

Stress hydrique et qualité du fruit

Nadia BERTIN
INRA PSH Avignon



Quels effets bénéfiques du stress hydrique?
Quelle variabilité génétique?

Thèses:

Rémy Aurand
Julie Ripoll

Projets:

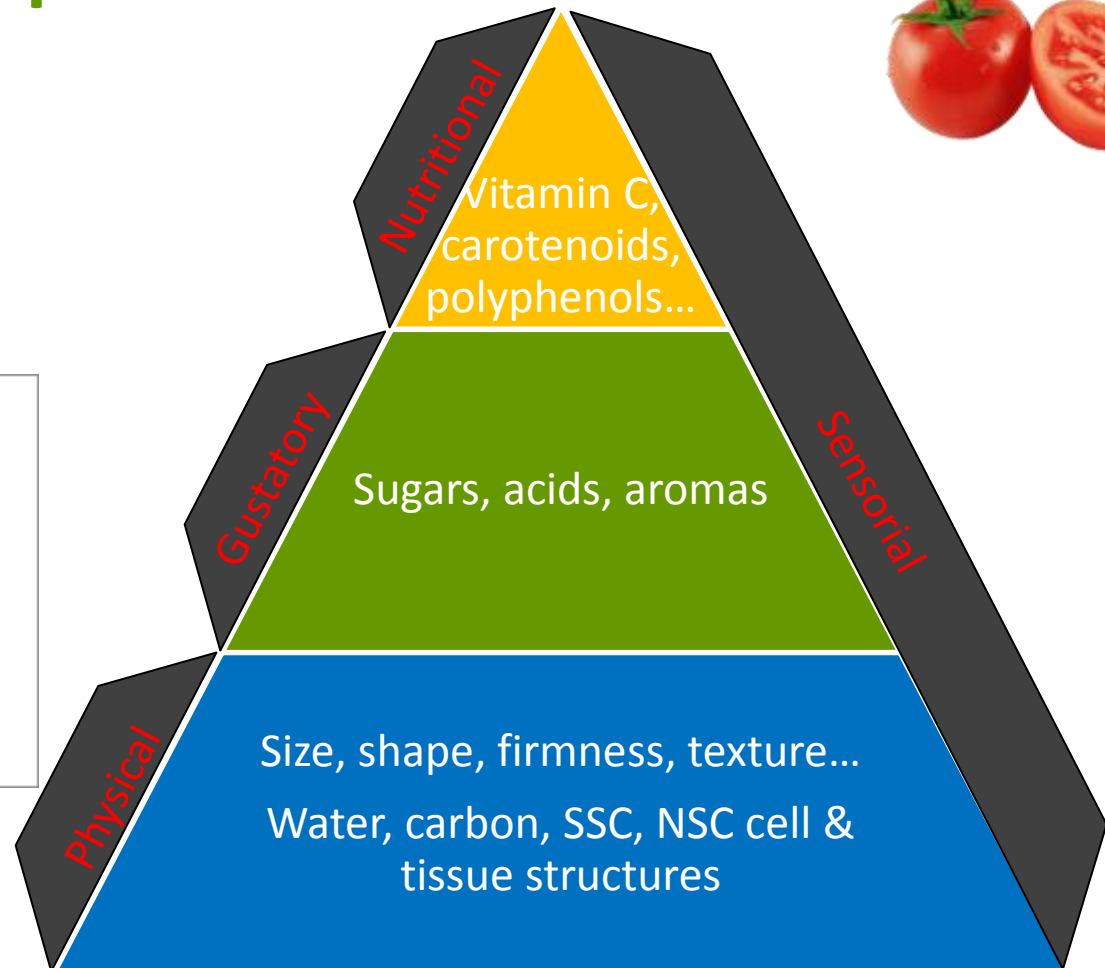
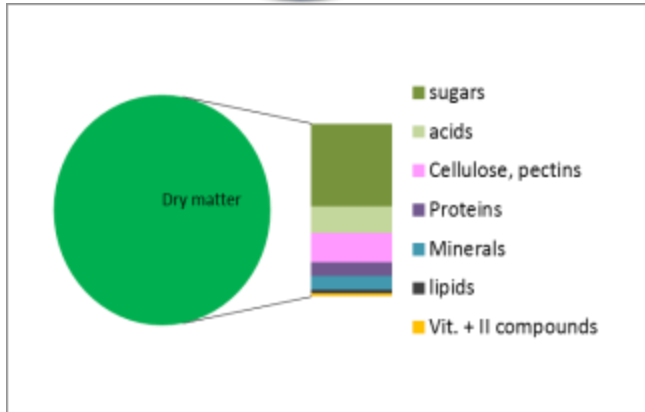
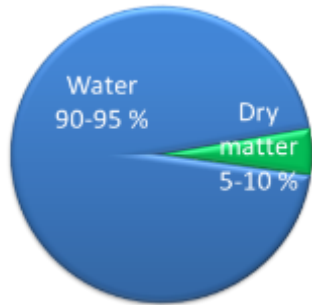
TomSec (CTPS)
AdapTom (ANR)



Collaborations:

