



Journée ASF section potagères
Angers, 21 septembre 2017

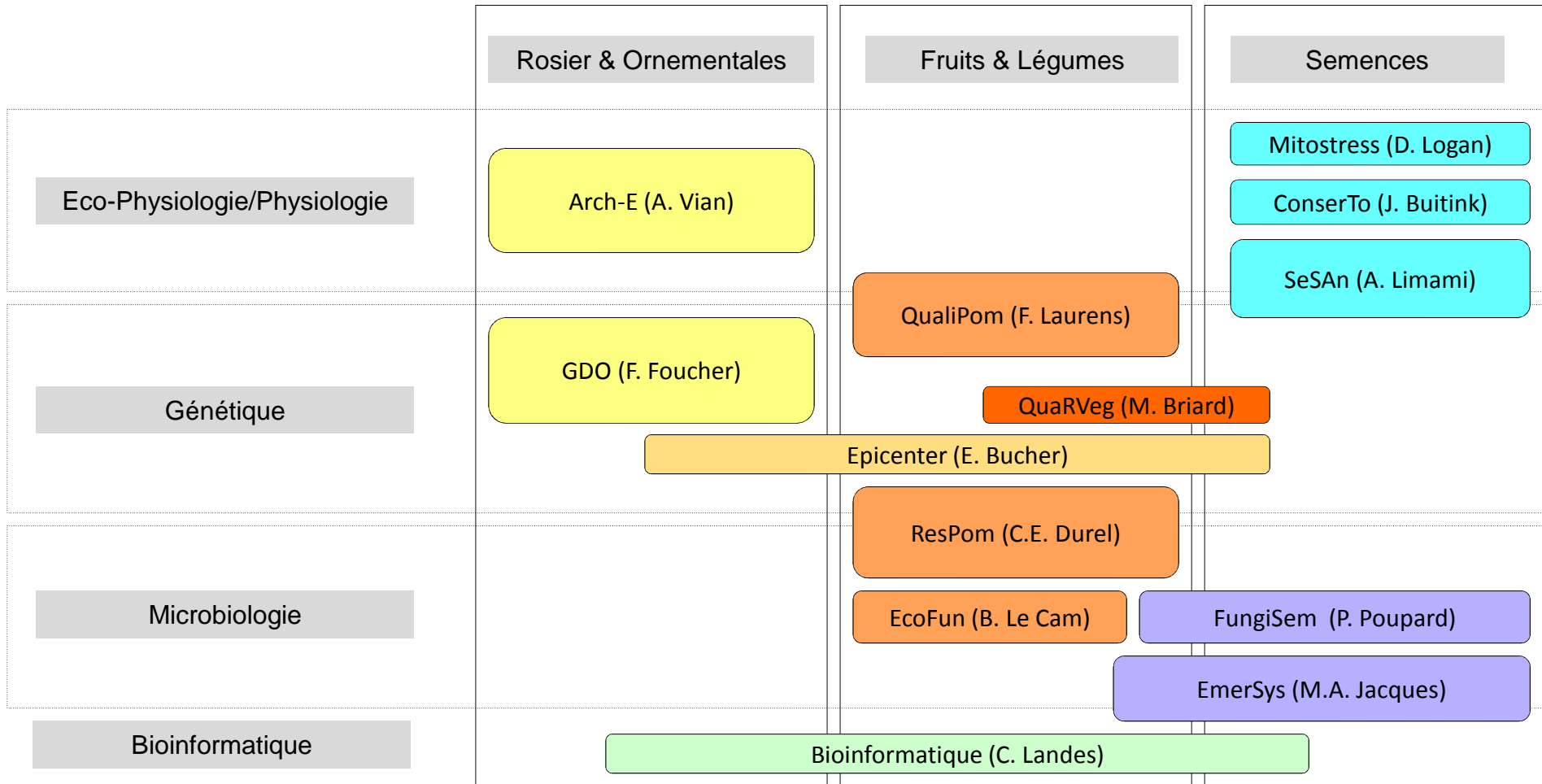
Effets de l'environnement sur la qualité des légumes

Introduction



Geoffriau Emmanuel – Agrocampus Ouest IRHS Angers

Collège de Direction: DU (J.P. Renou),
DU adjoints: M. Briard, F. Laurens, P. Simoneau
F. Foucher, O. Leprince, S. Sakr, P. Vandaele (Resp Admin)



- Administration (PAIGE) P. Vandaele
- Inst. Expériment. (INEM) R. Gardet
- S. Collectifs

- Plate-formes & CRB**
- CFBP (bactéries) (IBiSA)
 - CRB Fruits à pépins/Rosiers (IBiSA)
 - CRB Apiacées (IBiSA)
 - PHENOTIC (Phénotypage) SFR, Biogenouest

- Plateaux Techniques (SFR QUASAV)**
- I-MAC (Imagerie)
 - ANAN (Anal. Acides nucléiques)
 - COMIC (Phytopathogènes)

Evolution types variétaux et demande dans le temps

Objectifs du catalogue officiel

Garantir à l'utilisateur **une semence saine, loyale et marchande**

Orienter le progrès génétique vers des objectifs clairement définis et en évolution permanente, source de segmentation progressive des marchés



➤ **Segmentation agro-climatique et adaptation des variétés à des conditions diversifiées**

Résilience?

Résilience : mesure de la capacité d'un système à faire face aux chocs et à changer tout en gardant essentiellement la même structure et la même fonction (Scheffer and Carpenter 2003)

Retour à l'équilibre ou nouveau équilibre?

Résilience spécifique / résilience générale : capacité à faire face à chocs connus ou inconnus

Notions liées à résilience :

- Latitude : la quantité maximum du système qui peut être changée avant qu'il perde sa capacité à se rétablir (avant seuil irréversible)
- Résistance : la facilité ou difficulté du système à changer
- Précarité : si l'état actuel du système est proche d'un seuil ou limité

Transformabilité : capacité à créer un système fondamentalement nouveau quand conditions rendent système intenable

Problèmes cultures légumières en lien avec résilience

Accoups climatiques (5 pics à plus de 35° sur salade en Anjou!)

Changement climatique

Fatigue de sols

Disponibilité en eau, qualité et timing

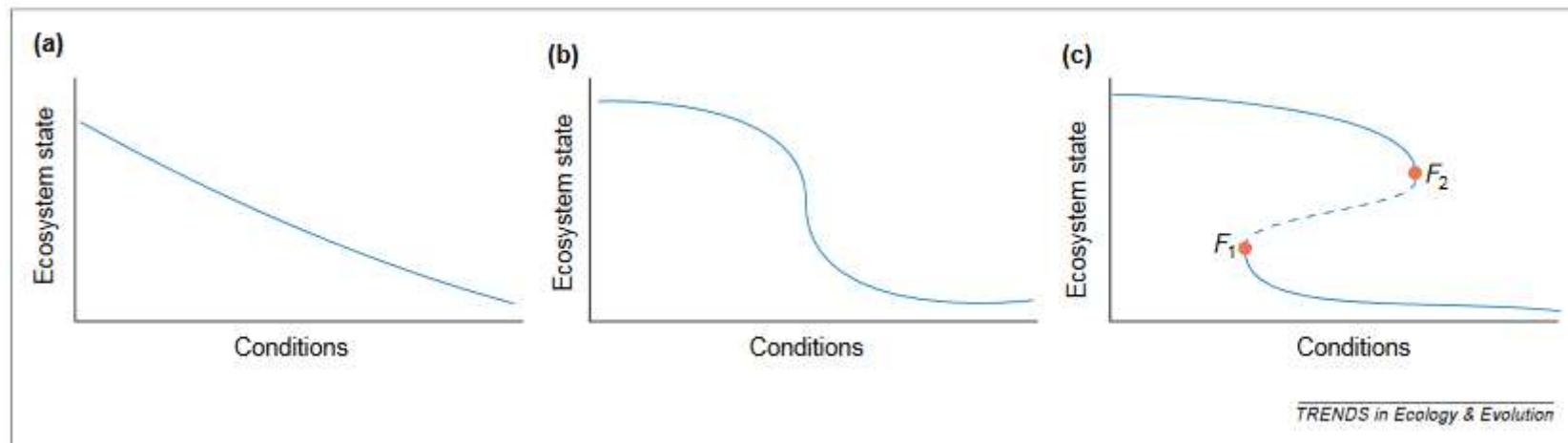


Figure 2. Different ways in which an ecosystem can respond to change in conditions. Although dynamic systems can respond smoothly to change in external conditions (a), they can sometimes change profoundly when conditions approach a critical level (b) or have more than one stable state over a range of conditions (hysteresis) (c). Although some systems tend to respond in a more non-linear way than do others, the response is not a fixed property of a system. For instance, depending on the depth of the lake, its turbidity can respond in either way to increased nutrient loading. Modified with permission from [1].

Scheffer & Carpenter 2003

Amélioration resilience : symbioses

Variétés : potentiel d'adaptabilité variable , bases et caractéristiques non claires

Plasticité (Sclichting 1986) ou **adaptabilité** (Chloupek & Hrstkova 2005) : capacité des cultures à répondre positivement aux modifications environnementales

Objectif : développer des variétés avec production et caractéristiques connues quel que soit l'environnement = variétés avec résultats stables

Donc :

- interaction GxE de + en + importante, systèmes de production diversifiés, changements climatiques erratiques, systèmes bas intrants
- Expliciter GxE pour caractères complexes (qualité)

Interaction GxE pour la teneur en caroténoïdes :

- Non significatif maïs grain (Menkir and Mazixa-Dixon 2004)
- Significatif fruit tomate (Rosello et al. 2011), tubercules et racines (Gruneberg et al. 2005, Haynes et al. 2010 , Maroya et al. 2012).



