

# Dynamique d'accumulation de matière sèche et d'azote dans les vergers de pommiers

Daniel Plénet<sup>1</sup>, Constance Demestihas<sup>1,2</sup>  
Marie Charreyron<sup>3</sup>, Claude Bussi<sup>4</sup>, Sylvaine Simon<sup>4</sup>



[Daniel.Plenet@inra.fr](mailto:Daniel.Plenet@inra.fr)

- <sup>1</sup> INRA UR 1115 PSH Avignon
- <sup>2</sup> Ctifl Saint Remy de Provence
- <sup>3</sup> Station Arboricole La Pugère
- <sup>4</sup> INRA UERI 0695 Gotheron





# Raisonnement de la fertilisation azotée en arboriculture fruitière



## Besoins estimés à partir :

- exportations par les fruits
- besoins en azote des autres compartiments de l'arbre (système racinaire, tronc, branches fruitières, feuilles) : estimation à partir de références anciennes (Soing, 1999)

$$\text{Besoins N (kg/ha)} = \text{RDT (t/ha)} \times 0,6 \text{ kg N/t fruits} + 80$$

Exemple verger de pommiers en production (> 4 ans)

## Ajustement des besoins :

- gestion de la vigueur et de l'alternance de production
- capacité du sol à fournir de l'azote (mais sans quantification précise)
- contrôles d'état nutritionnel (diagnostic foliaire n-1)...

## Pratiques des apports très diversifiés

- Fractionnement (2 à 4 fois) quand apport par épandeur (en plein et/ou localisé)
- Hyper fractionnement quand ferti-irrigation (apports hebdomadaires)
- Formes minérales et/ou organiques...



# Objectifs



## Raisonnement « statique » des besoins ne permet pas :

- intégrer les effets de nouveaux modes de conduite des vergers (densité x variété-porte-greffe x formes fruitières)
- ajuster les apports à une demande dynamique (ferti-irrigation...)
- développer des systèmes économes en intrants (meilleure valorisation des potentiels du sol...)

## Notre objectif :

- quantifier les dynamiques de production de matière sèche et de prélèvement d'azote dans les différents compartiments des parties aériennes du pommier
- analyser les effets de systèmes de culture fortement différenciés (mode de conduite, niveaux d'intrants et potentiel de production)
- paramétrer et/ou valider des modèles comme AZOFZERT ou STICS



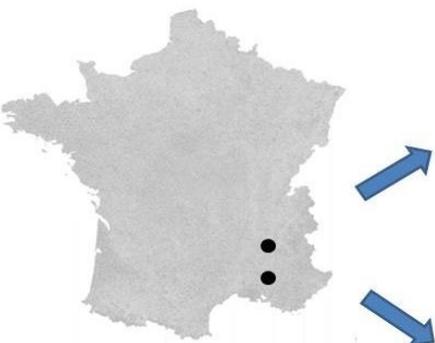
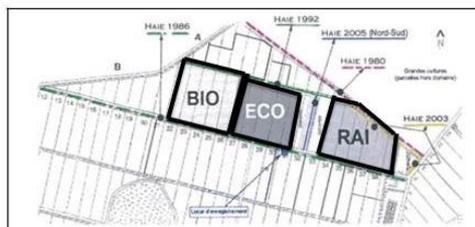
# Dispostifs



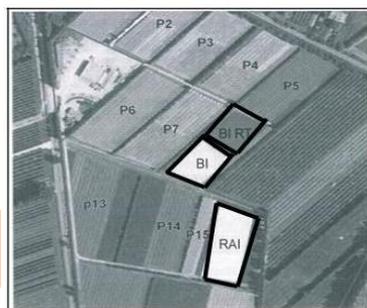
## Deux sites avec des expérimentations systèmes de culture

Sol caillouteux très filtrant, faible réserve en eau et azote

Inra Gotheron



Station expé. La Pugère



Sol lourd à texture argilo-limoneuse, forte capacité de rétention



économiques en produits phytosanitaires

Année	Système de culture	Code SdC	Age verger	Densité (arbres/ha)
2015	Conventionnel	Got_CONV_2015	10	1000
	Bas-intrants	Got_ECO_2015		
	A. Biologique	Got_BIO_2015		
2014	Conventionnel	Pu_CONV_2014	4	2000
	Bas-intrants	Pu_BI_2014		800
	Bas-intrants résistant tavelure	Pu_BIRT_2014		
2015	Conventionnel	Pu_CONV_2015	5	2000
	Bas-intrants	Pu_BI_2015		800
	Bas-intrants résistant tavelure	Pu_BIRT_2015		



# Dispositifs : systèmes et itinéraires techniques



Site Gotheron	CONV. (RAI)	ECO	BIO
Porte-greffe x variété	Golden Smoothee PI80	Golden Smoothee PI80	Golden Smoothee PI80
Densité (arbres/ha)	1000	1000	1000
Fertilisation	60 kg N/ha Minérale (2 * 30)	70 kg N/ha Organo-minérale	85 kg N/ha compost + engrais org.
Irrigation	243 mm	237 mm	227 mm