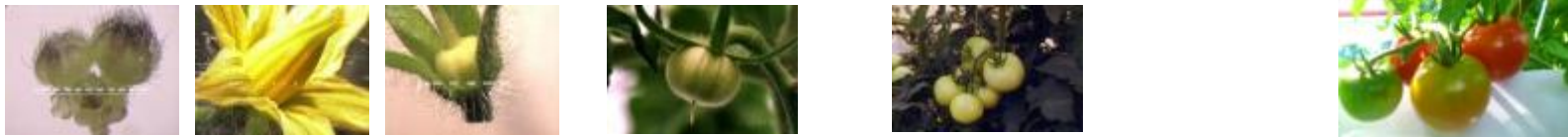
Quality of fleshy fruits

• A complex composite trait



Elaboration of fruit quality

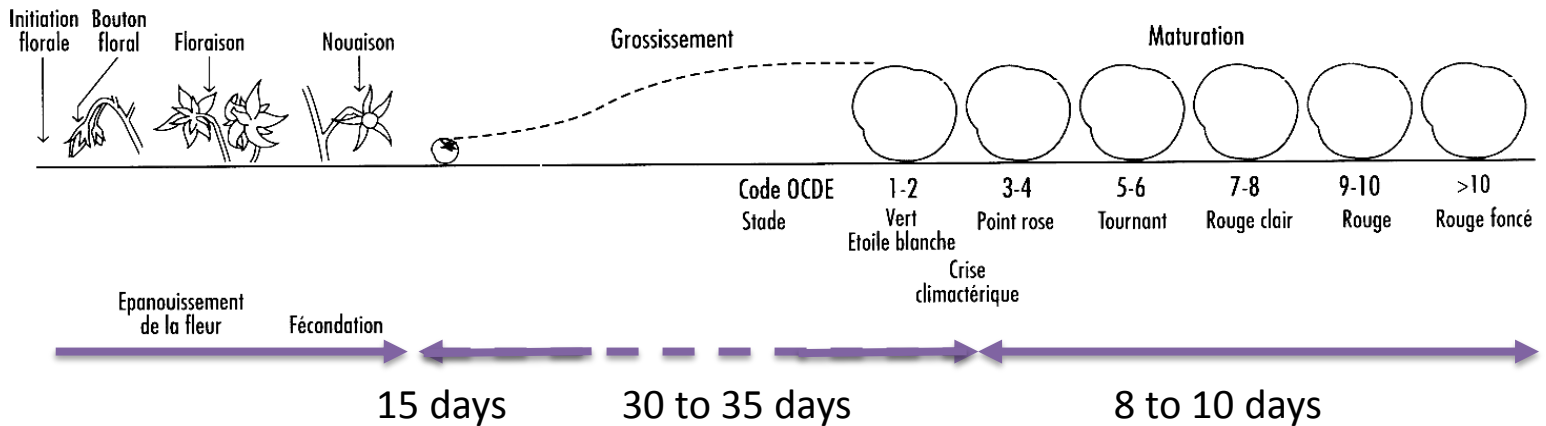
Many interacting processes are involved during fruit development



Cell division

Cell expansion

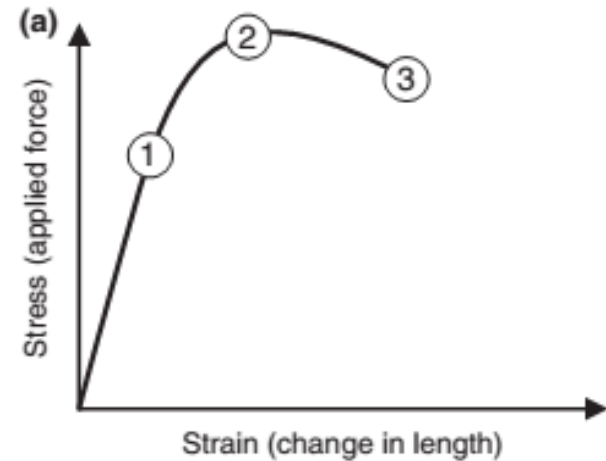
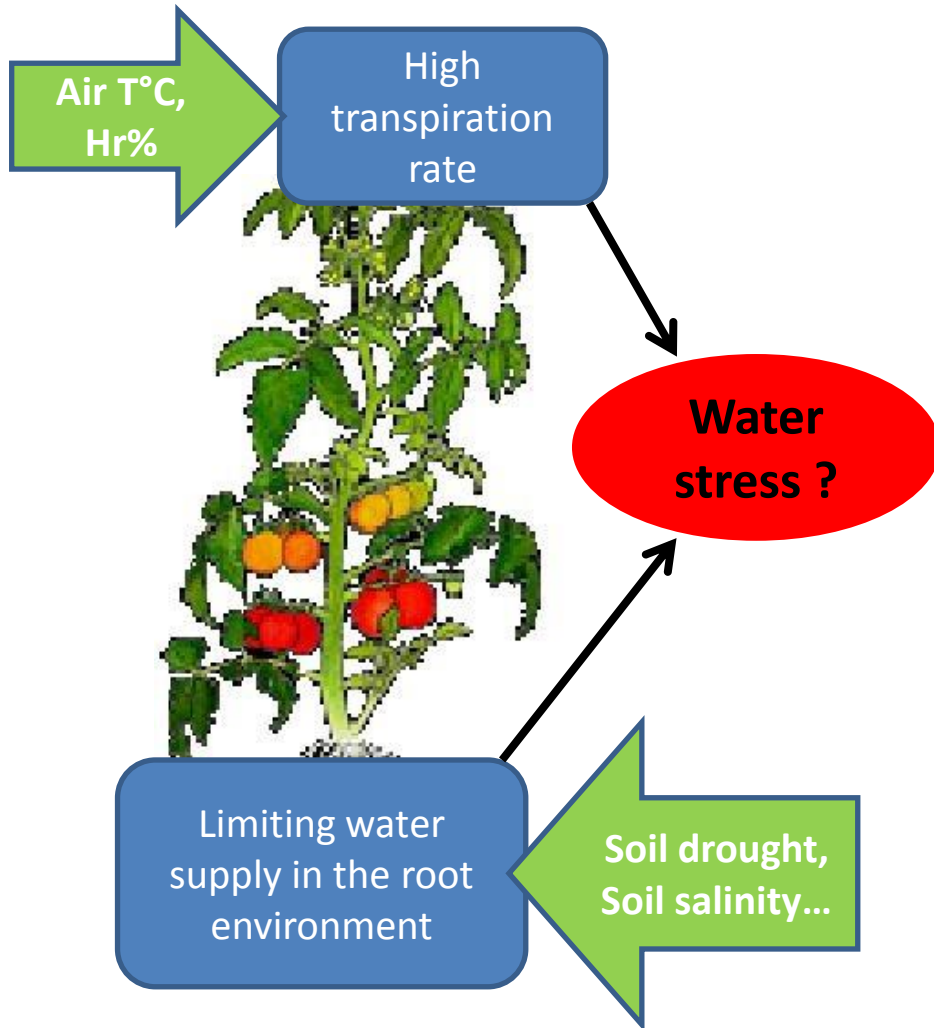
Ripening