Journée ASF section potagères
Angers, 21 septembre 2017

Effets de l'environnement sur la qualité des légumes : cas de la carotte



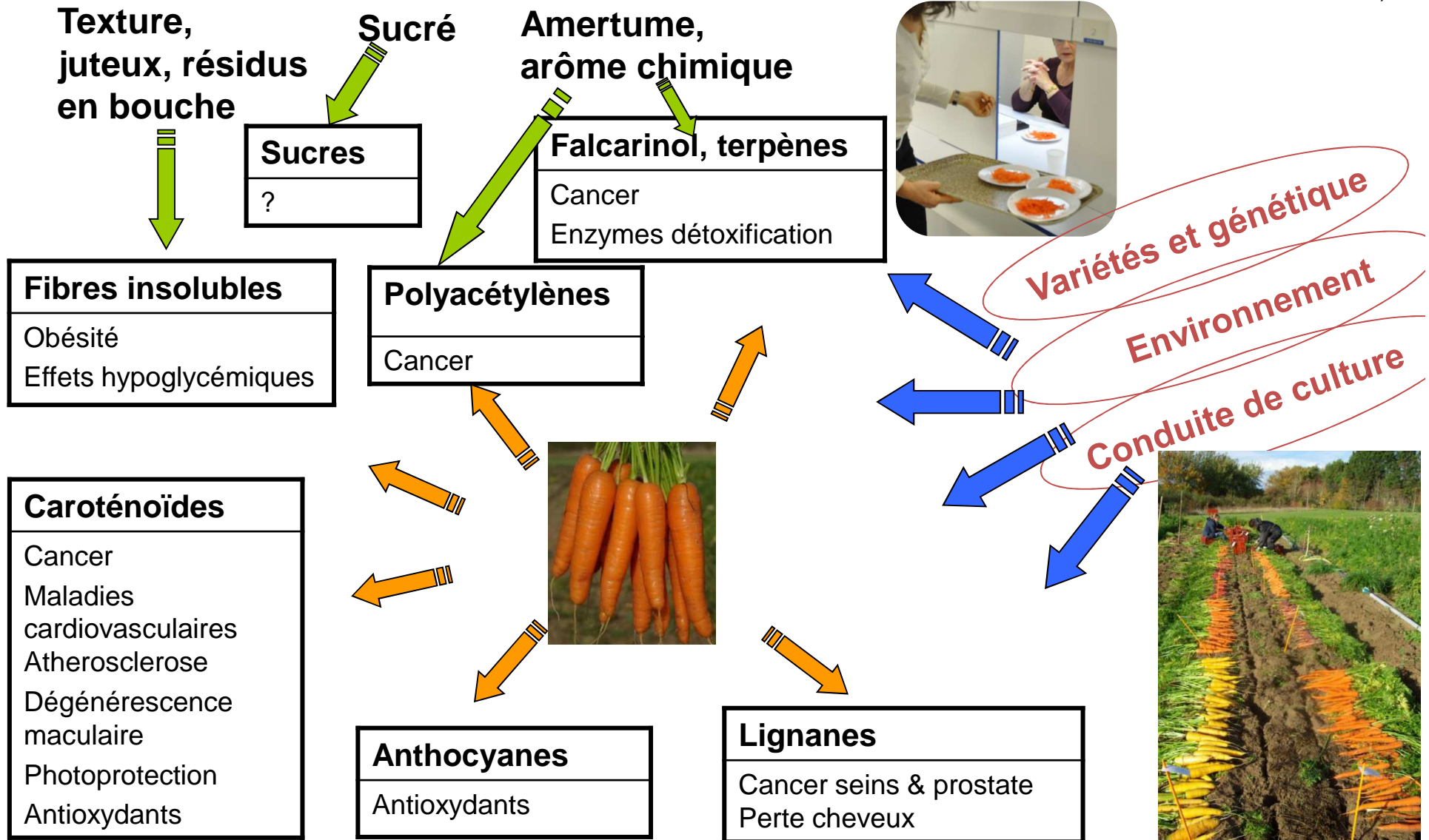
**Geoffriau Emmanuel, Perrin Florent, Dubois-Laurent Cécile, Huet Sébastien, Suel Anita,
Le Clerc Valérie, Briard Mathilde, Peltier Didier – IRHS Angers**

Navez Brigitte, Cottet Valentine - Ctifl

Matrice qualité carotte

Analyse sensorielle et appréciation consommateurs

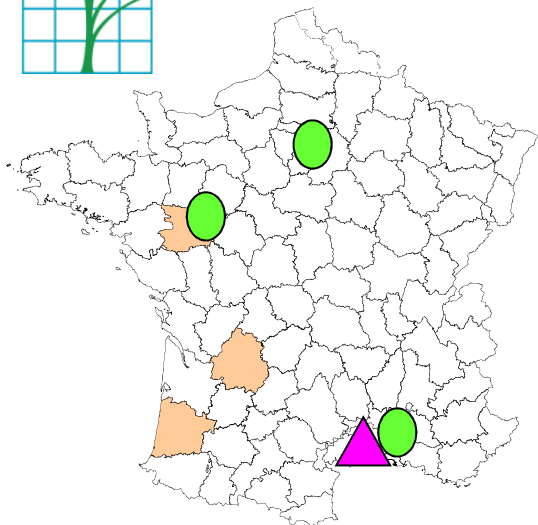
(Kruetzmann et al 2008, Kramer 2012, Cottet et al 2010, Navez et al 2012)



Importance santé de la matrice carotte (Akivah et al. 2006, Chau et al. 2004, Pool-Zobel et al. 1997, Stoll et al. 2003)

Evaluation sensorielle de la carotte

Ctifl



Carrot samples

- 2 growing areas, West and South West
- **2010** : 1 crop for training the panel, harvested 29th/09,
3 crops for descriptive profiling, harvested between the 26th/10 and the 09th/11, time from sowing to harvest 118 à 133 days
- **2011** : 2 crops, harvested 20th/10 and 15th/11, time from sowing to harvest 118 to 133 days

Sensory evaluation

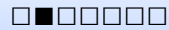
- descriptive profiling (quantitative descriptive analysis)
- panel of 13 panellists specifically trained for carrot
- grated raw carrot

2011 – Hedonic tests

- 3 locations Angers, Avignon, Paris
- 2 testing sessions in each location (in November)
- 299 consumers, panel balanced for gender and age groups



Varieties	2010		2011		
	Angers 33	Landes 18	Angers 14	Landes 9	
Nantais	8	10	7	6	
Imperator	5	3	1	1	
Flakkee	2	1	2	2	
Different Colours	8	4	0	0	
Local	10	0	4	0	
Descriptive analysis	48 batches		22 batches		
Hedonic test			10 batches		