Site La Pugère	CONV. (RAI)	BI	BIRT
Porte-greffe x variété	Golden delicious 972 Pajam 2 Cepiland	Golden delicious 972 M7	Crimson crips (RT) M7
Densité (arbres/ha)	2000	800	800
Fertilisation 2014 (alternance) 2015	36 kg N/ha 0 kg N/ha	18 kg N/ha 0 kg N/ha	0 kg N/ha 0 kg N/ha
Irrigation 2014	243 mm	287 mm	244 mm
2015	340 mm	273 mm	273 mm



# Méthodes



## Compartiments « annuels »: feuilles, fruits, tige des pousses longues

- Suivi continu non destructif : nombre de feuilles, diamètre de fruits...
- Prélèvements réguliers d'échantillons et détermination au labo. (surface de feuilles, Masse fraîche et sèche, %MS, % N, % Carbone ....)
- Défoliation totale de quelques arbres avant la chute des feuilles
- Relations d'allométrie pour passer d'un suivi non destructif à des estimations de biomasse, surface foliaire, quantité N prélevée...



## Compartiments « structurels »: axe central (tronc), branches fruitières (BF), bois de taille...

- Mesures en début et fin de campagne des sections
- Relations d'allométrie à partir d'échantillons prélevés pour déterminer masse fraîche et sèche, %MS, % N, % C...
- Sur 1 site (Gotheron) : arrachage d'arbres pour quantifier les compartiments

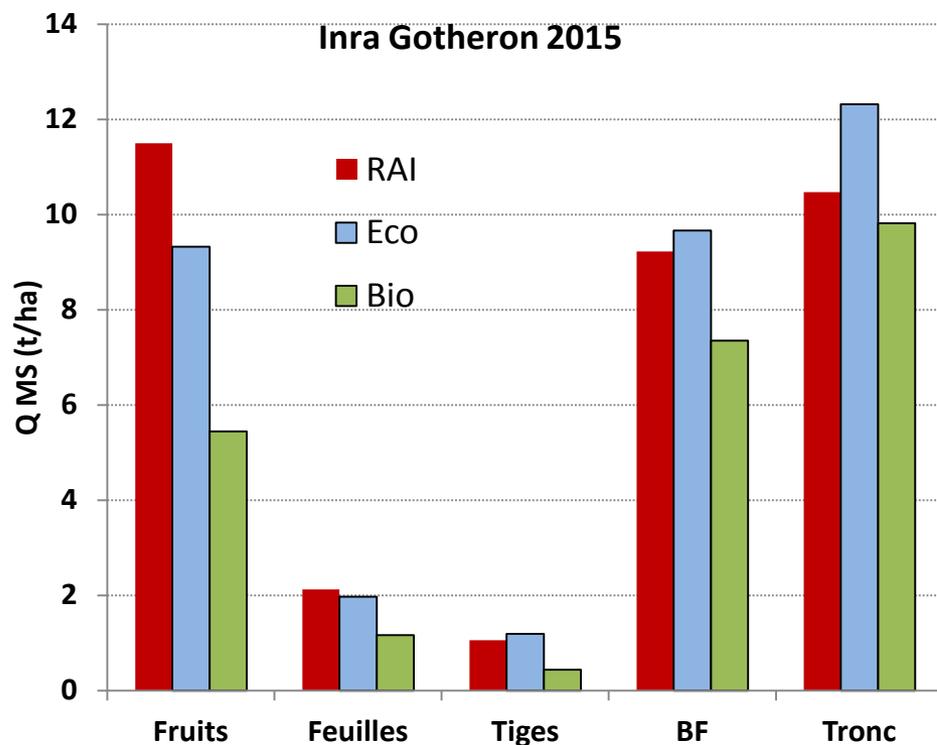


# Résultats

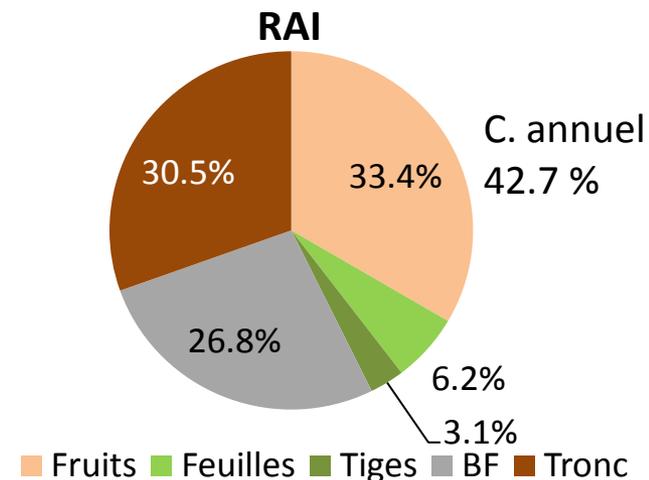
## Distribution des quantités de MS dans l'arbre



