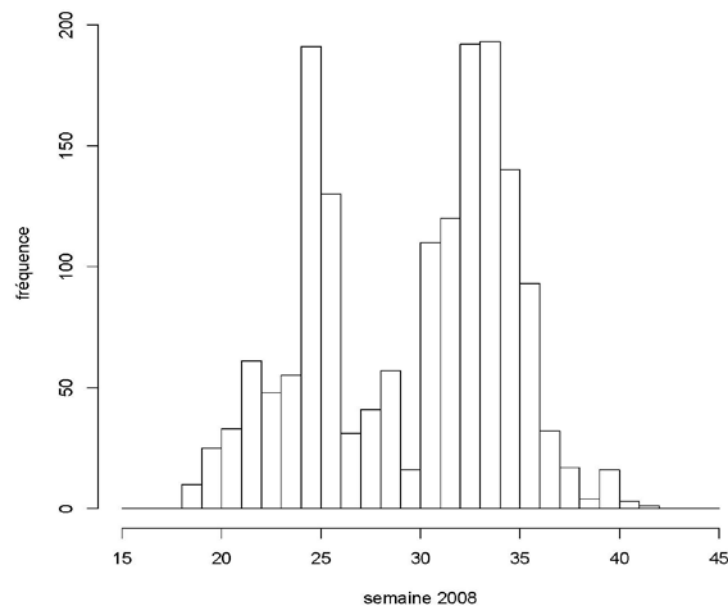
Stades végétatifs sensibles à la cécidomyie des fleurs (F. Normand)



Modes d'actions de l'architecture de la plante – Spatial et temporel

Cette relation entre stade sensible du manguiier et bio-agresseur a des conséquences agronomiques et phytosanitaires car les asynchronismes de croissance végétative et reproductive, intra- et inter-arbres, sont fréquents sur les espèces pérennes tropicales.

Asynchronisme reproducteur au sein d'un arbre



Déroulement de la floraison sur 25 arbres d'une parcelle, cv. José : 24 semaines

→ Fruits de maturité et de qualité hétérogènes à la récolte

→ Persistance de stades sensibles dans les vergers

- forte augmentation des populations de bio-agresseurs qui ont des cycles courts
- protection phytosanitaire étendue dans le temps

Modes d'actions de l'architecture de la plante – Spatial et temporel

- Identification de facteurs qui déclenchent et qui entretiennent les asynchronismes intra- et inter-arbres
- Leviers techniques pour synchroniser le développement à l'échelle de la parcelle
- Tests de différentes stratégies de réduction de la durée de présence de la ressource pour le bio-agresseur :

Techniques testées	Effet sur la synchronisation
<ul style="list-style-type: none">- diminution de la densité de ramification (défourchage)- suppression d'inflorescences- taille de l'arbre- gestion irrigation	<ul style="list-style-type: none">nulpositifpositif (en cours)en cours

(Normand *et al* 2011)

Complexité des interactions architecturales dans l'arbre, et des interactions arbre - bio-agresseurs → approche en cours par modélisation

L'impact de la synchronisation du développement de l'arbre sur les populations et dégâts de bio-agresseurs reste à vérifier expérimentalement

Conclusion

1 – Une définition souvent très pauvre de l'architecture de la plante (hauteur, volume !)

2 - Une approche plus précise de l'architecture apporte des résultats confirmant l'intérêt de l'architecture pour moduler l'infestation/infection par le bio-agresseur