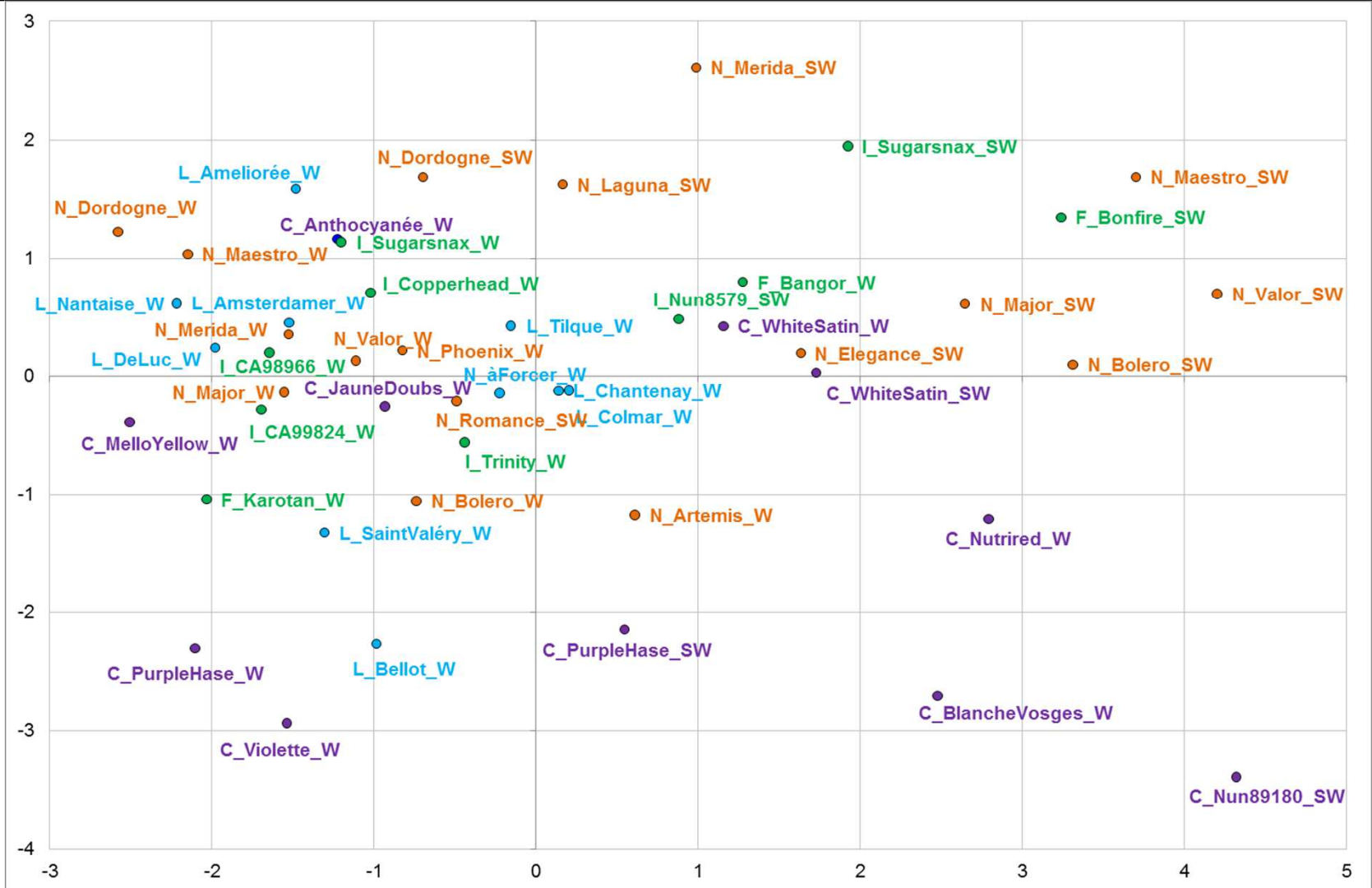


Senso

Ctifl



Espace sensoriel de la carotte



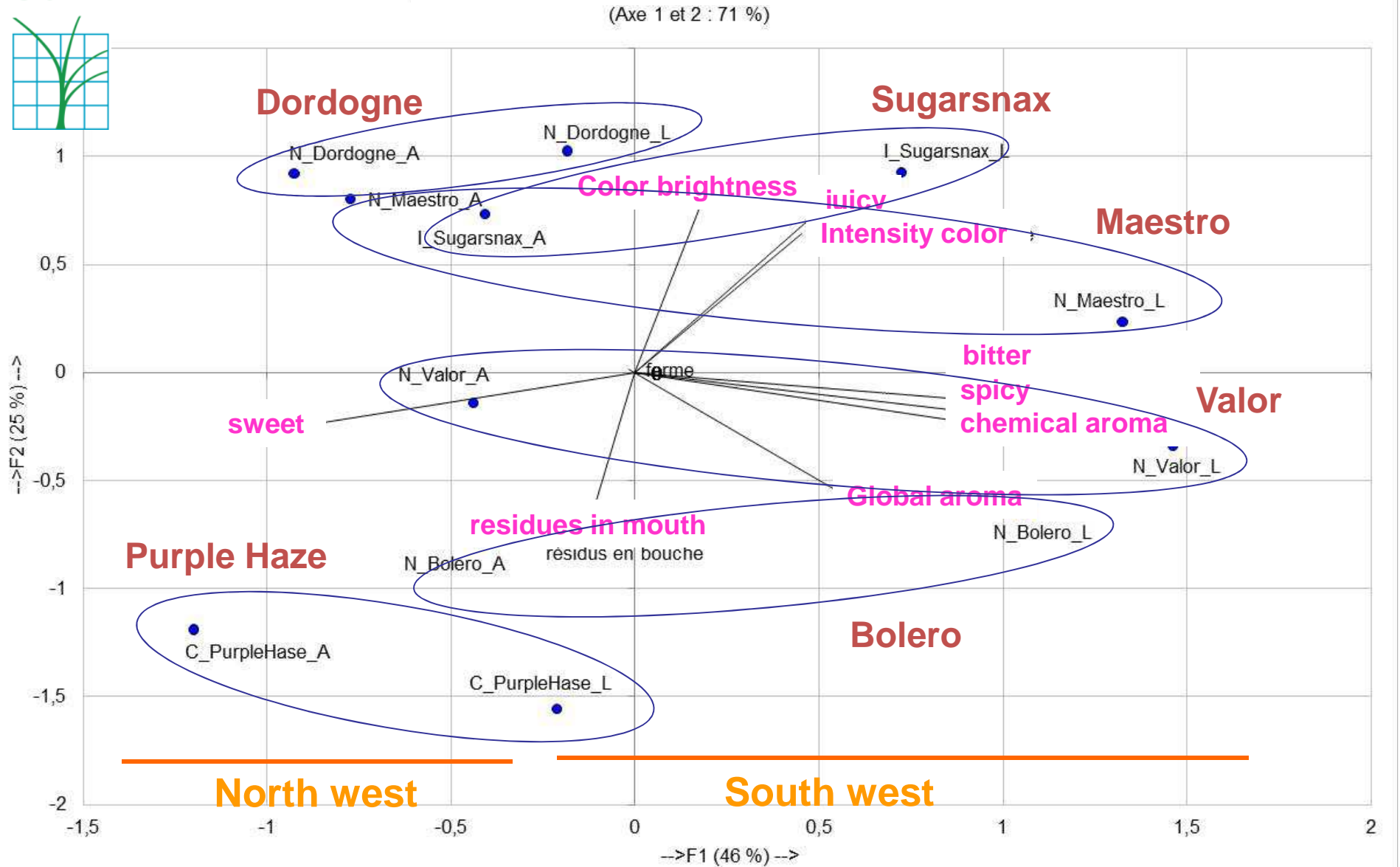
5 types, Nantais -Imperator-Flakkee- Colour - Local : set up all over the space
2 locations, SW strongly contributes to the right part of the space
Varieties have different behaviour

■ □ □ □ □ □

Senso

Evaluation sensorielle de la carotte

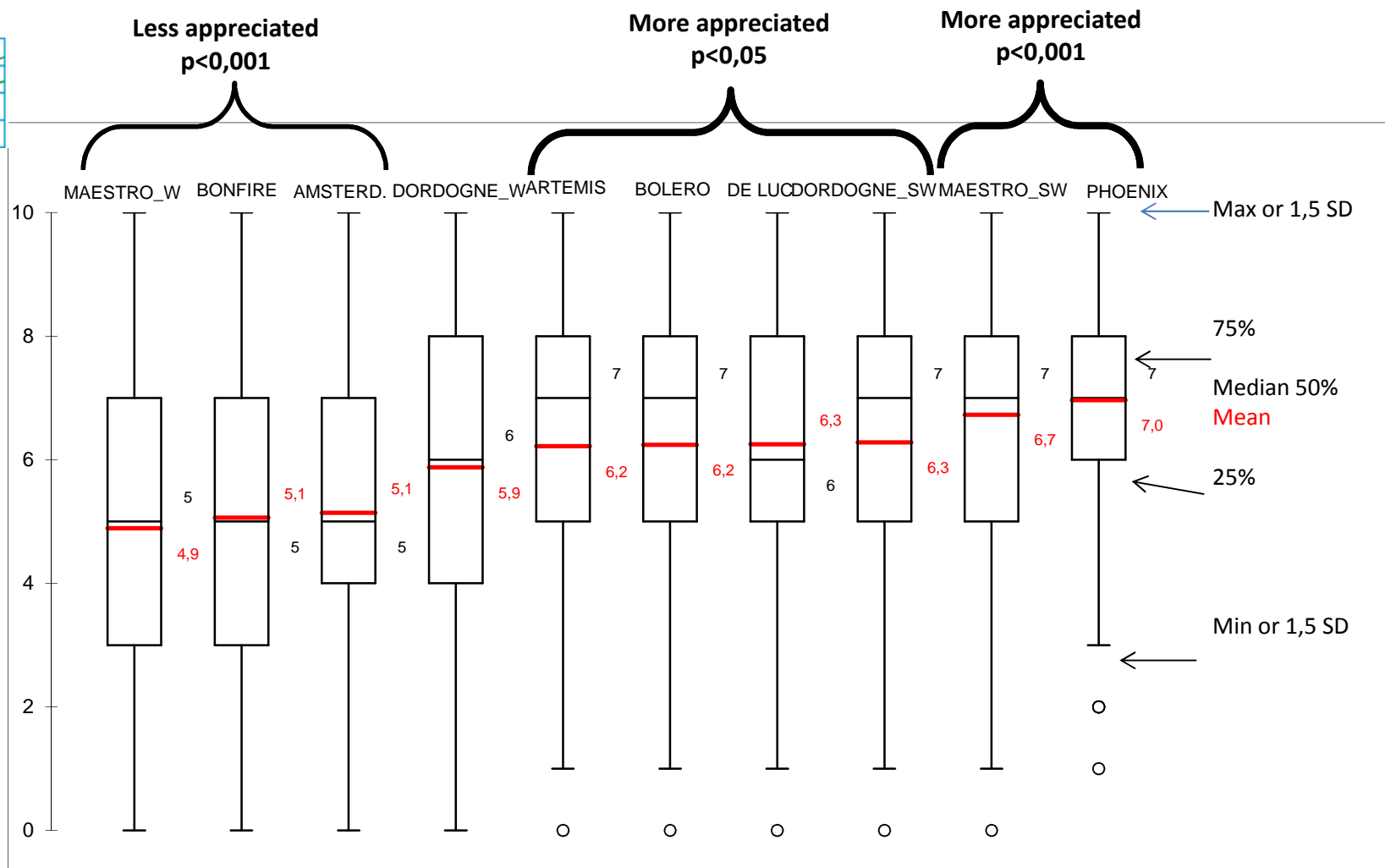
Ctifl



Score hédonique



Comparison to the mean score of 10 batches



Consumers express preferences

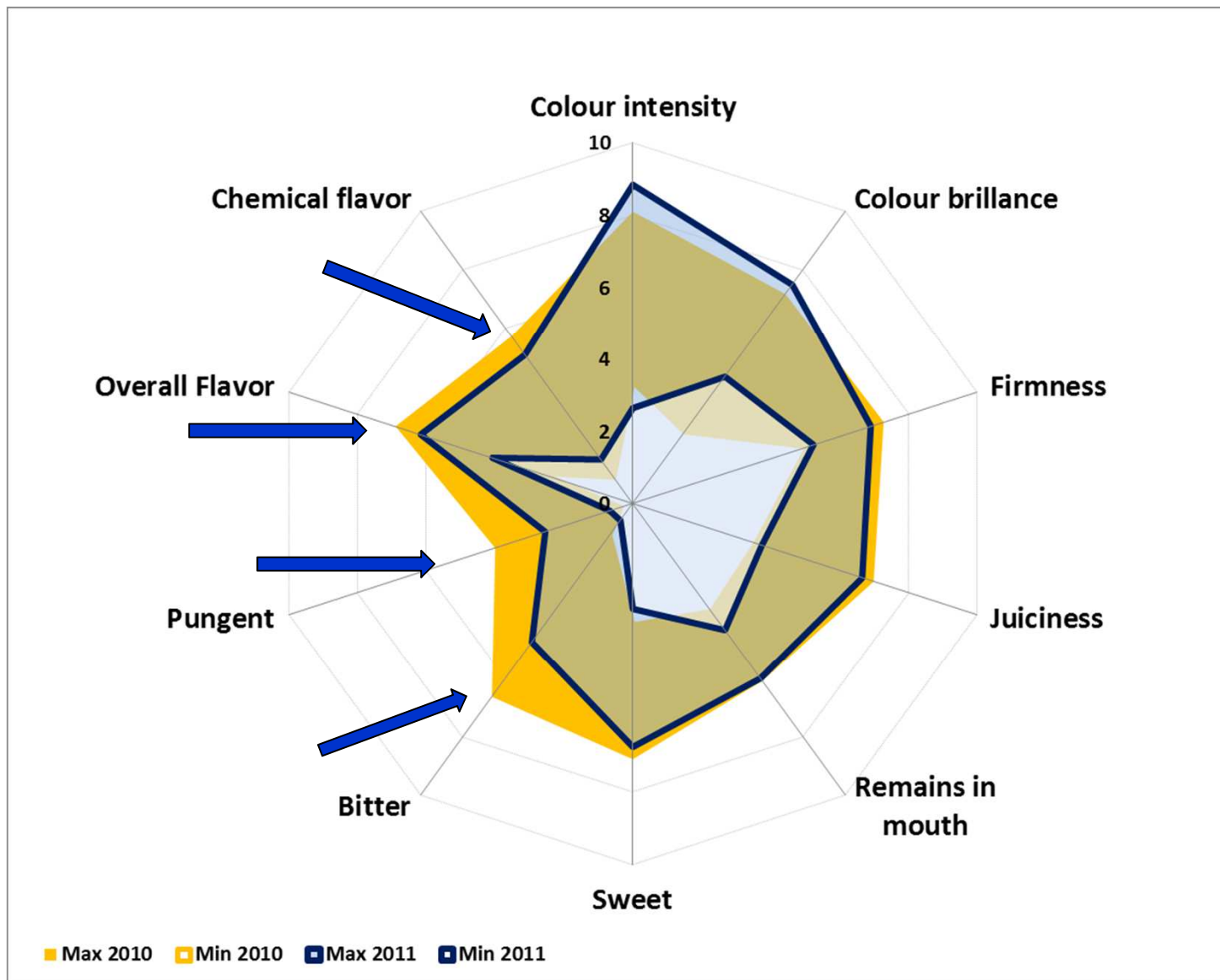
Location effect : Paris in opposition to Angers and Avignon never gives a bad score