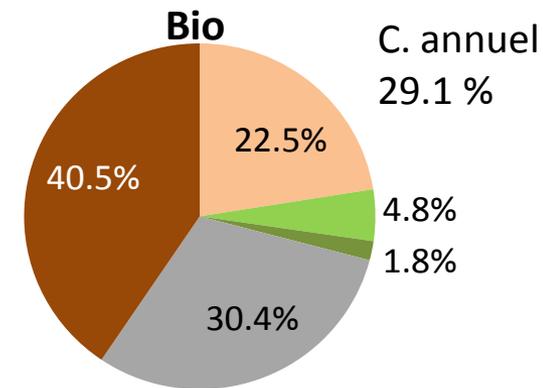
Verger de 10 ans : fin de campagne 2015



Répartition (%) parties aériennes



Racines ~  
15 % des PA



Biomasse parties aériennes : 34 t/ha RAI et ECO

RDT fruits frais : RAI = 72.5 t/ha ; Eco = 56.6 ; Bio = 31.2 t/ha

Fruits Feuilles Tiges BF Tronc

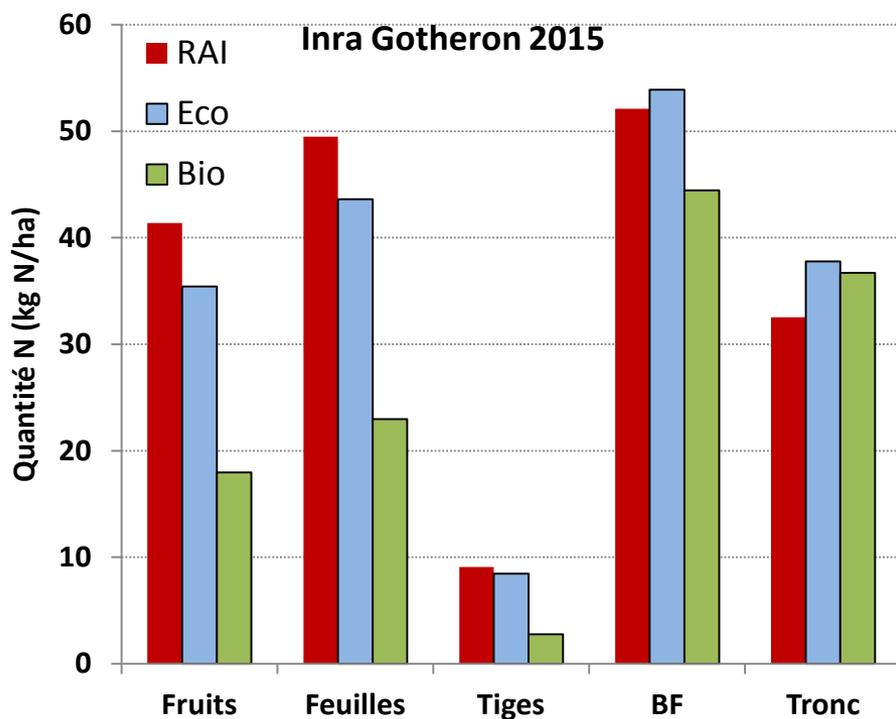


# Résultats

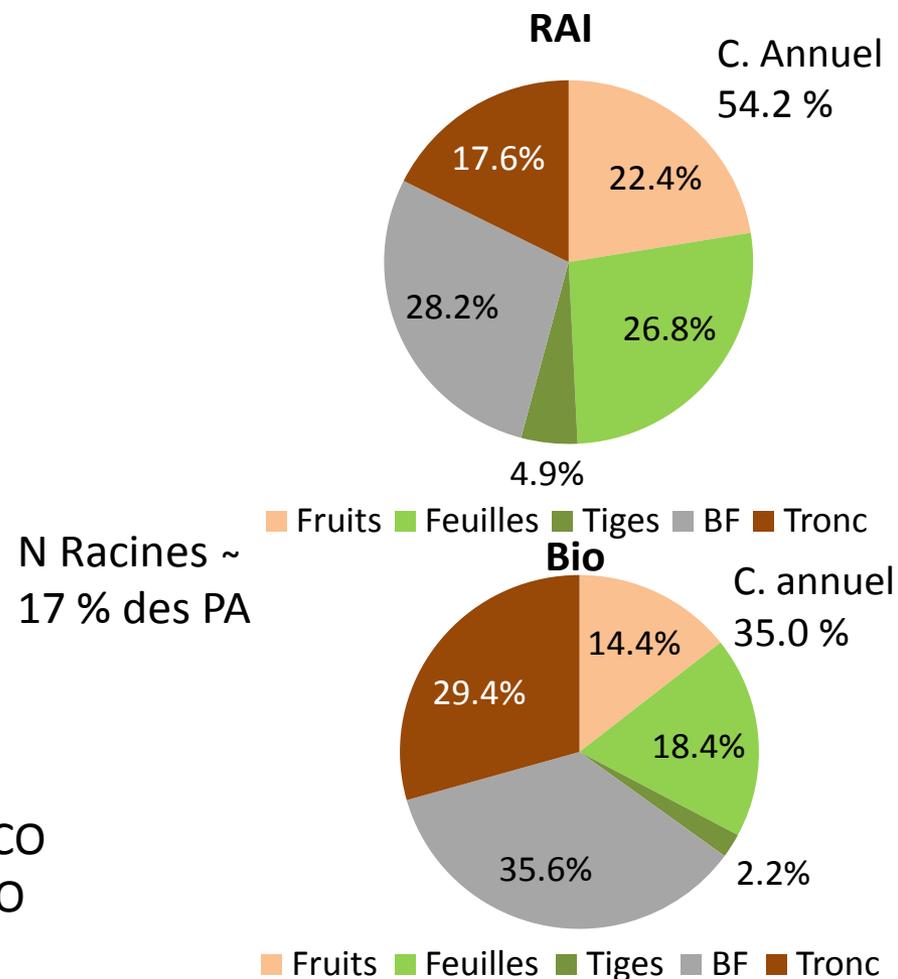
## Distribution des quantités d'azote dans l'arbre