3 – Une préoccupation croissante dans la recherche/littérature internationale

Ex. en France : réseau EpiArch

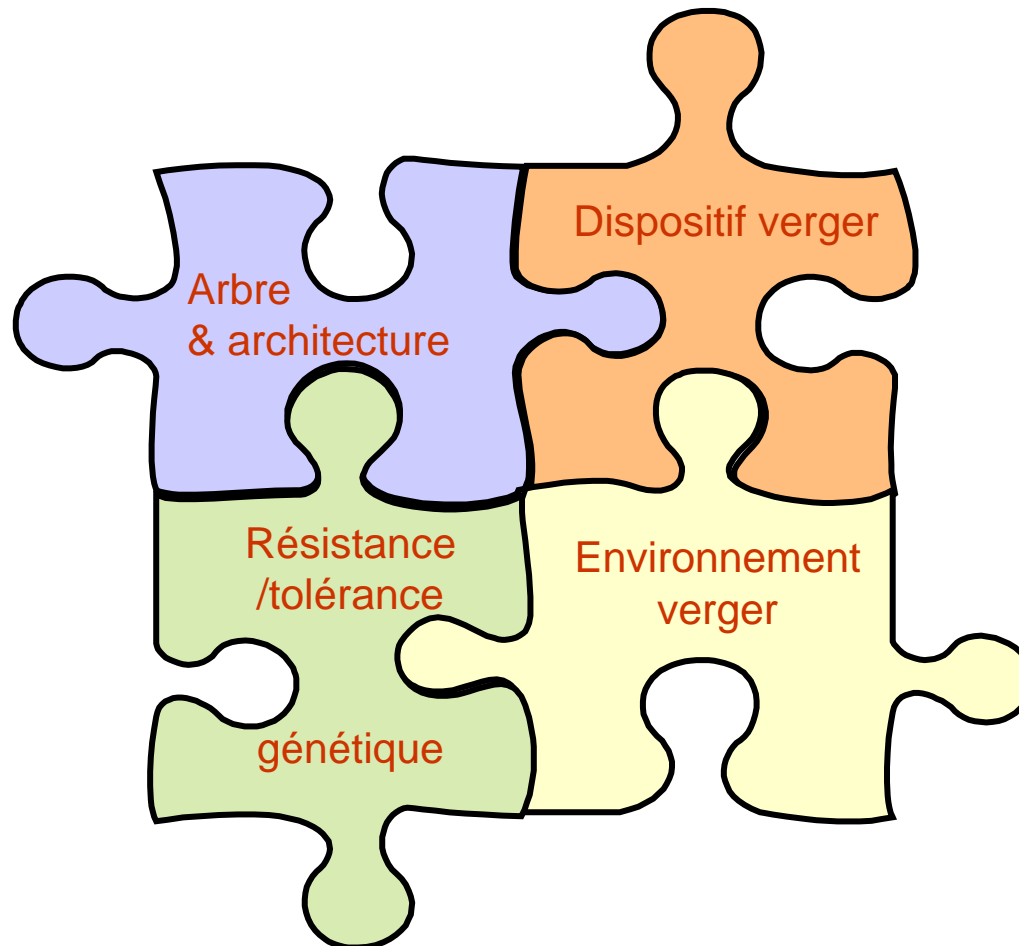
(<http://ephytia.inra.fr/index.php?portail=Agrescience&produit=epiarch>), ANR ArchiDemio (2009-2012) avec colloque à Rennes (juillet 2012 ; N° spécial EJPP en 2013)

4 - L'interaction plante-bio-agresseur (résistance/tolérance) est surtout sous la dépendance de mécanismes physiologiques/biochimiques (contrôle monogénique/polygénique).

5 - L'architecture n'a qu'un **effet partiel** en complément à d'autres leviers.

NB : sur le plan terminologique, il est faux de distinguer les « effets génétiques » des « effets architecturaux », l'architecture ayant aussi un déterminisme génétique.

↳ Analyser les effets de l'architecture sur le bio-agresseur n'est pertinent que si on considère un même génotype dont on modifie l'architecture.