No gender effect

Young people (18-24) give lower scores than older people (over 65)

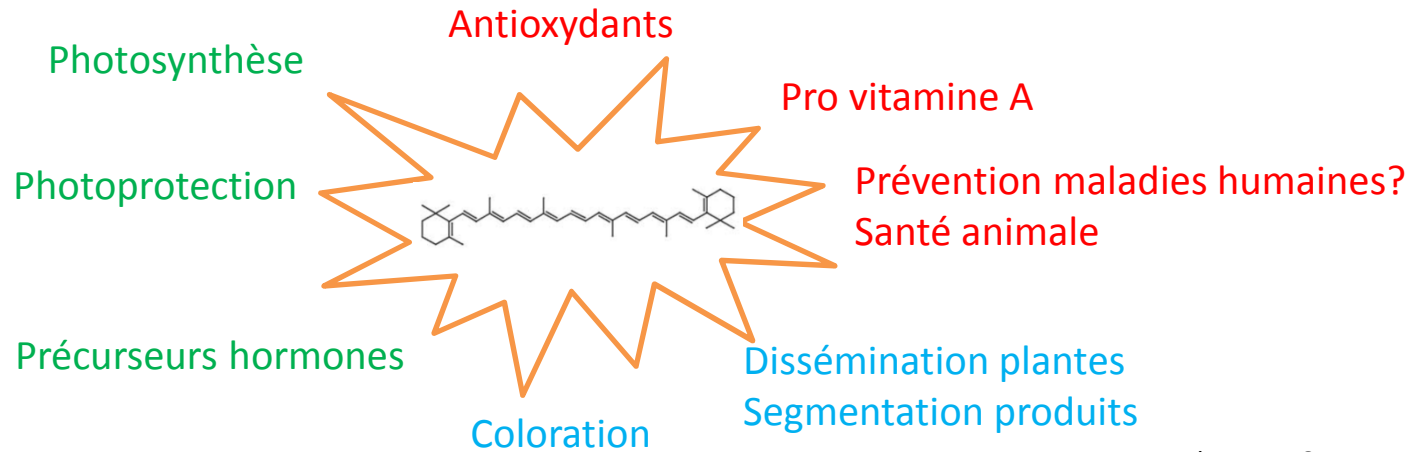
Comparaison espace sensoriel 2 années

Ctifl



Les caroténoïdes de la carotte

Des composés déterminants pour la plante et la qualité nutritionnelle du produit








(Howitt & Pogson 2006
Kopsell & Kopsell 2006)



Les caroténoïdes de la carotte

Variation pour la teneur en pigments de la racine de carotte

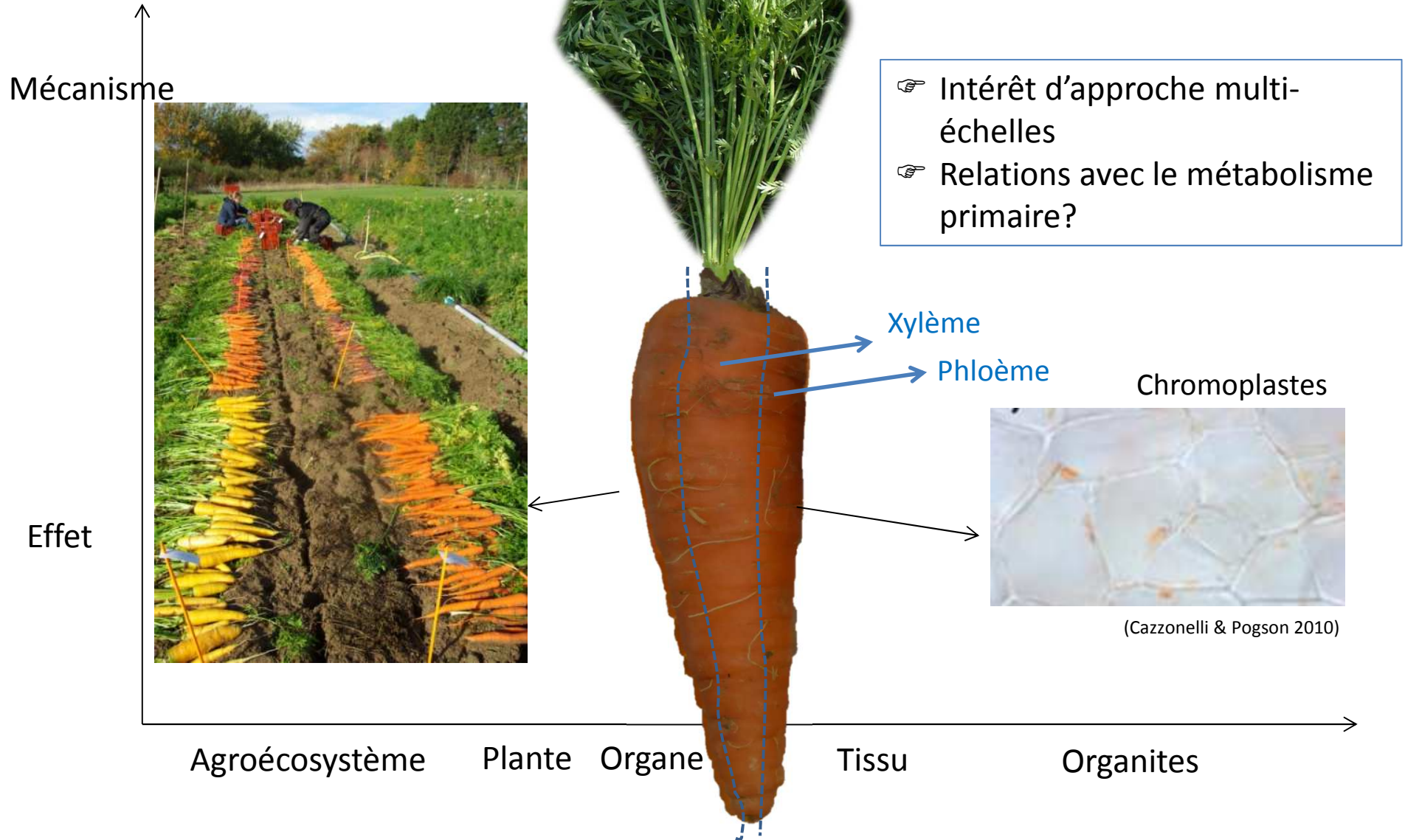
mg/Kg matière fraîche (MF)	Lutéine	α-Carotène	β-Carotène	Lycopène	Caroténoïdes totaux	Anthocyanes
 Blanche	-	-	-	-	-	-
 Jaune	1.5-9.2	0.4-15.7	1.8-61.7	-	3.8-70.4	-
 Orange	0.5-10.7	3.5-97.5	20.2-157.7	-	29.4-256.4	-
 Rose	0.5-8.7	0-2.1	2.7-50.9	1.7-101.8	7.4-135.9	-
 Pourpre	0.2-9.8	0.3-1.0	0.3-4.9	-	0.2-13.5	98-3240



(Geoffriau 2011)

Effect des conditions environnementales et rôle de la régulation transcriptionnelle?

Question d'échelle





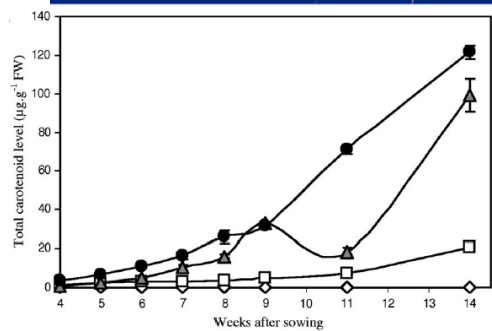
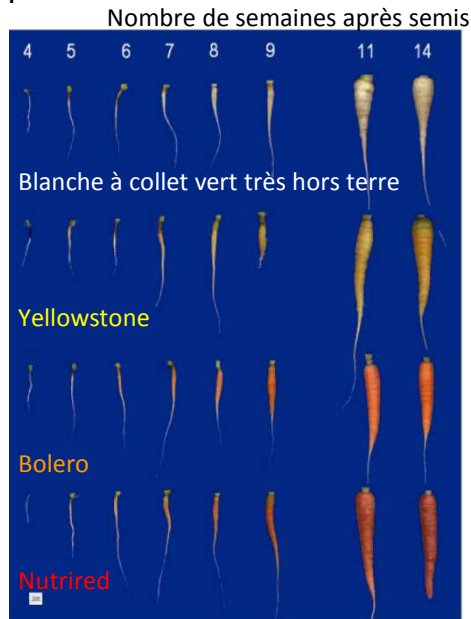
Identification gènes

Accumulation de caroténoïdes au cours du développement

Relation expression de gènes / phénotype coloré au cours du développement

Comparaison 5 types colorés / culture serre / 7 gènes

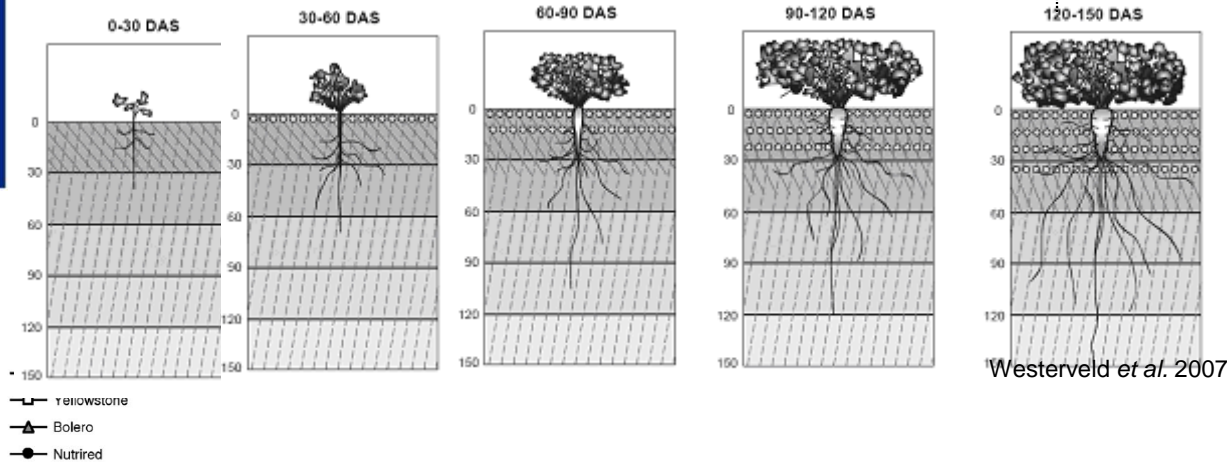
Développement



Evolution de la teneur en sucre

Evolution de la teneur en caroténoïdes

Différenciation et division des chromoplastes
Synthèse de β -carotène



(Clotault et al. 2008 J Ex Bot)



Accumulation et expression continues

Relation partielle gène/coloration : *ZDS*, *LCYE*, *ZEP* ?