Verger de 10 ans : fin de campagne 2015



Répartition N (%) parties aériennes



N compartiments annuel = 87 à 102 kg N/ha/an

Total QN parties aériennes : ~180 kg N/ha RAI et ECO

125 kg N/ha dans BIO

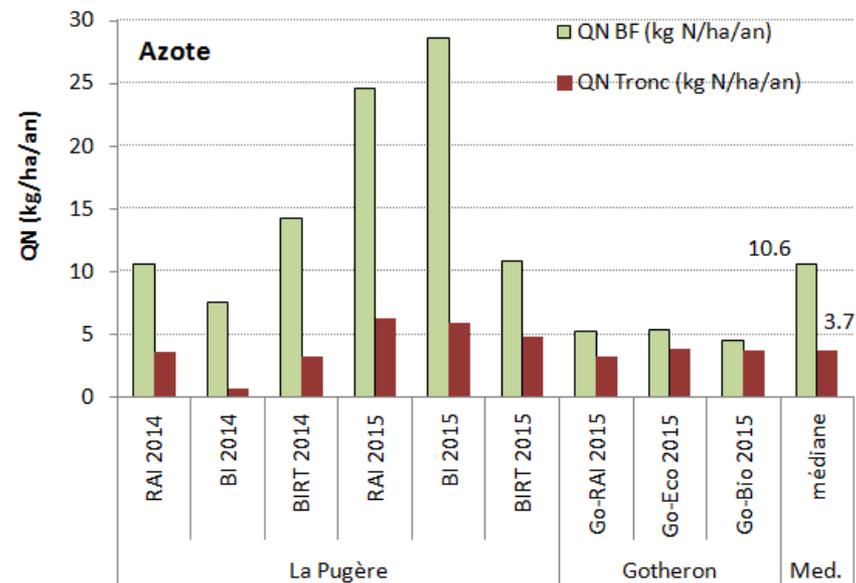
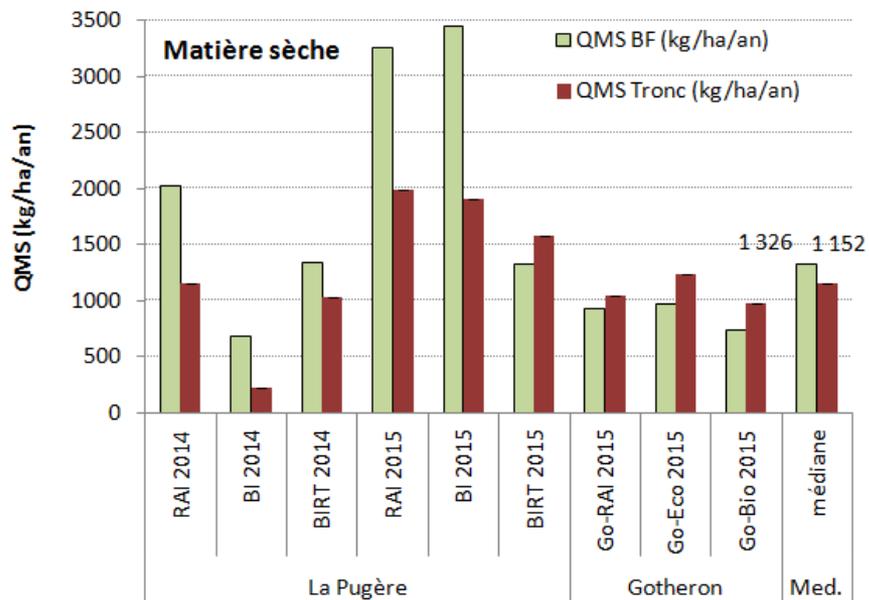


# Résultats

## Accumulation annuelle de MS et N dans les compartiments structurels de l'arbre



BF : branches fruitières et Tronc : axe central de l'arbre



Estimation délicate surtout les variations annuelles du compartiment « Branches Fruitières »

Les accroissements de l'axe central + branches fruitières :