Lauri & Normand - Références citées

- Amouroux P, Normand F. 2010. Survey of mango pests on Reunion Island, with a focus on pests affecting flowering. *Communication présentée au 9th International Symposium on Mango, 6-13/04/2010, Sanya, Chine.*
- Ando K, Grumet R, Terpstra K, Kelly JD. 2007. Manipulation of plant architecture to enhance crop disease control. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2, N°26. <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>
- Barthélémy D, Caraglio Y. 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99: 375-407.
- Barthélémy D. 1988. Architecture et sexualité chez quelques plantes tropicales : le concept de floraison automatique. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences, Montpellier 2, 250p.*
- Bell, A.D. 1991. Plant form. An illustrated guide to flowering plant morphology. *Oxford University Press, Oxford, New-York, Tokyo. 341 p.*
- Castagneyrol B, Giffard B, Péré C, Jactel H. 2013. Plant apparency, an overlooked driver of associational resistance to insect herbivory. *Journal of Ecology*. DOI: 10.1111/1365-2745.12055
- Corner E.J.H. 1975. Prototropic organisms. XIII. Tropical trees, Thick twig, big leaf. *Theoria to theory* 9: 33-43.
- Costes E, Lauri PÉ, Simon S, Andrieu B. 2013. Plant architecture, its diversity and manipulation in agronomic conditions, in relation with pest and pathogen attacks. *European Journal of Plant Pathology* 135: 455-470.
- Dambreville A, Normand F, Lauri PÉ. 2012. Plant growth co-ordination *in natura*: a unique temperature-controlled law among vegetative and reproductive organs in mango. *Functional Plant Biology* (sous presse).
- Edelin C. 1984. L'architecture monopodiale: l'exemple de quelques arbres d'Asie tropicale. *Thèse de Doctorat, Université des Sciences, Montpellier 2, 258p.*
- Ferrandino F.J. 2008. Effect of Crop Growth and Canopy Filtration on the Dynamics of Plant Disease Epidemics Spread by Aerially Dispersed Spores. *Phytopathology* 98: 492-503.
- Godin C, Caraglio, Y. 1998. A multiscale model of plant topological structures. *Journal of Theoretical Biology* 191: 1-46.
- Grafton-Cardwell EE, Ouyang Y, Parker BL, Skinner M, Lewis T. 1995. Manipulation of the redacious mite, *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae), with pruning for citrus thrips control. *Thrips Biology and Management. New York, NY: Plenum Pr. p. 251-254.*
- Grechi I, Sauge MH, Sauphanor B, Hilgert N, Senoussi R, Lescouret F. 2008. How does winter pruning affect peach tree - *Myzus persicae* interactions? *Entomol. Exp. appl.* 128, 369-379
- Grechi I, Sauge MH, Sauphanor B, Hilgert N, Senoussi R, Lescouret F. 2008. How does winter pruning affect peach tree - *Myzus persicae* interactions? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128: 369-379.
- Hallé F, Oldeman RAA, Tomlinson PB. 1978. Tropical Trees and Forests. *Springer-Verlag, Berlin.*
- Hallé F, Oldeman RAA. 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. *Masson et Cie. Paris.*
- Jactel H and Brockerhoff EG. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* 10: 835-848.
- Jeannoda-Robinson V. 1977. Contribution à l'étude de l'architecture des herbes. *Thèse de doctorat, Université des Sciences, Montpellier 2, 76p.*
- Johnson K, Lenhard M. 2011. Genetic control of plant organ growth. *New Phytologist* 191(2): 319-333.
- Kareiva P, Sahakian R. 1990. Tritrophic effects of a simple architectural mutation in pea plants. *Nature* 345: 433-434.
- Kührt U, Jörg Samietz J, Dorn S. 2006. Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 118 :245-259.
- Larson KC, Whitham TG. 1997. Competition between gall aphids and natural plant sinks: plant architecture affects resistance to galling. *Oecologia* 109: 575-582.
- Legrand A, Barbosa P. 2000. Pea Aphid (Homoptera: Aphididae) Fecundity, Rate of Increase, and Within-Plant Distribution Unaffected by Plant Morphology. *Environmental Entomology* 29(5): 987-993.

- Mody K, Eichenberger D, Dorn S. 2009. Stress magnitude matters: different intensities of pulsed water stress produce non-monotonic resistance responses of host plants to insect herbivores. *Ecological Entomology* 34(1): 133–143
- Normand F, Michels T, Lechaudel M, Joas J, Vincenot D, Hoarau I, Desmulier X, Barc G. 2011. Approche intégrée de la filière mangue à La Réunion. *Innovations agronomiques* 17: 67-81.
- Normand F, Quilici S, Simiand C. 2000. Seasonal occurrence of fruit flies in strawberry guava (*Psidium cattleianum* Sabine) in Reunion Island: host phenology and fruit infestation. *Fruits*, 55 (4): 271-281.
- Pangga IB, Hanan J, Chakraborty S. 2013. Climate change impacts on plant canopy architecture: implications for pest and pathogen management. *European Journal of Plant Pathology* 135: 595-610.
- Price WP. 1991. The plant vigor Hypothesis and herbivore attack. *Oikos* 62(2): 244-251.
- Saudreau M, Pincebourde S, Dassot M, Adam B, Loxdale HD, Biron HD. 2013. On the canopy structure manipulation to buffer climate change effects on insect herbivore development. *Trees* DOI10.1007/s00468-012-0791-7
- Schoonhoven JL, vanLoon JJA, Dicke M. 2005. Insect–Plant Biology. *Oxford University Press*.
- Simon S, Lauri PÉ, Brun L, Defrance H, Sauphanor B. 2006. Does fruit-tree architecture manipulation affect the development of pests and pathogens? - a case study in apple orchard. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81(4): 765-773.
- Simon S, Morel K, Durand E, Brevalle G, Girard T, Lauri PÉ. 2012. Aphids at crossroads: when branch architecture alters aphid infestation patterns in the apple tree. *Trees* 26: 273–282.
- Stoekli S, Mody K, Dorn S. 2008a. Influence of canopy aspect and height on codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) larval infestation in apple, and relationship between infestation and fruit size. *Journal of Economical Entomology* 101: 81-89.
- Stoekli S, Mody K, Dorn S. 2008b. *Aphis pomi* (Hemiptera:Aphididae) Population Development, Shoot Characteristics, and Antibiosis Resistance in Different Apple Genotypes. *Journal of Economical Entomology* 101(4): 1341-1348.
- Willaume M, Lauri PÉ, Sinoquet H. 2004. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation. *Trees Structure and Function* 18: 705–713.
- Zimmerman RH, Miller SS. 1991. Orchard growth and fruiting of micropropagated apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 780-785.