Influence des facteurs agroclimatiques

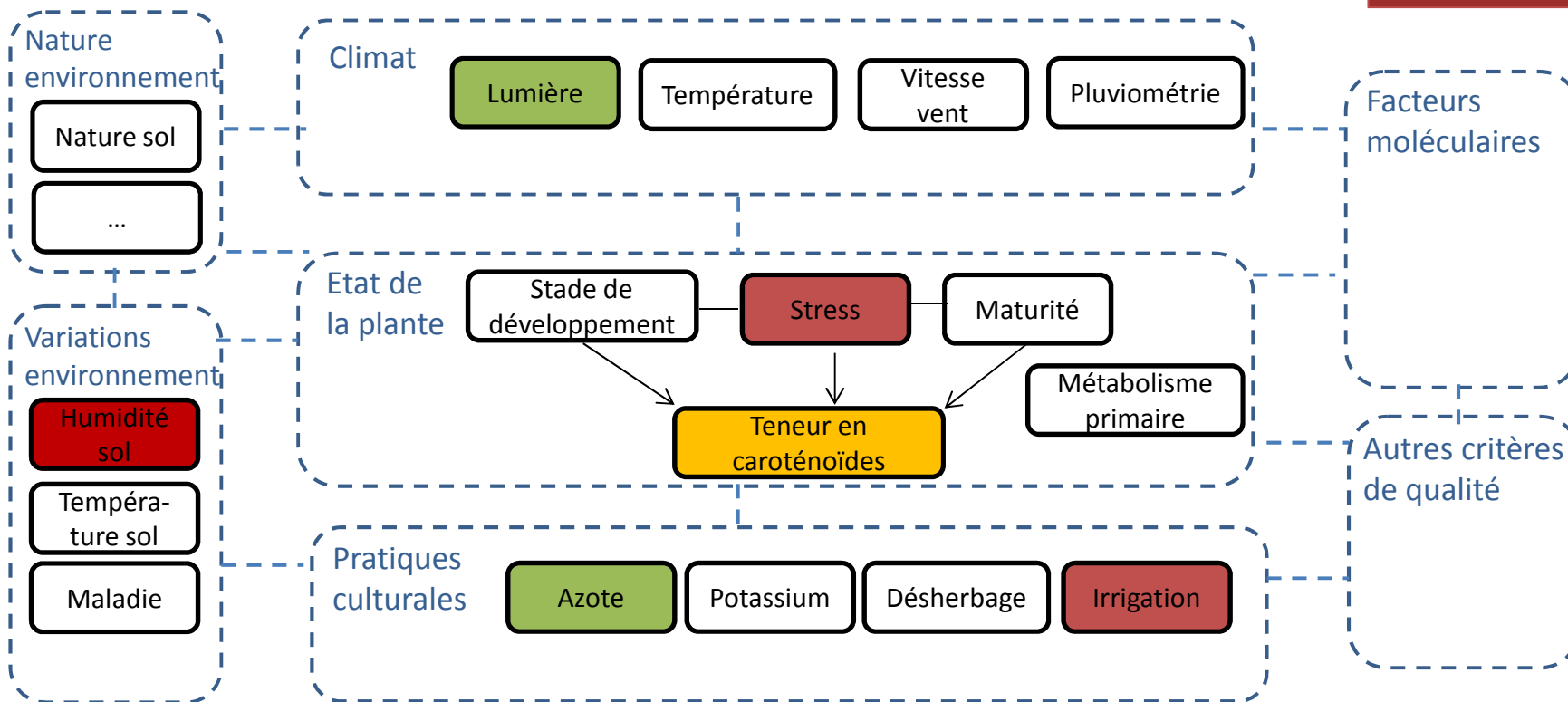
Identification des facteurs d'environnement influençant l'accumulation en caroténoïdes

Diversité matériel orange dont moderne, réseau de parcelles

Analyse multicritères, régression multiple

Composés caroténoïdes, puce expression carotte

Caroqual
Identification de
facteurs influençant
la variabilité des
critères de qualité



- ☞ Facteurs de régulation autres voies
- ☞ Pondération des effets agroclimatiques
- ☞ Règles de décision reconnaissance variétale

(Northolt et al. 2004 , Sandhu et al. 1988 , Leclerc et al. 1990 , Hochmuth et al. 1999, Ombodi et al. 2014, Perrin et al. JAFc, Sorensen et al. 1997 ; Zeipina et al. 2014)

Influence des effets agroclimatiques

Identification des facteurs d'environnement influençant l'accumulation en caroténoïdes

Diversité matériel orange dont moderne, réseau de parcelles

Composés caroténoïdes, puce expression carotte

Facteur	Effet	Référence
Facteurs climatiques		
Lumière	+	Northolt et al. 2004
Hautes températures sol	=	Sakamoto et Suzuki 2015
Stress physique (grêle)	=	Talcott et Howard 1999
Facteurs agronomiques		
Fertilisation azotée	+	Sandhu et al. 1988 ; Freeman & Harris 1951 ; Evers 1989 ; Leclerc et al. 1990 ; Hochmuth et al. 1999
Fertilisation potassium	=	Hochmuth et al. 2006 ; Freeman & Harris 1951
Chlore	(-)	Freeman & Harris 1951
Humidité du sol	-	Zeipina et al. 2014
Irrigation	-	Fikselova et al. 2017 ; Sorensen et al. 1997 ; Zeipina et al. 2014
Stress hydrique	-/+	Kwiatkowski et al. 2013
Engrais verts	+	Kwiatkowski et al. 2013
Stimulateurs de croissance au champ	=	Sandhu et al. 1988
Désherbage	+	
Systèmes de culture		
système biologique/conventionnel	= (-)	Brandt et al. 2011, Bourn et Prescott 2002 ; Bach et al. 2015 ; Warman et Havard 1997 ; Paoletti et al. 2012

Effets de la préparation de sol

Evers *et al.*, 1997 – « Effets de la forme du sol et de la densité sur le rendement et la qualité interne de la carotte »

À haute densité, plus de glucose/fructose sur terrain plat

Buttes étroites : plus de fibres et de vitamine c que les buttes larges

À faible densité, les teneurs en α -carotène sont plus élevées

À faible densité, les plus fortes teneurs en β -carotène sont sur les cultures à plat ou en buttes larges





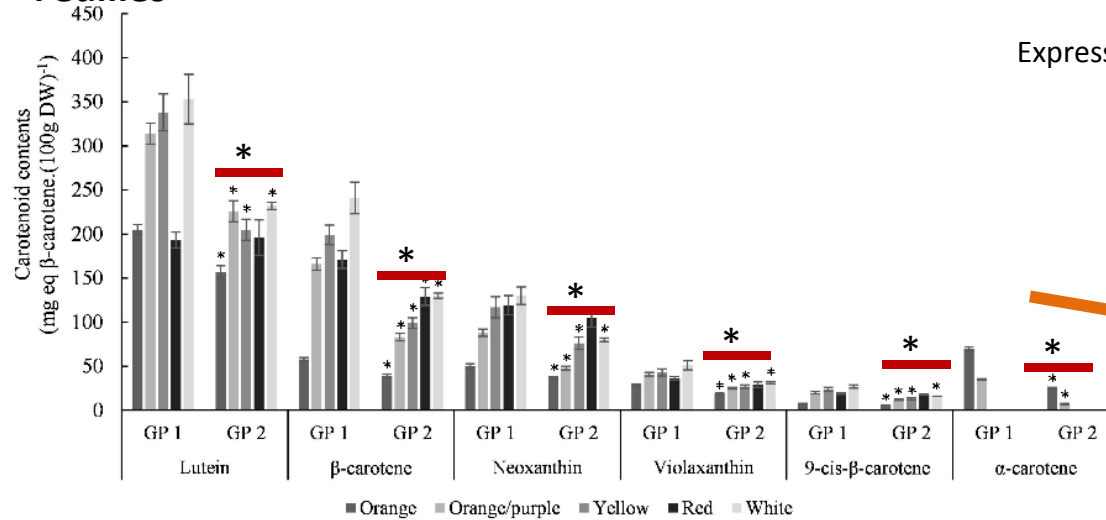
Caroténoïdes
Environnement

Effets de conditions de culture contrastées

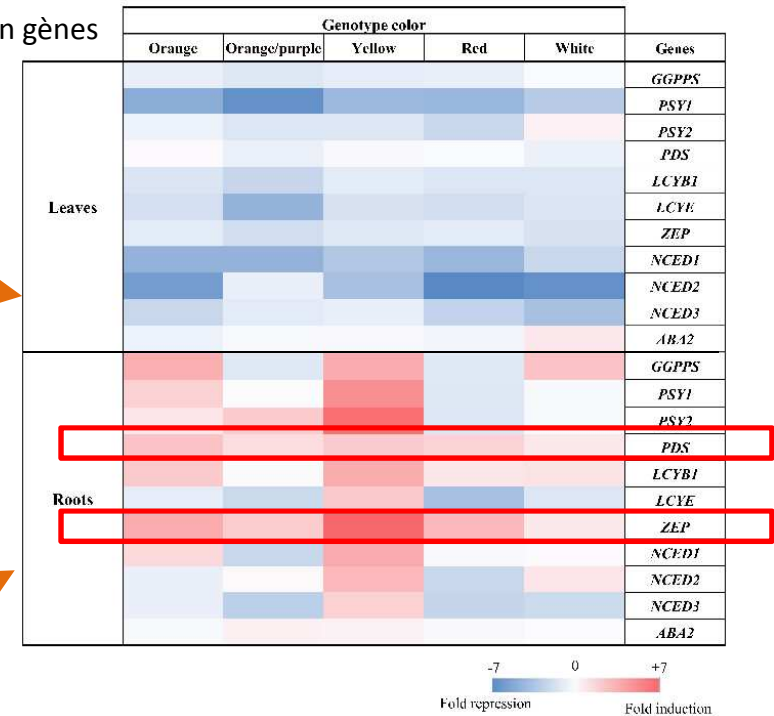
Comparaison de période de culture tardive et normale