~2 500 kg MS / ha / an

~ 15 kg N / ha / an

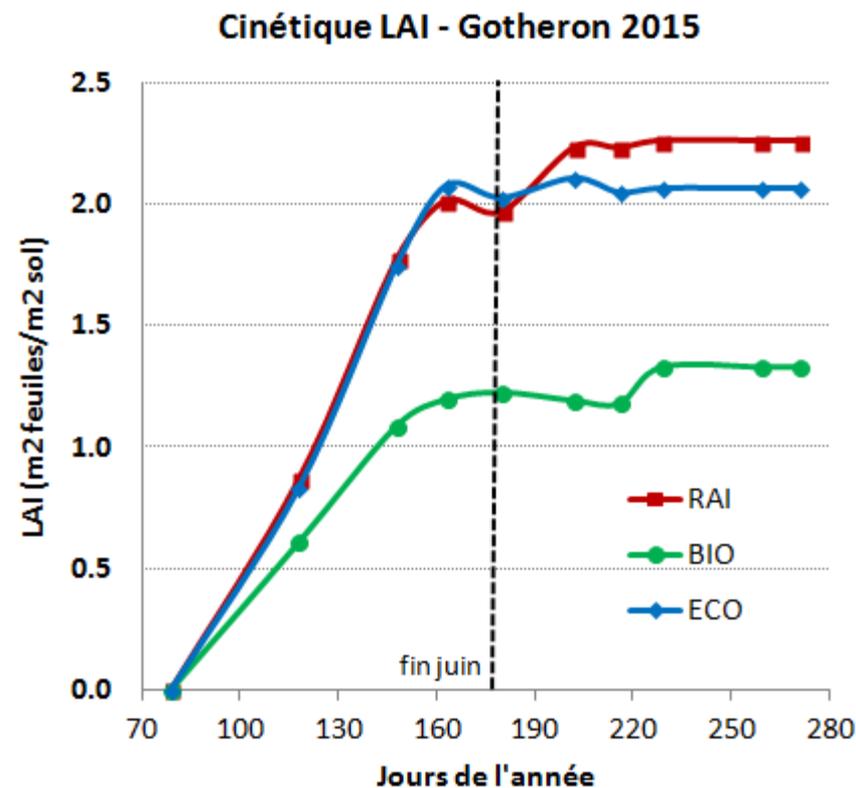
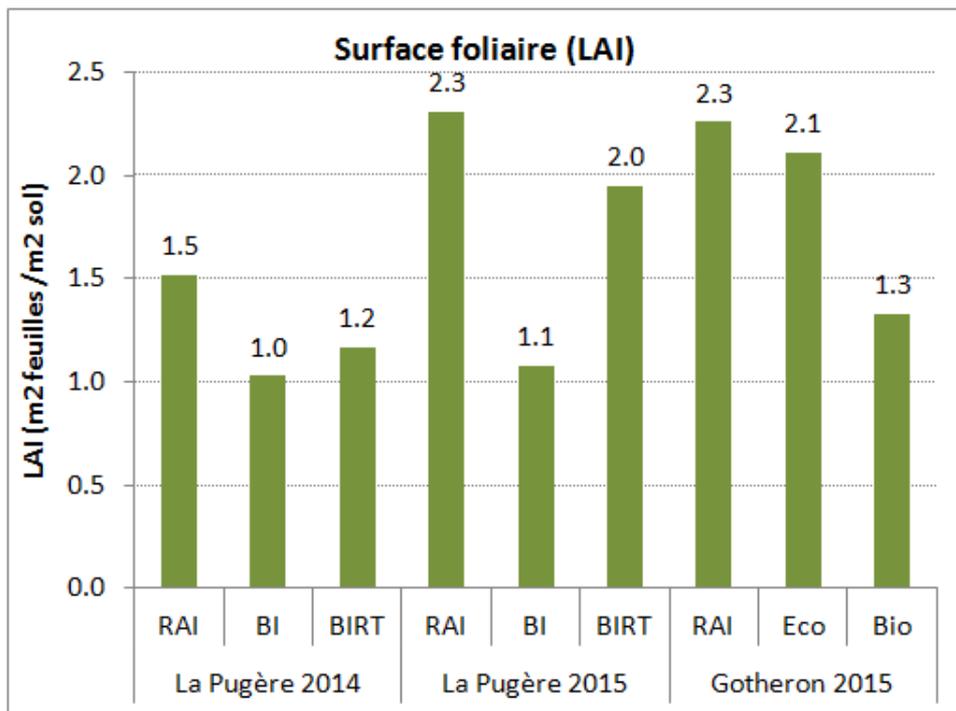


# Résultats

## Cinétique de la surface foliaire



### Indice foliaire au maximum



Effet jeune verger (4<sup>ème</sup> feuille)