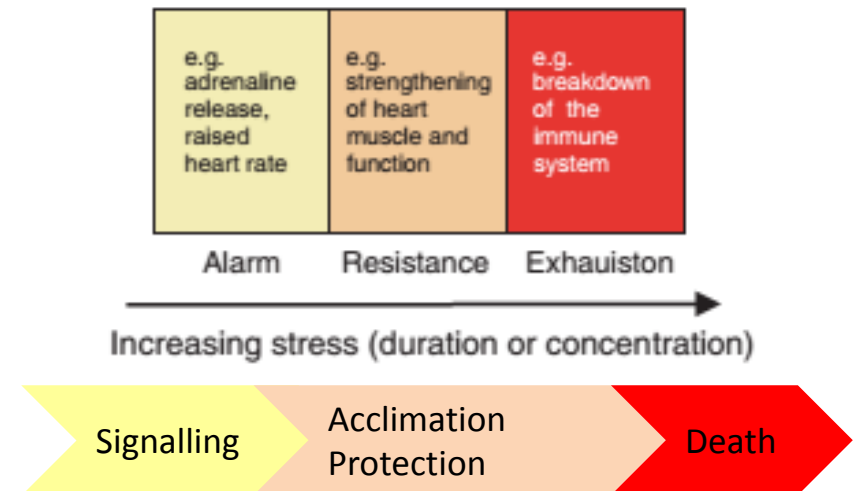
Primary metabolism (sugars, acids)

Secondary metabolism (carotenoïds, Vit.C , phenols...)

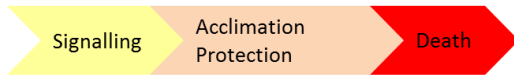
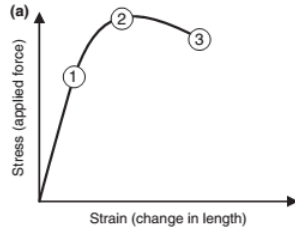
What is Stress?



Kranner et al. New Phytol 2010



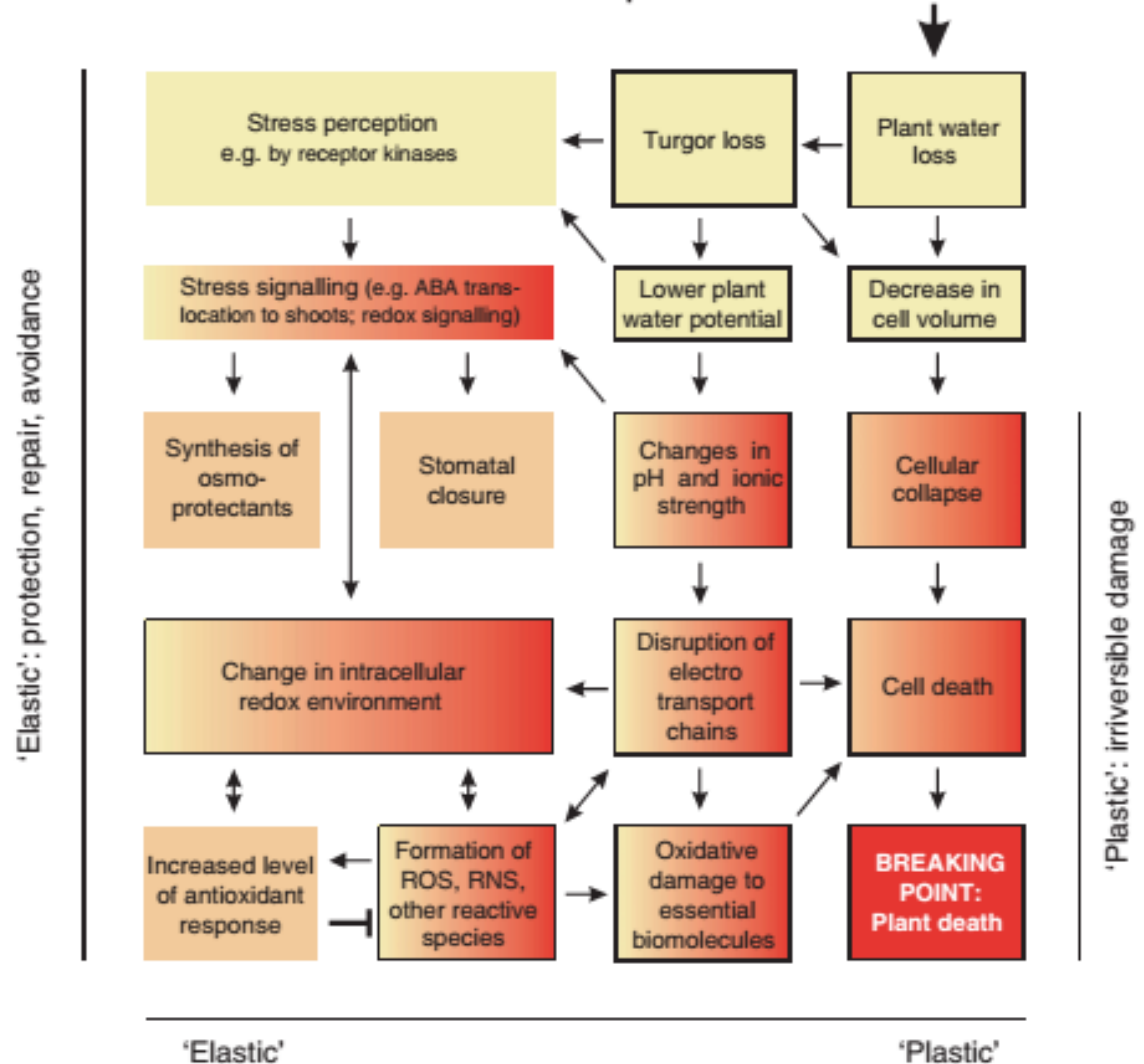
What is Stress?