Comparaison de 2 périodes de culture : GP1 normale (Juil –Sept) / GP2 tardive (Aout – Nov)

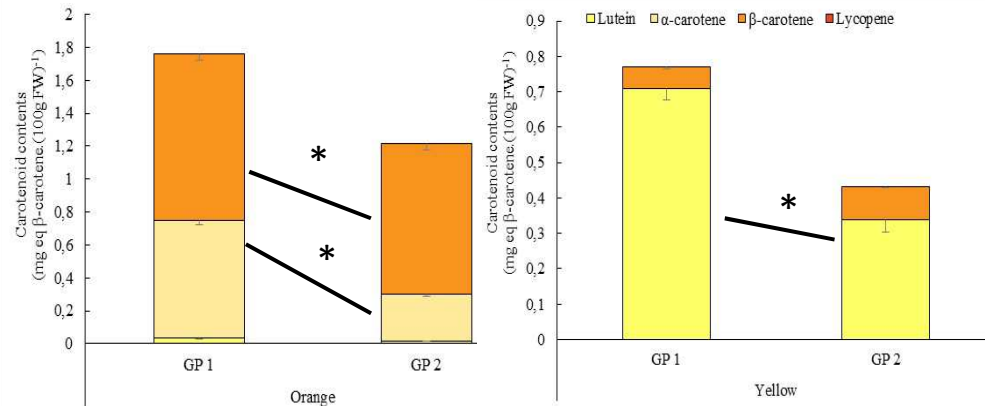
Feuilles



Expression gènes



Racines



(Perrin *et al.* 2016 JAFRC)

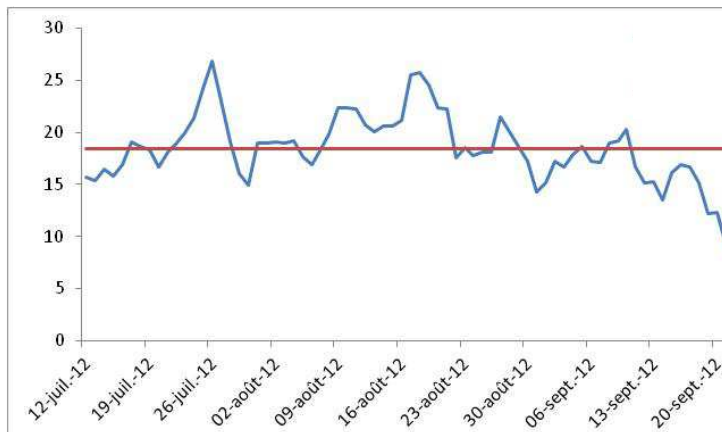
- ☞ Racines : switch vers branche β-β ?
- ☞ Racines : effet génotype dépendant

(Perrin *et al.* 2016 Journal of Agricultural and Food Chemistry)

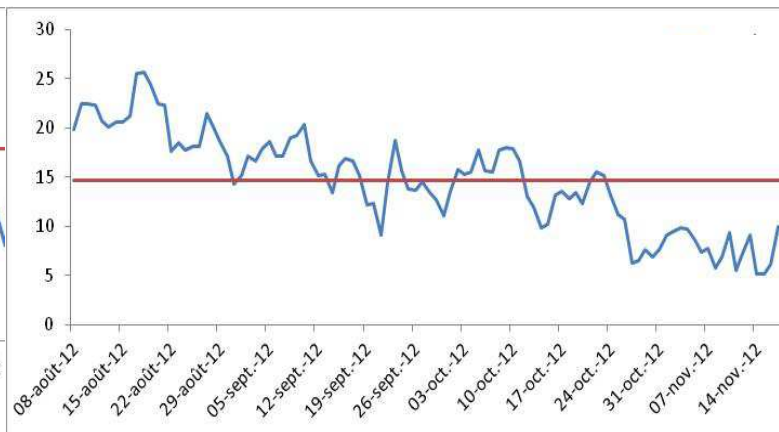
Effets de conditions de culture contrastées

Temperature
°C

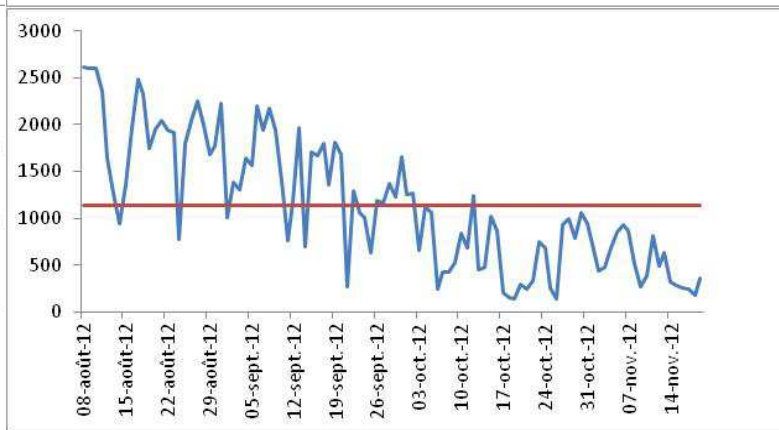
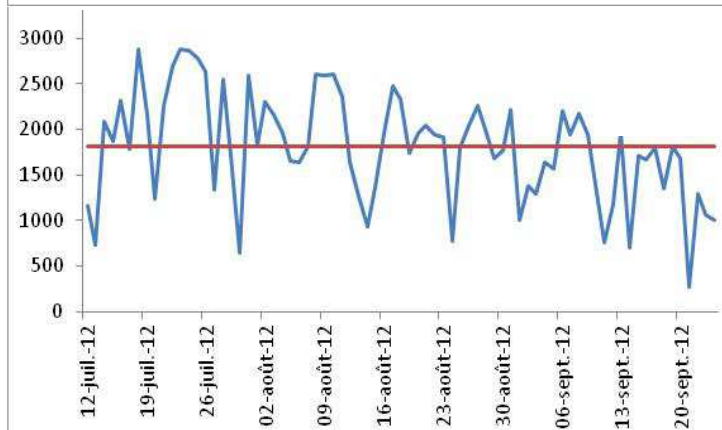
GP1



GP2



Global ray
J/cm²



☞ Temperature and global ray as main factors

Effet azote : contradictions dans la littérature

En général, lorsque N ++

- ↘ sucres
- ↘ acides phénoliques et vitamine c
(antioxydants)
- ↘ huiles essentielles
- ↗ caroténoïdes
- ↗ composés azotés

Aucune influence sur la
composition en ac.organique

Autres fertilisations

Bore et calcium (Davinder *et al.*, 2011).

Sans ajout de Calcium et Bore:

↗ [carotènes] de 33 à 50%

↗ [vitamine c] de 45 à 70%

Sans Bore:

↗ [ac.phénolique]

Mais...

Essentiel au développement
des plantes

Potassium

(Hochmut *et al.*, 2006)

Pas d'effet sur les [sucres] et
[caroténoïdes]

Azote et Phosphore

Evers *et al.* 1989

Augmentation [carotènes] avec N et P
sauf lorsque:

$80 < N < 150 \text{ kg.ha}^{-1}$

→ Plateau de réponse

→ Interaction entre éléments nutritifs

Impact de stress sur la teneur en caroténoïdes



Teneurs en caroténoïdes



Duan *et al.* (2012) (*feuilles tomate*)



Teneurs en caroténoïdes



Hassan *et al.* (2015) (*feuilles tomate cerise*)



Teneurs en caroténoïdes

Résistant



Camejo *et al.* (2005)

Sensible



(*feuilles tomate*)

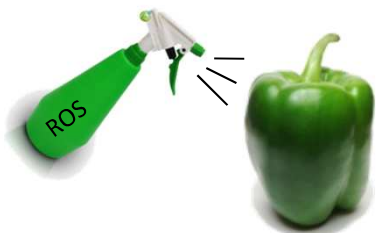


Teneurs en caroténoïdes



Hanci et Cebeci (2014)
(*feuilles oignon*)

Impact de l'environnement sur la teneur en caroténoïdes



Teneurs en caroténoïdes



Bouvier et al. (1998) (fruit poivron)



Teneurs en caroténoïdes



Maurya et al. (2015) (fruit poivron)