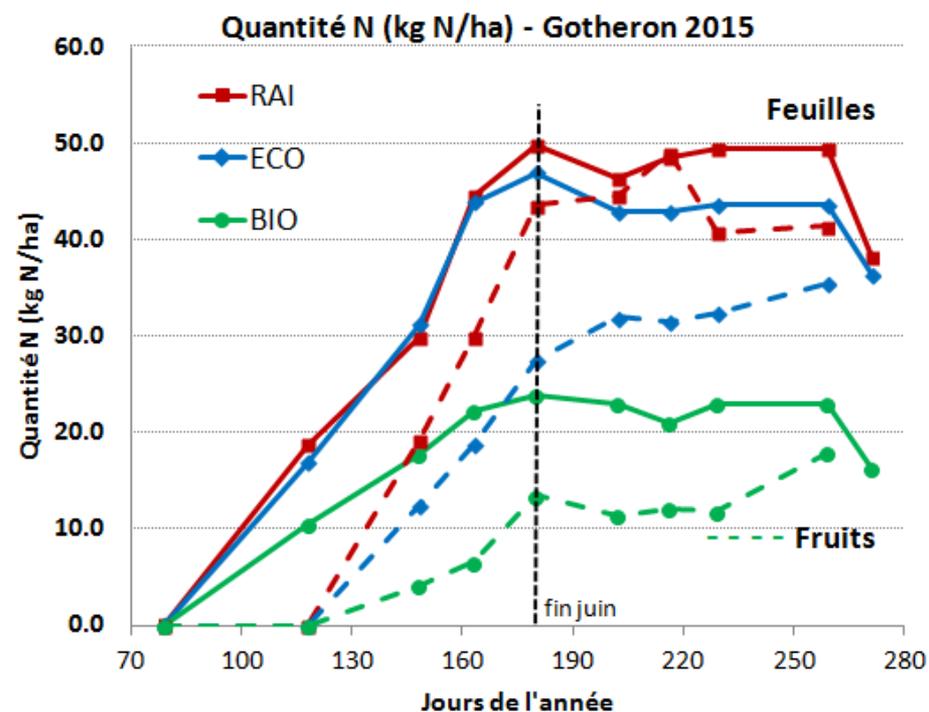
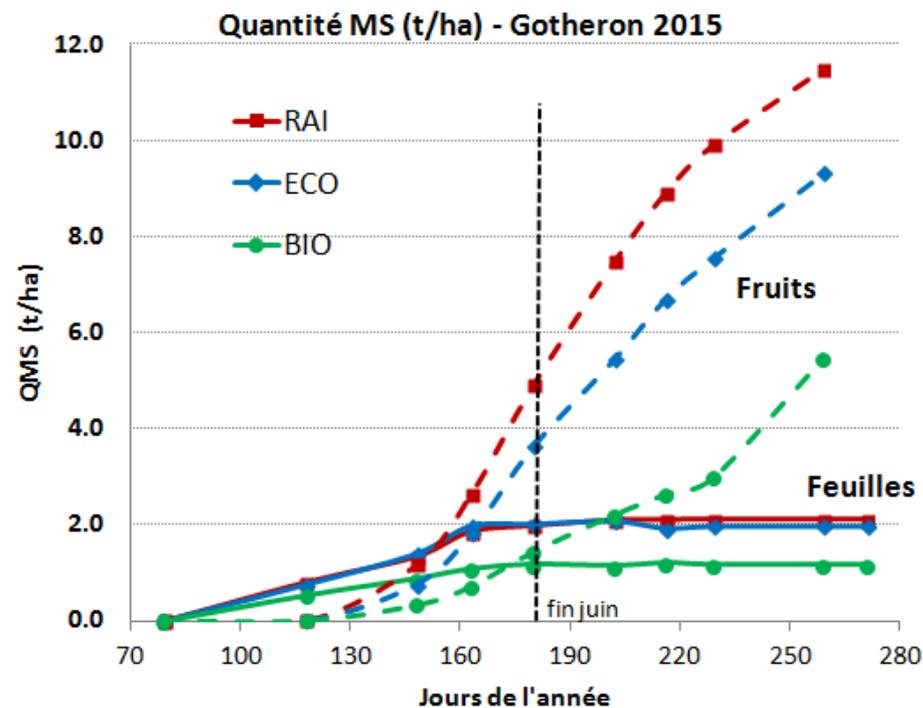
Effet densité de plantation mais qui s'estompe à partir 5<sup>ème</sup> feuille si porte-greffe vigoureux

Indice foliaire est pratiquement au maximum fin juin



# Résultats

## Cinétiques des biomasses et d'azote dans les feuilles et les fruits



Mise en place rapide de la biomasse foliaire  
(maximum fin juin)

Près de 2/3 de la biomasse fruits en période estivale

Prélèvement très rapide de l'azote (fin juin : max pour les feuilles, plus 66 % pour les fruits)