Duration of stress
Intensity and threshold
Developmental stage

(c)

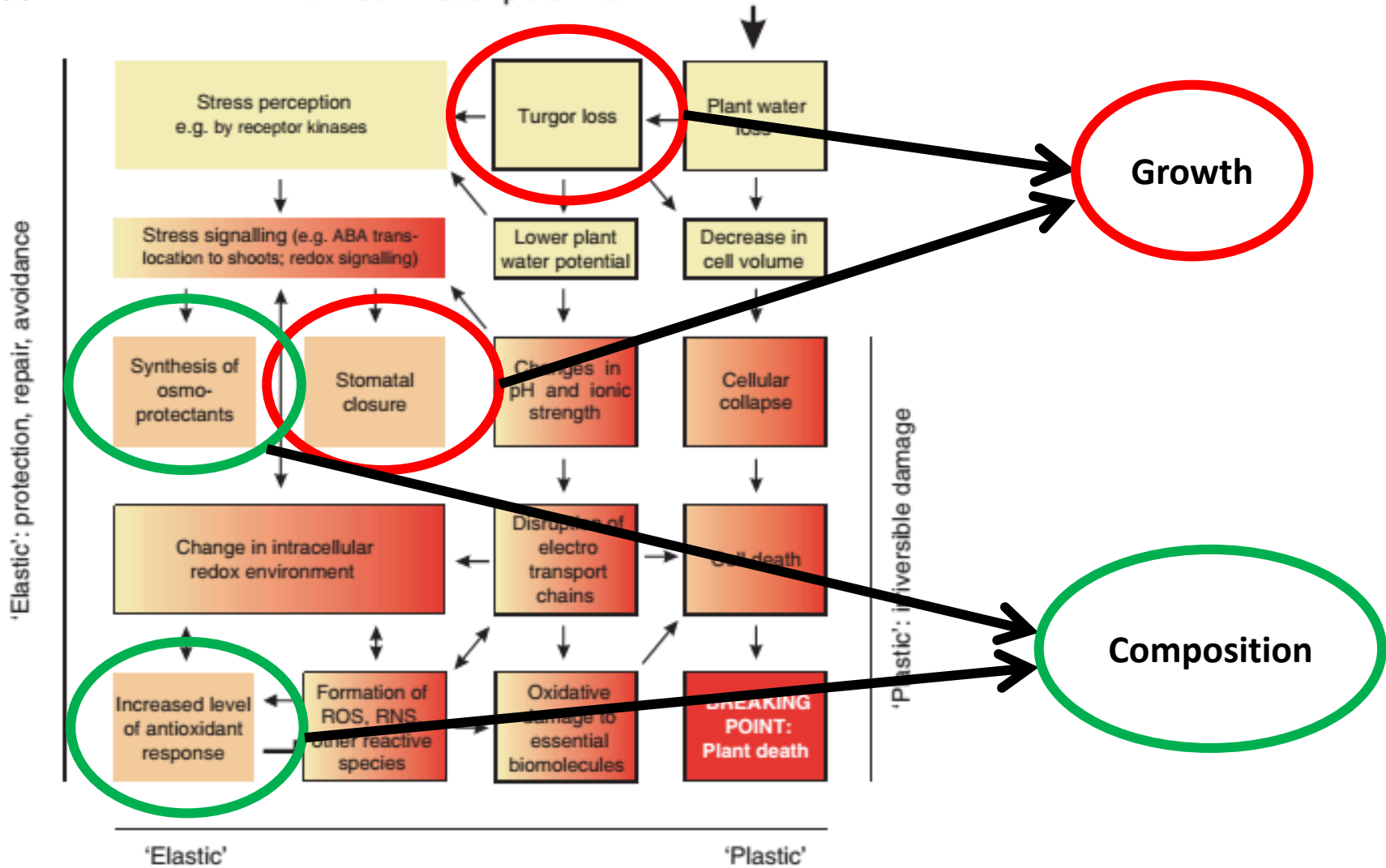
Low soil water potential



Water stress and fruit quality

(c)