Teneurs en caroténoïdes

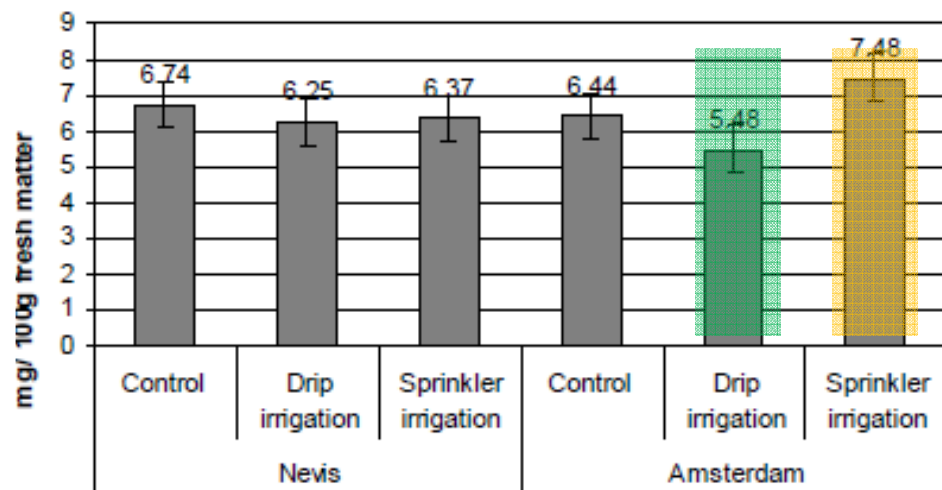


*Borghesi et al. (2011)
(fruit tomate)*

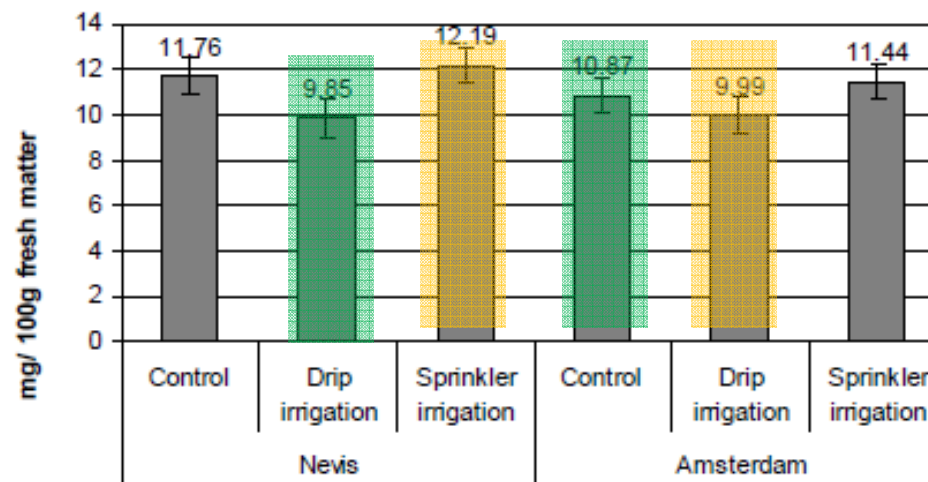
Effect de l'irrigation

Yr	Water supply	Zeaxanthin		α-carotene		β-carotene		ζ-carotene		cis-ζ-carotene		Phytoene		Total caroténoïdes (mg·kg ⁻¹)
		(mg·kg ⁻¹)	(%)	(mg·kg ⁻¹)	(%)	(mg·kg ⁻¹)	(%)	(mg·kg ⁻¹)	(%)	(mg·kg ⁻¹)	(%)	(mg·kg ⁻¹)	(%)	
2010	Rain-fed	31 a ^z	3.6 a	213 b	24.3 b	461 b	52.0	51 ab	5.8	72 b	8.1 a	40 ab	4.6	883 b
	Irrigated	24 ab	3.1 a	229 b	29.3 a	399 b	50.9	45 b	5.7	38 c	4.8 b	37 b	4.8	784 b
2011	Rain-fed	21 bc	1.8 b	282 a	25.2 b	571 a	51.4	85 a	7.6	105 a	9.4 a	49 a	4.5	1112 a
	Irrigated	14 c	1.7 b	199 b	23.4 b	432 b	50.1	77 ab	9.0	86 ab	10.2 a	49 a	5.7	857 b

Ombódi *et al.* (2014) *HortScience*



Carotene content in carrot in 2010



Carotene content in carrot in 2011

Zeipina *et al.* (2014) *Acta Hort.*

☞ L'apport en eau joue un rôle sur l'accumulation en caroténoïdes – effet stress?

☞ Effet année

Effet de stress spécifiques

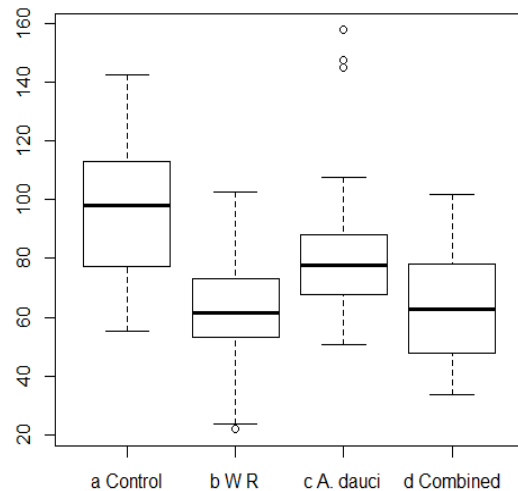
Contraintes par conditions de stress spécifique

- biotique (*A. dauci*), abiotique (restriction hydrique), combinaison
- 6 génotypes (couleur x résistance)
- 2 années



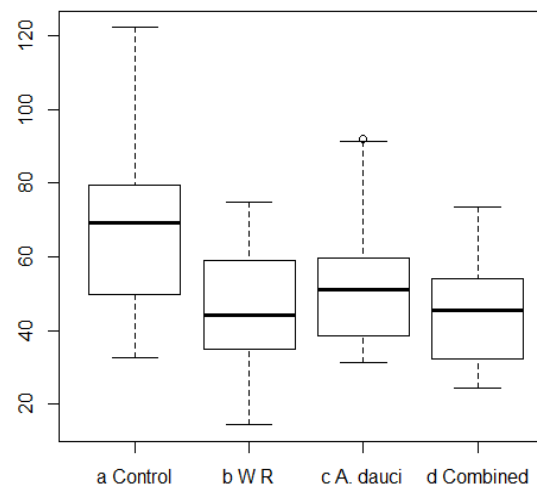
Hauteur plante (cm)

Box Plot par Condition



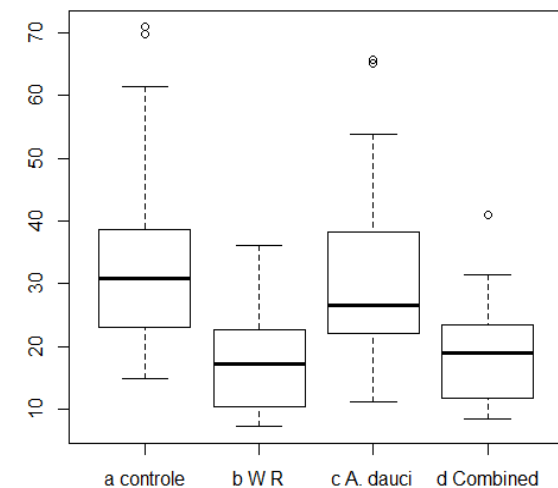
Masse racine (g)

Box Plot par Condition



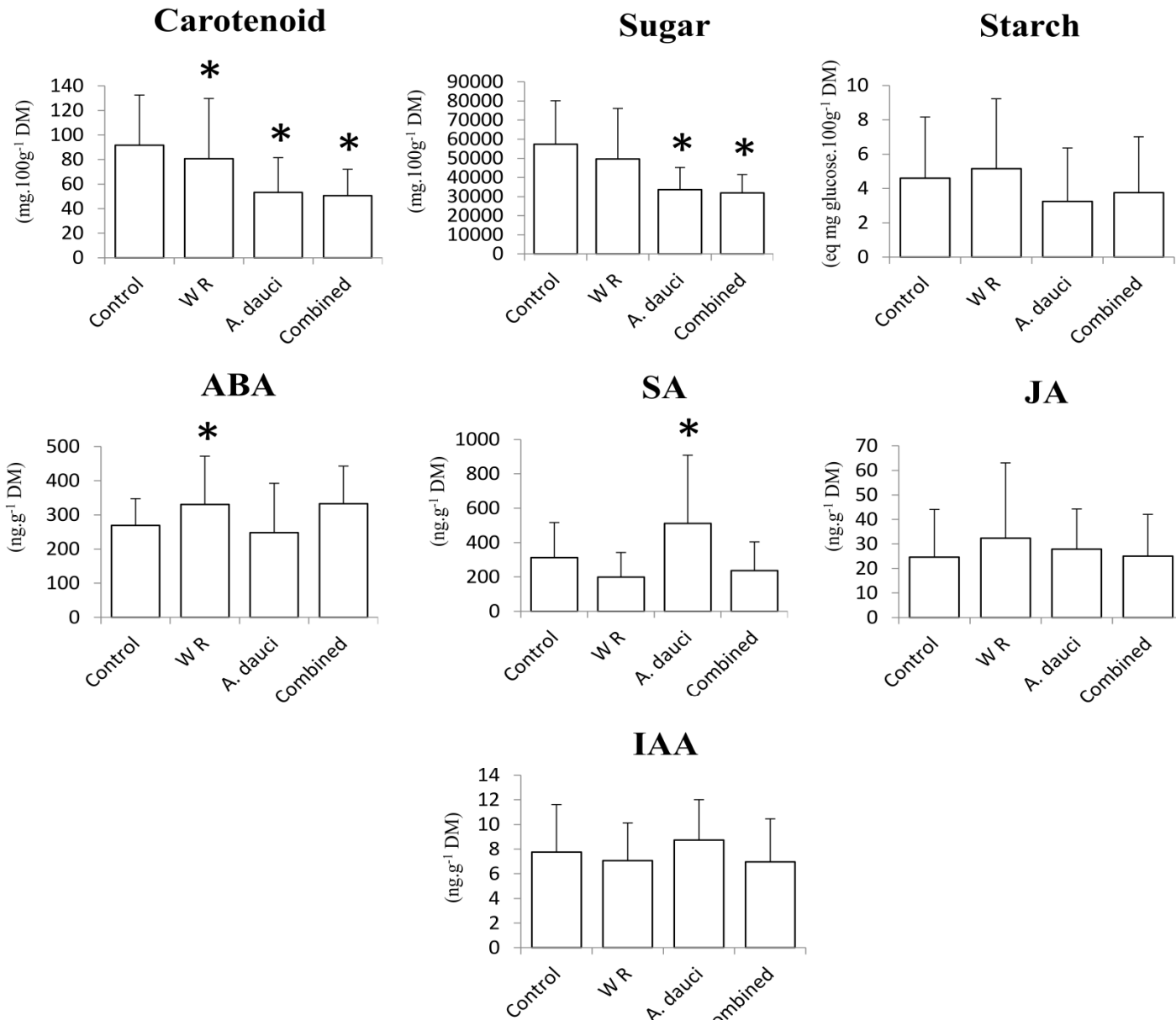
Masse feuilles (g)