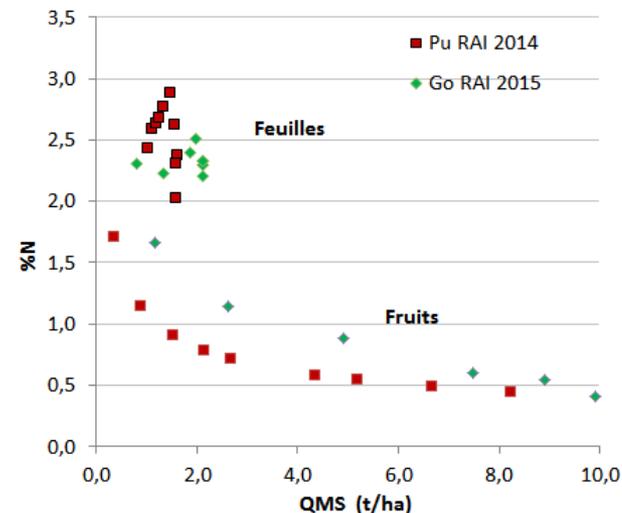
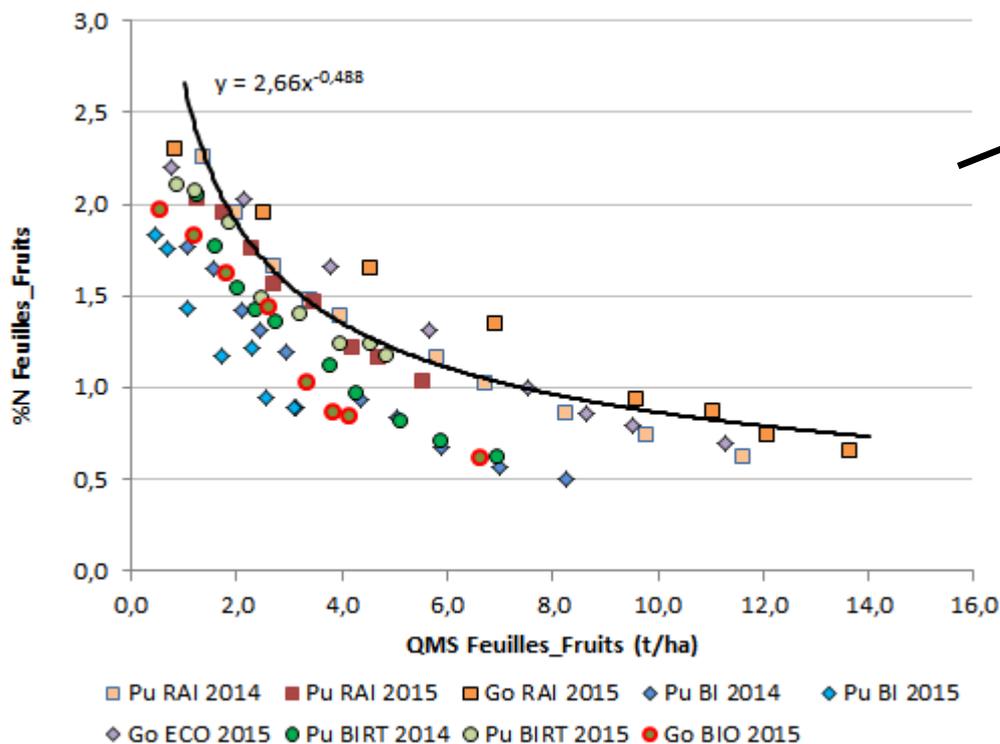


# Résultats

## Relations biomasse – teneur en azote



Existe-t-il une relation critique  $\% N = a \times QMS^{-b}$  ?



- Pas vraiment de dilution dans le compartiment foliaire
- Forte dilution de N dans les fruits

=> échelle du couvert, la courbe de dilution « masque » 2 processus bien différents...



# Résultats

## Références pour le raisonnement



### Besoins observés dans vergers productifs

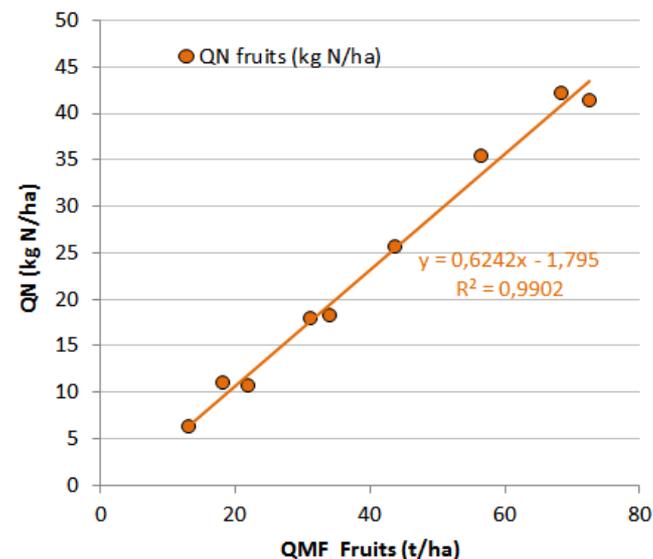
Systèmes raisonnés non alternants

Rendement en fruits frais : 70,5 t/ha

Compartiments	QMS (t/ha)	QN (kg N/ha)
Feuilles	1,860	43,8
Tiges des pousses longues	0,655	5,8
Branches fruitières	1,476	7,9
Axe central	1,100	3,4
Croissance végétative annuelle	5,091	60,9
Fruits	10,769	41,7
<b>Total parties aériennes</b>	<b>15,860</b>	<b>102,6</b>