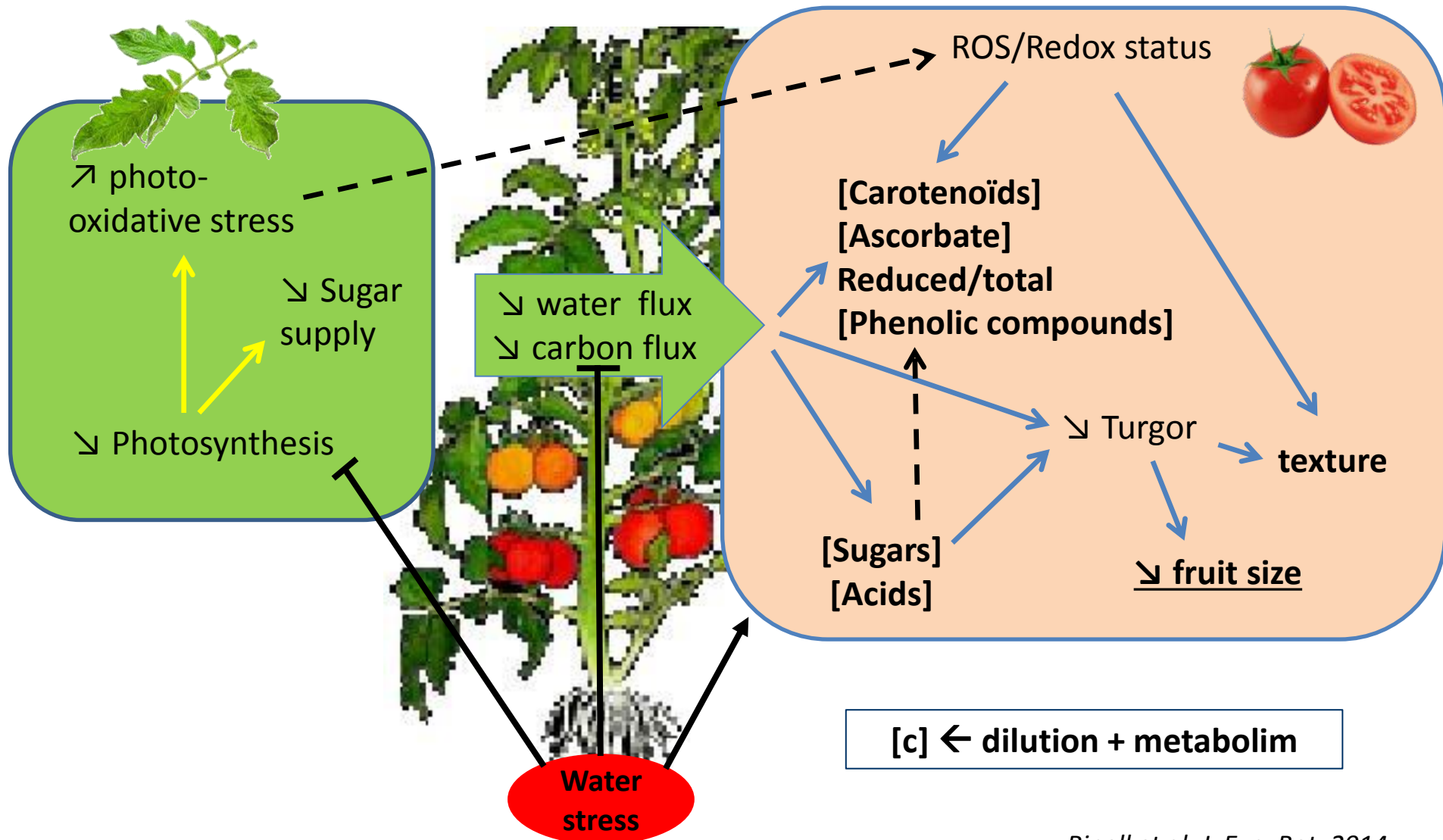
Low soil water potential



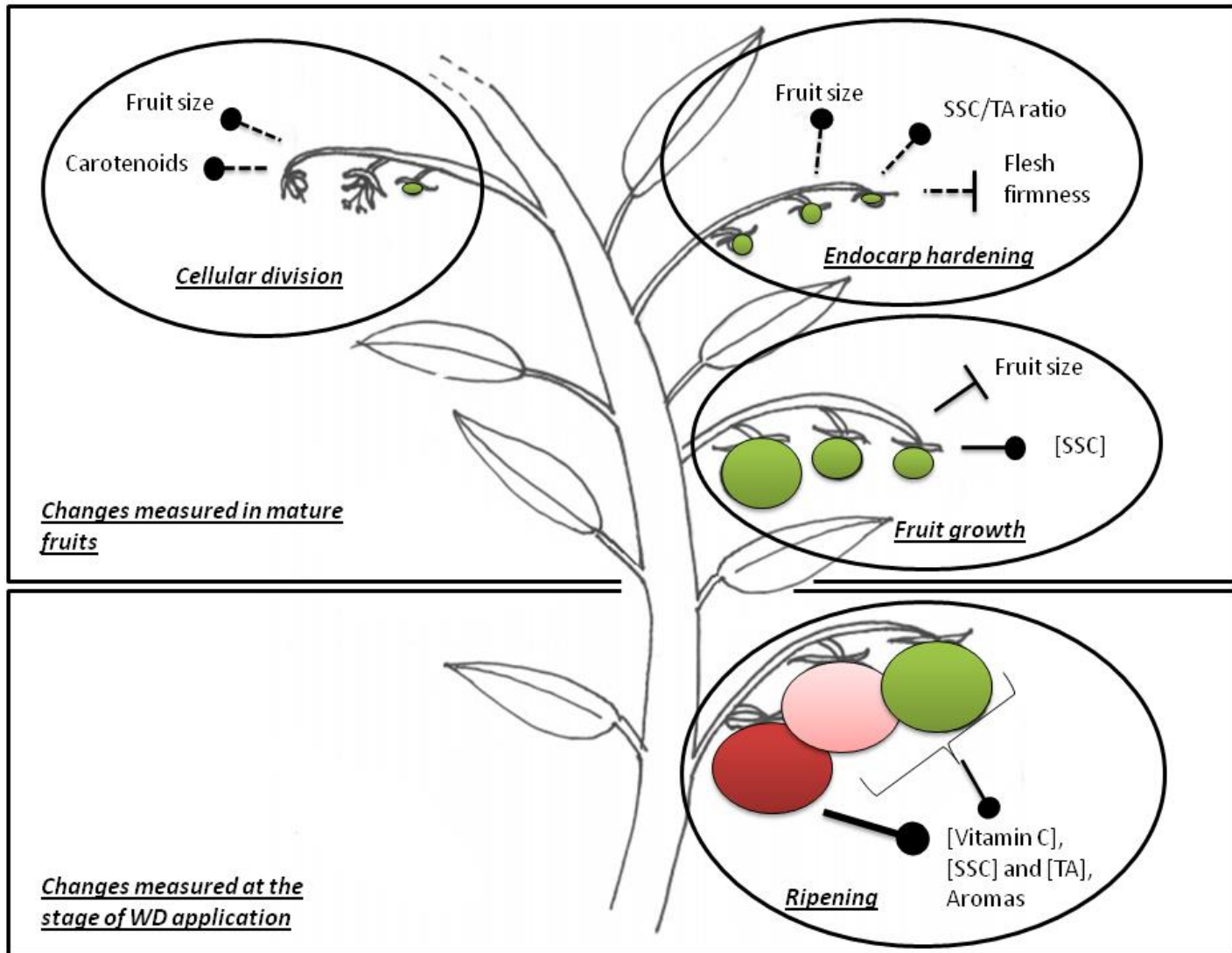
Water stress and fruit quality

Quality trait	Positive effects	Negative effects	No effects
Texture	Pear, Tomato (Lopez <i>et al.</i> , 2011) (puncture test Aurand)	Tomato compression test, (Aurand)	Apricots, Kiwi, Apples (compression test; Perez-Pastor <i>et al.</i> , 2007) (puncture test; Miller <i>et al.</i> , 1998) (puncture test, Hooijdonk <i>et al.</i> , 2007)
Sugars	Tomato, Mandarin, Grape, Strawberries (Bertin <i>et al.</i> , 2000; Veit-Köhler <i>et al.</i> , 1999 ; Ho, 1996). (Yakushiji <i>et al.</i> , 1996), (Castellarin <i>et al.</i> , 2007) (Terry <i>et al.</i> , 2007)		Tomato (Bertin <i>et al.</i> , 2000)
Acids	Grapes, nectarines, tomato (Etienne <i>et al.</i> , 2013) (Bertin <i>et al.</i> , 2000; Mitchell <i>et al.</i> , 1991; Veit-Köhler <i>et al.</i> , 1999)	Peach, clementine, mandarin, pear, tomato	Strawberries , (Terry <i>et al.</i> , 2007)
Aroma	Grape, Apples, Tomato, Strawberries (Reynolds <i>et al.</i> , 2007) , (Behboudian <i>et al.</i> , 1998; Hooijdonk <i>et al.</i> , 2007; Mpelasoka and Behboudian, 2002), (Veit-Köhler <i>et al.</i> , 1999), (Modise <i>et al.</i> , 2006)		Grape, Apples (Bravdo, 2001), (Mpelasoka <i>et al.</i> , 2000).
Phenolic compounds	Strawberries, Grape, tomato (Anttonen <i>et al.</i> , 2006), (Deluc <i>et al.</i> , 2009; Esteban <i>et al.</i> , 2001; Keutgen and Pawelzik, 2007; Krauss <i>et al.</i> , 2006), (Navarro <i>et al.</i> , 2006)		
Carotenoids	Tomato, Pepper (De Pascale <i>et al.</i> , 2001; Favati <i>et al.</i> , 2009; Krauss <i>et al.</i> , 2006; Marin <i>et al.</i> , 2009; Navarro <i>et al.</i> , 2006; Wu <i>et al.</i> , 2004; Zushi and Matsuzoe, 1998)	Tomato (De Pascale <i>et al.</i> , 2007; Riggi <i>et al.</i> , 2008)	Tomato (Krumbein <i>et al.</i> , 2006)
Vitamin C	Tomato (Favati <i>et al.</i> , 2009; Murshed <i>et al.</i> , 2013; Veit-Köhler <i>et al.</i> , 1999; Zushi and Matsuzoe, 1998)		