Box Plot par Condition



Effets de stress biotique et abiotique

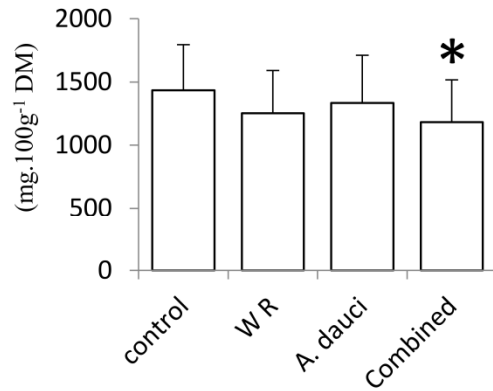
Racines



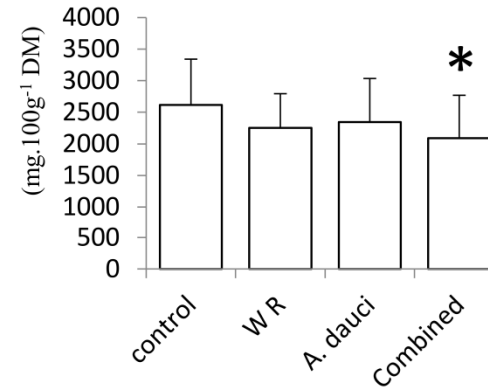
Effets de stress biotique et abiotique

Feuilles

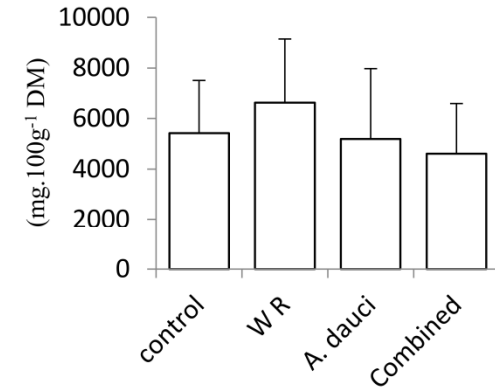
Carotenoid



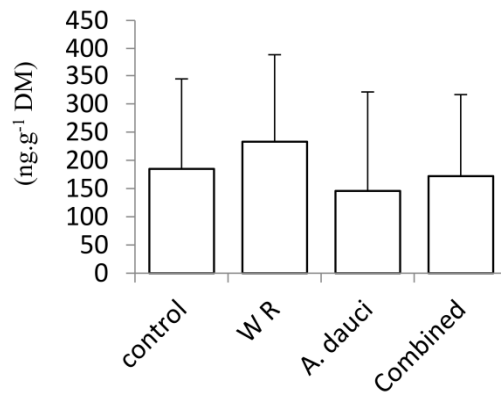
Chlorophyll



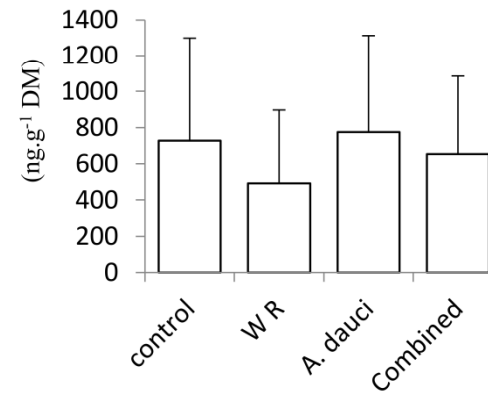
Sugar



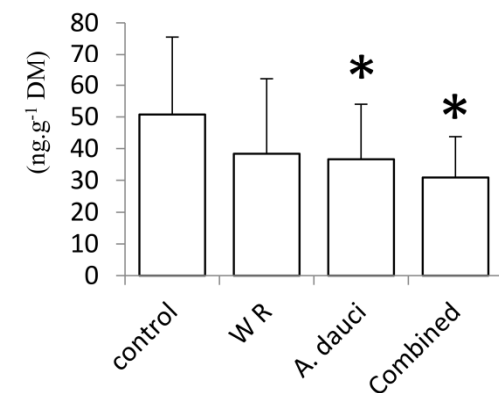
ABA

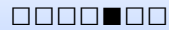


SA



IAA





Caroténoïdes
Stress

Effets de stress biotique et abiotique

- Content decrease, carotenoid & sugars & combined stresses
- Effect biotic & combined, effect tolerance to *A. dauci*

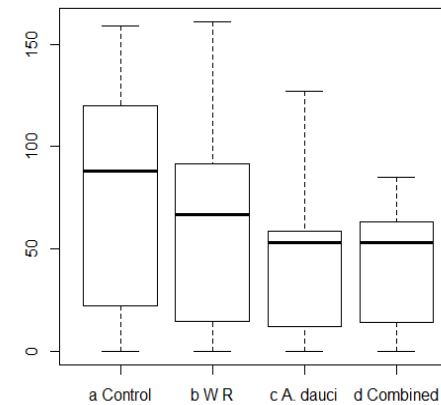
tière Sèche, Test de Tukey <0,05
gnificative des teneurs/témoin
ficative des teneurs/témoin

Caroténoïdes

Génotypes	Rest. Hydrique	A. dauci	Croisés	
Boléro				β-carotène
				α-carotène
				Lutéine
				Lycopène
Presto				β-carotène
				α-carotène
				Lutéine
				Lycopène
Karotan				β-carotène
				α-carotène
				Lutéine
				Lycopène
Deep purple				β-carotène
				α-carotène
				Lutéine
				Lycopène
Kintoki				β-carotène
				α-carotène
				Lutéine
				Lycopène

Absence du métabolite dans la racine

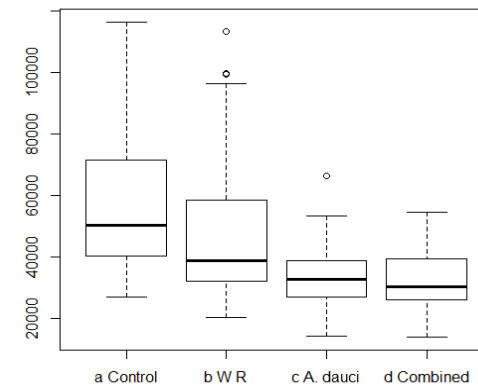
Box Plot par Condition



Sucres

Boléro				Glucose
				Fructose
				Saccharose
Presto				Glucose
				Fructose
				Saccharose
Karotan				Glucose
				Fructose
				Saccharose
Deep purple				Glucose
				Fructose
				Saccharose
Kintoki				Glucose
				Fructose
				Saccharose
BdV				Glucose
				Fructose
				Saccharose

Box Plot par Condition



(Perrin et al. 2017 Experimental and Environmental Botany)

Perspectives : projet Caroqual

Caroqual

Identification de facteurs influençant la variabilité des critères de qualité

Objectif :

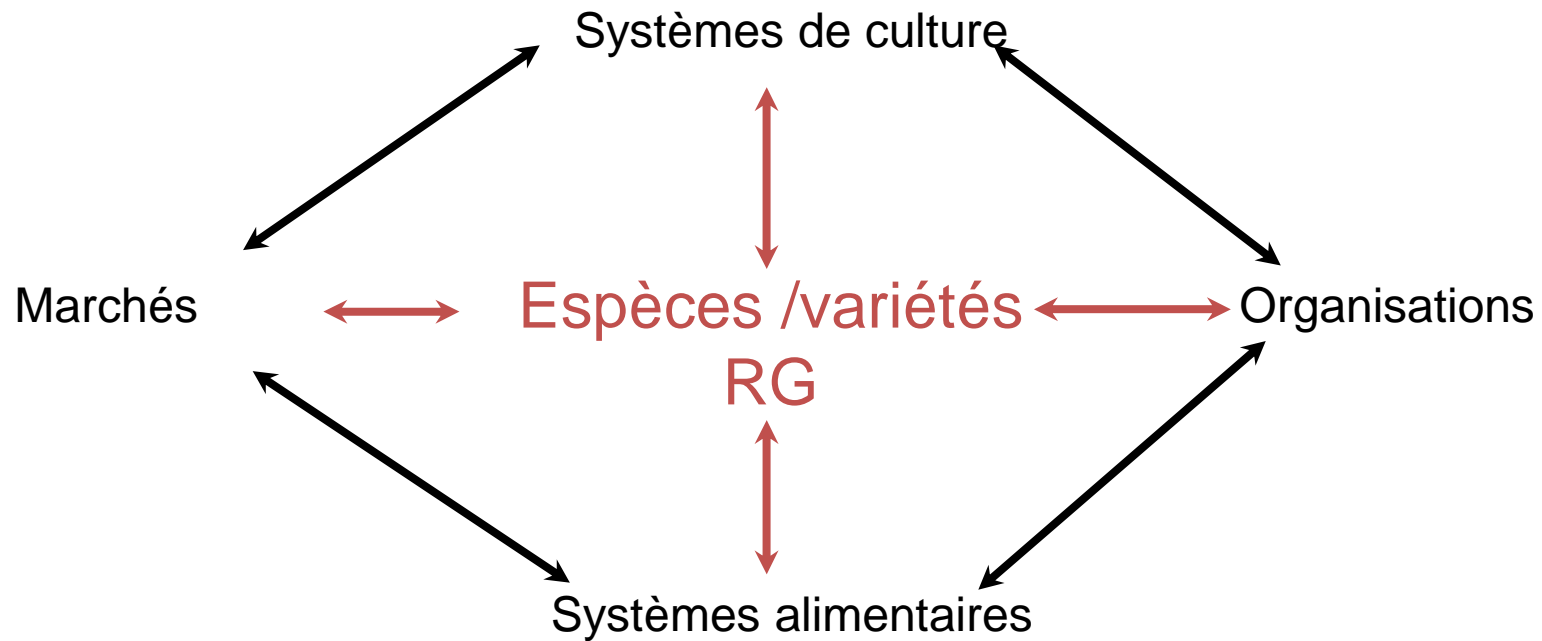
Identifier et quantifier l'impact de la variabilité issue de la diversité variétale et de conditions de production sur la qualité nutritionnelle et organoleptique de la carotte (approche multicritère et pluri environnementale)

- quel est l'impact de la variation génotypique sur les critères de qualité ?
- quels sont les critères de qualité les plus influencés par l'environnement et quels sont les facteurs d'environnement les plus déterminants ?
- comment raisonner la création et la caractérisation d'innovations variétales prenant en compte la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits ?

Comment valoriser et conforter un choix variétal fondé sur la qualité intrinsèque?

Nécessité de diversité à tous les niveaux

Diversité de :



La diversité renforce la résilience des systèmes

Résilience ?

- Capacité à absorber stress
- Capacité à exprimer le potentiel lié à des modifications du système de culture
- Importance de la diversité à tous niveaux
- Sélection pour couples variétés-systèmes? Ou variétés mondiales?
- Apprécier la résilience / adaptabilité d'une variété?
- Faire reconnaître et valoriser

Défis en potagères

- Stress biotiques : résistance mais pas que...
- Combinaison de stress dans une approche système
- Efficience en eau, pics/chutes de température, variations sol, rayonnement global

Pre-sélection / recherche

- Meilleure connaissance de l'interaction GxE des caractères de qualité
- Intégrer des caractères physiologiques de régulation de la plante
- Part de l'épigénétique?

Remerciements

Equipe QuaRVeg



IRHS

Inem
Qualipom
BioInfo
Qualité

SFR

Anan
Phyto
SensoVeg

Instituts

INRA Paris et Avignon
Ctifl
Univ Friburg
SFR Santé / Sopam

Entreprises

Vilmorin
Clause
Rijk Zwaan
Diana Naturals

Soutiens

Région Pays de la Loire
Ministère agriculture
Ministère recherche
Vegepolys





31st International Horticultural Congress



SAVE THE DATE

August 14-20, 2022

IHC Congress
Angers - FRANCE