Formule actuelle :  $QN = (0,6 * 70 \text{ t/ha}) + 80$   
soit 122 kg N/ha

Quantité d'azote par tonne  
de fruits frais



Sur 9 systèmes :  
0,62 kg N / t



# Conclusions

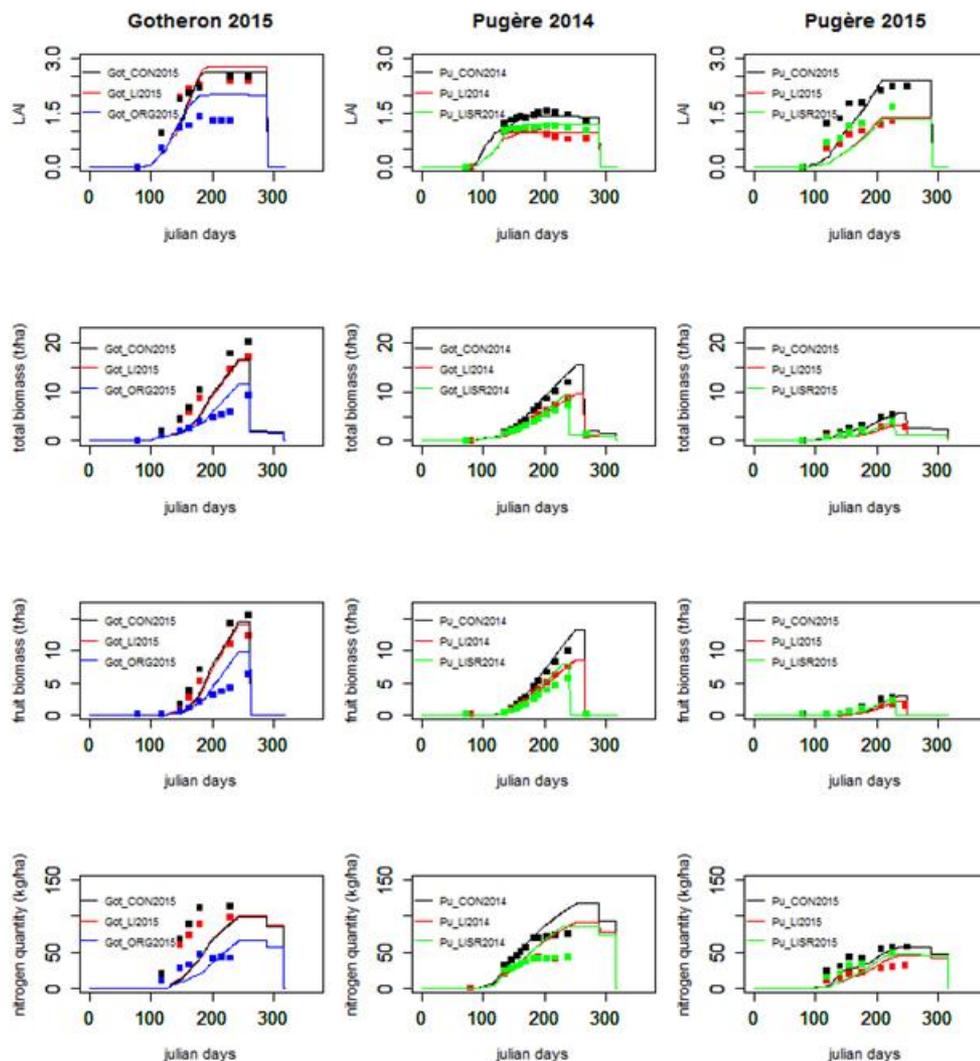
## Données pour paramétrer des modèles



### Exemple STICS (C. Demestihias et al.)

- Données LAI, dilution N, croissance et prélèvement de N...
- Indispensable pour paramétrer et/ou optimiser des fonctions de STICS
- Simulations des surfaces et biomasses foliaires et des biomasses de fruits => plutôt correct
- Azote : simulations plus hétérogènes car certains aspects de STICS ne sont actuellement pas adaptés aux pérennes

(données en cours d'exploitation dans thèse de C. Demestihias bourse CIFRE Ctifl - Inra)





# Conclusions



- Compartiment foliaire assez réduit en biomasse (1,0 à 2,3 t MS/ha, soit 6 % des PA), mais important en azote (25 % des PA)
- Compartiment fruit : malgré faible teneur N, il représente environ 20 % de l'azote des PA ; forte variation des QN prélevées en fonction de la variabilité des rendements => importance de pouvoir ajuster la fertilisation au cours de la campagne
- Pas de redistribution importante de N des feuilles (teneur assez constante au cours de la saison) vers les fruits
- Compartiments structurels : quantités importantes de MS (55 à 70 % MS) et N (45 à 60 % N) des PA, mais accumulation annuelle de N semble assez limitée en vergers adultes (10-15 kg N/ha/an : bilan début et fin de campagne). La mobilisation et la reconstitution des réserves ne sont cependant pas quantifiées dans cette étude.



# Conclusions



- Suivis dynamiques des compartiments : très lourd expérimentalement => intérêt d'associer la modélisation, surtout si on veut prévoir ou tester différents systèmes de conduite dans le futur
- Paramétrage de STICS (dans le cadre d'une thèse sur les services écosystémiques (C. Demestihias, thèse CIFRE Ctifl – Inra PSH) pour quantifier les flux des principaux cycles biogéochimiques
- Certains formalismes des modèles actuels sont peu adaptés aux plantes pérennes (compartiment structurel, réserves, enherbement...), mais la modélisation existante des compartiments sols des modèles STICS ou AZOFERT sont indispensables pour quantifier les flux d'azote et d'eau afin de mieux prendre en compte les nouveaux enjeux
- Travail similaire en cours sur pêcher



# Conclusions



Merci de votre attention