Review of WD effects on fruit quality



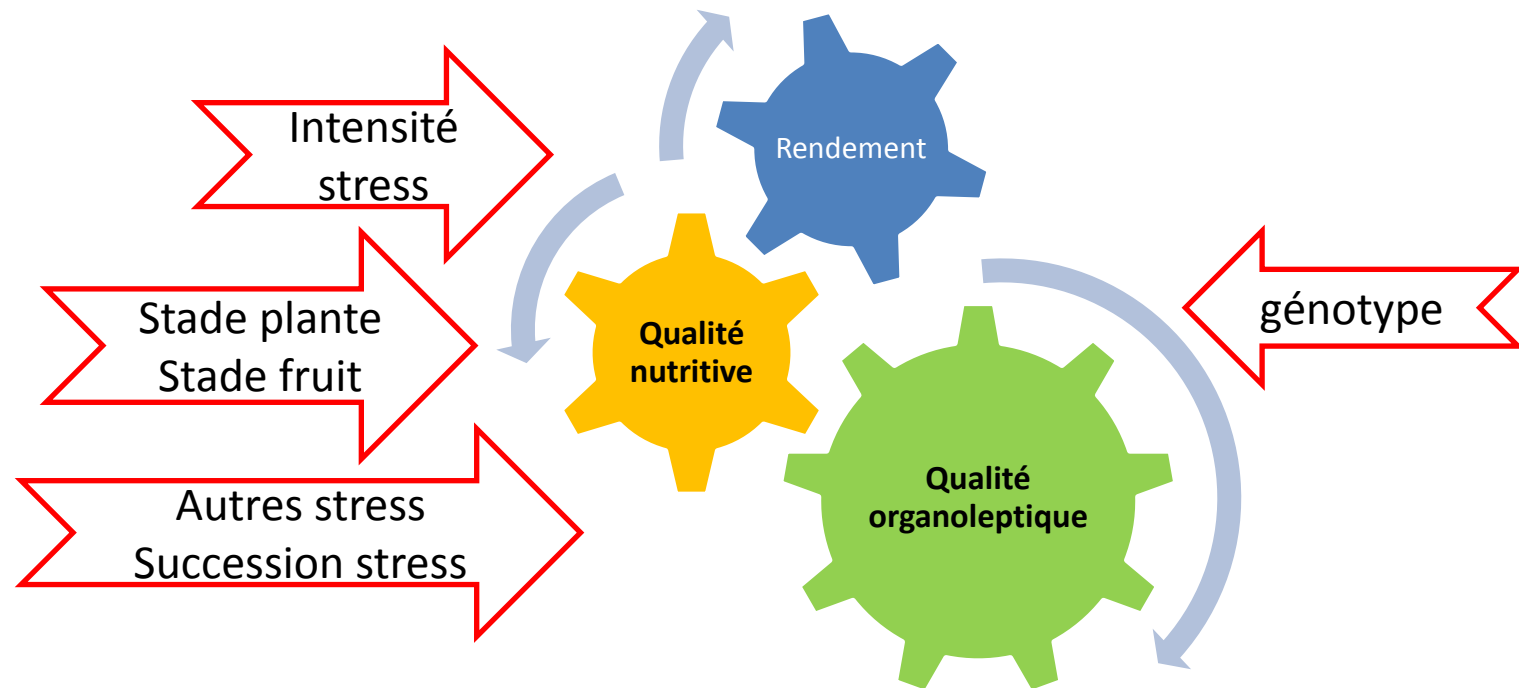
Review of WD effects on fruit quality



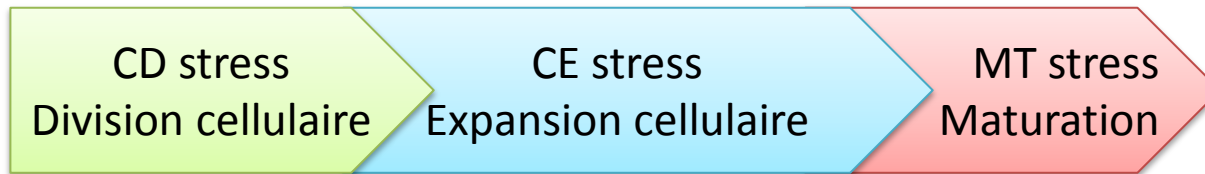
Hypothèses

Le stress hydrique induit:

- ☺ des effets bénéfiques sur la qualité organoleptique du fruit (régulation osmotique)
- ☺ des effet bénéfiques sur la qualité nutritive (synthèse antioxydants)
- ☺ une stimulation des mécanismes de défense de la plante (signalisation et métabolisme secondaire)
- ☹ des effets négatifs (acceptables?) sur le rendement (mécanismes d'adaptation)



Effets relatifs d'un stress hydrique modéré appliqué pendant différentes phases de développement du fruit



LA1420
40-50g
5.5 % MS

	% MS			% MF		
	LA1420			LA1420		
	CD	CE	MT	CD	CE	MT
Glucose	27,5	20,5	24,1	27,5	20,5	24,1
Fructose	15,8	13,3	16,6	24,1	11,6	37,0
Sucrose	16,0	-8,0	31,9	23,5	-8,8	55,6
Total sugars	20,7	15,7	20,1	25,6	15,2	30,9
Citric acid	-18,1	-18,0	-13,1	-12,0	-19,2	2,0
Malic acid	-33,3	-37,4	-10,7	-28,4	-38,8	4,4
Quinic acid	12,3	10,2	18,5	20,2	8,6	39,4
Total acids	-11,6	-12,6	-6,3	-5,1	-13,9	10,1
Lycopene	-27,6	-4,2	1,8	-21,9	-5,4	19,4
Beta-carotene	8,0	1,6	-27,9	16,9	0,2	-15,3
Phytoene	-38,3	-16,3	7,9	-33,9	-17,4	26,5
Lutein	-18,3	-28,1	-43,6	-11,6	-29,0	-34,1
Total carotenoids	-27,2	-6,8	0,9	-21,6	-8,0	18,3
Total AsA	4,4	-11,9	-12,7	12,7	-13,0	2,9
Total sugars / total acids	37,1	32,2	28,2			

+ 15-30% de sucres quel que soit le stade

- 12% d'acides stades CD, CE compensés en MF

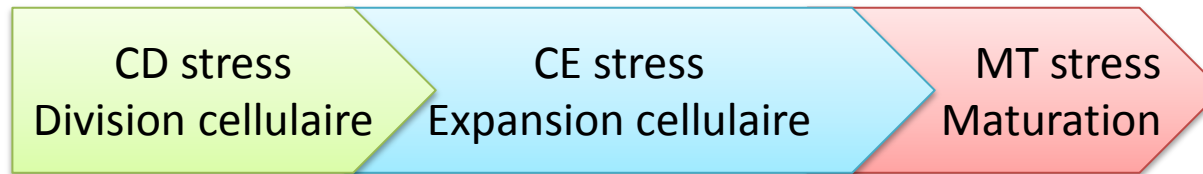
-30-40% de lutéine stades CE, MT

Pas d'effets sur les caroténoïdes totaux

Pas d'effet sur la vit.C



Effets relatifs d'un stress hydrique modéré appliqué pendant différentes phase de développement du fruit



LA1420
40-50g
5.5 % MS



	% MS			% MF		
	LA1420			LA1420		
	CD	CE	MT	CD	CE	MT
Glucose	27,5	20,5	24,1	27,5	20,5	24,1
Fructose	15,8	13,3	16,6	24,1	11,6	37,0
Sucrose	16,0	-8,0	31,9	23,5	-8,8	55,6
Total sugars	20,7	15,7	20,1	25,6	15,2	30,9
Citric acid	-18,1	-18,0	-13,1	-12,0	-19,2	2,0
Malic acid	-33,3	-37,4	-10,7	-28,4	-38,8	4,4
Quinic acid	12,3	10,2	18,5	20,2	8,6	39,4
Total acids	-11,6	-12,6	-6,3	-5,1	-13,9	10,1
Lycopene	-27,6	-4,2	1,8	-21,9	-5,4	19,4
Beta-carotene	8,0	1,6	-27,9	16,9	0,2	-15,3
Phytoene	-38,3	-16,3	7,9	-33,9	-17,4	26,5
Lutein	-18,3	-28,1	-43,6	-11,6	-29,0	-34,1
Total carotenoids	-27,2	-6,8	0,9	-21,6	-8,0	18,3
Total AsA	4,4	-11,9	-12,7	12,7	-13,0	2,9
Total sugars / total acids	37,1	32,2	28,2			

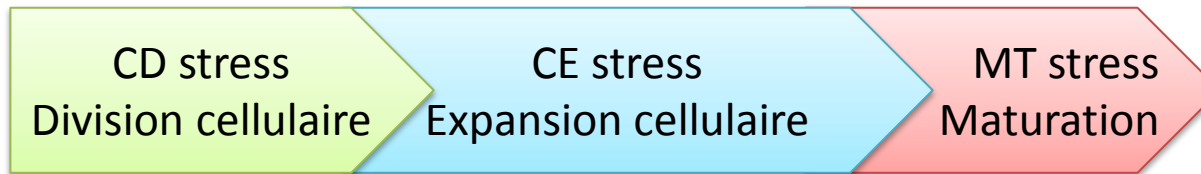


Effets comparables du stress sur les 3 phases

☺ Effets ⊕ sur la qualité organoleptique

☹ Pas d'effet sur la valeur nutritive

Effets relatifs d'un stress hydrique modéré appliqué pendant différentes phases de développement du fruit



LA1420
40-50g
5.5 % MS

Plovdiv XXIVa
40-50g
8.0 % MS



	Dry matter basis						Fresh matter basis					
	LA1420			PlovdivXXIVa			LA1420			PlovdivXXIVa		
	CD	CE	MT	CD	CE	MT	CD	CE	MT	CD	CE	MT
Glucose	22.5	20.5	24.1	4.1	-4.1	-9.3	22.5	20.5	24.1	4.1	-4.1	-9.3
Fructose	15.8	13.3	16.6	3.7	-3.3	-12.3	24.1	11.6	32.0	5.4	-4.7	-6.9
Sucrose	16.0	-8.0	31.9	13.7	2.4	24.5	23.5	-8.8	55.6	15.2	0.9	31.6
Total sugars	20.7	15.7	20.1	4.1	-3.5	-10.0	25.6	15.2	30.9	5.1	-4.3	-7.0
Citric acid	-18.1	-18.0	-13.1	-5.6	0.6	-15.5	-12.0	-19.2	2.0	-3.6	-0.7	-10.4
Malic acid	-33.3	-37.4	-10.7	-26.4	-3.9	17.6	-28.4	-38.8	4.4	-24.2	-4.0	24.5
Quinic acid	12.3	10.2	18.5	5.4	-3.9	-13.3	20.2	8.6	39.4	7.3	-5.5	-8.2
Total acids	-11.6	-12.6	-6.3	-6.4	-2.2	-7.5	-5.1	-13.9	10.1	-4.4	-3.3	-2.1
Lycopene	-27.6	-4.2	1.8	-8.0	-7.5	-28.8	-21.9	-5.4	19.4	-6.6	-10.4	-24.5
Beta-carotene	8.0	1.6	-27.9	8.8	4.7	-11.6	16.9	0.2	-15.3	10.9	1.6	-6.3
Phytoene	-38.3	-16.3	7.9	2.0	-8.4	-52.1	-33.9	-17.4	26.5	3.3	-11.2	-49.3
Lutein	-18.3	-28.1	-43.6	-12.0	18.7	-24.1	-11.6	-29.0	-34.1	-10.0	15.6	-19.3
Total carotenoids	-27.2	-6.8	0.9	-5.4	-7.2	-35.0	-21.6	-8.0	18.3	-4.0	-10.1	-31.1
Total AsA	4.4	-11.9	-12.7	11.4	-1.0	-32.2	12.7	-13.0	2.9	13.0	-5.4	-28.1
Total sugars / total acids	37.1	32.2	28.2	10.7	-2.3	-2.3						

Color scale



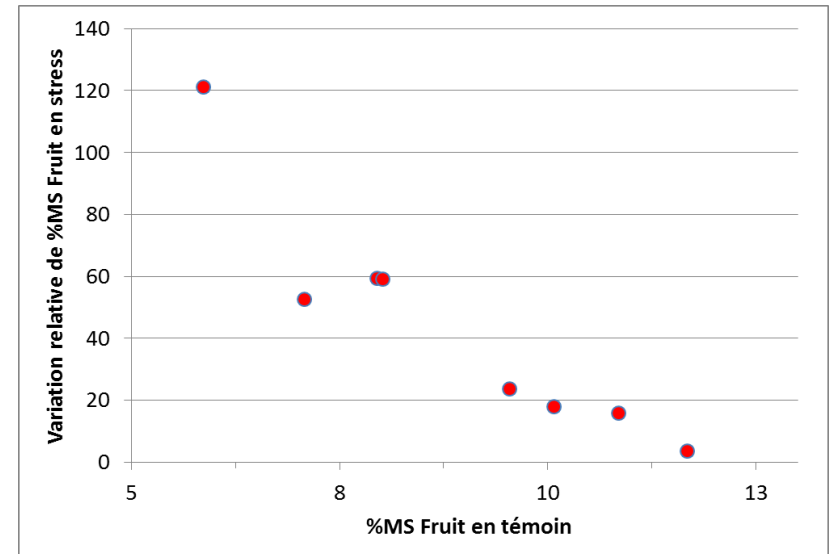
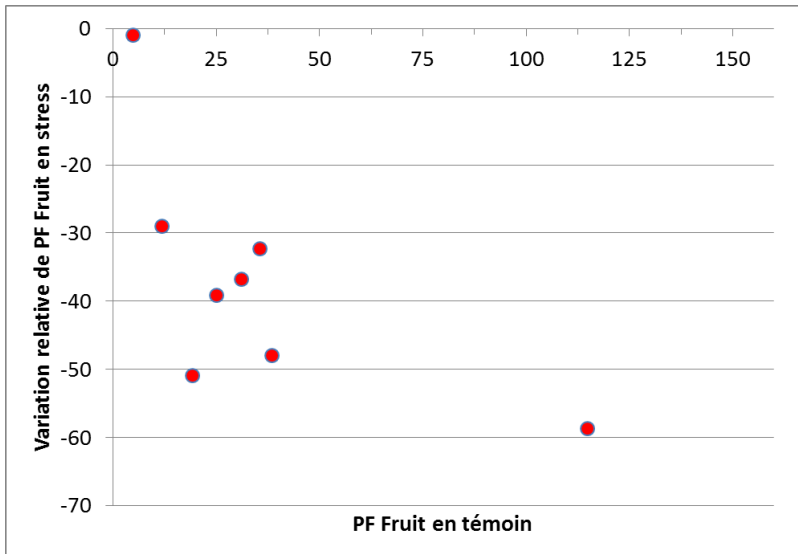
Phase CD, CE insensibles ≠ MT

☹ Effets - sur la qualité organoleptique

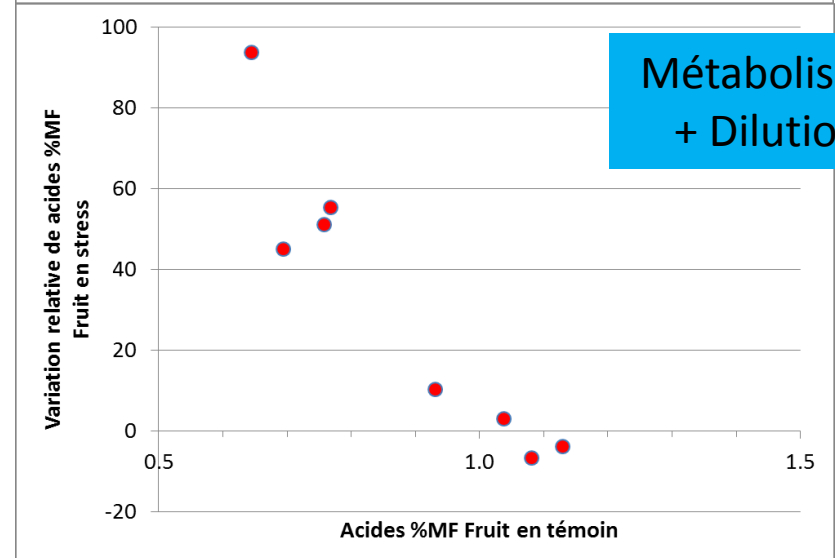
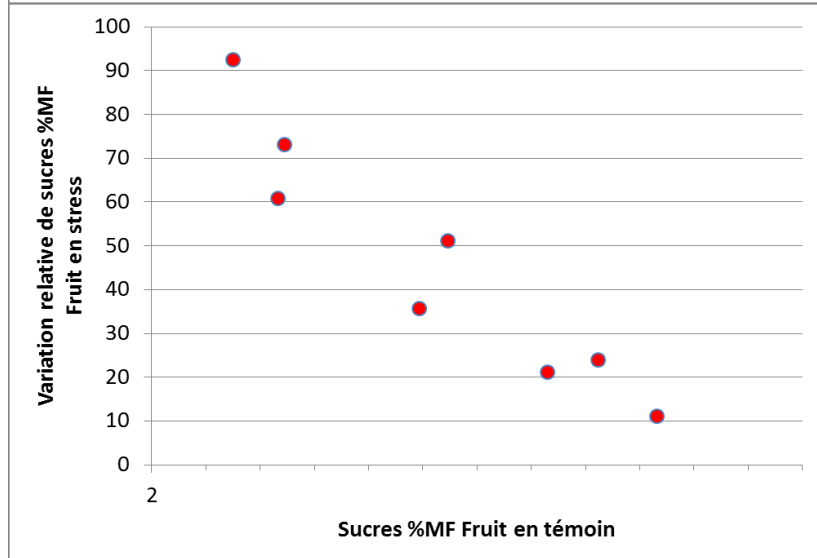
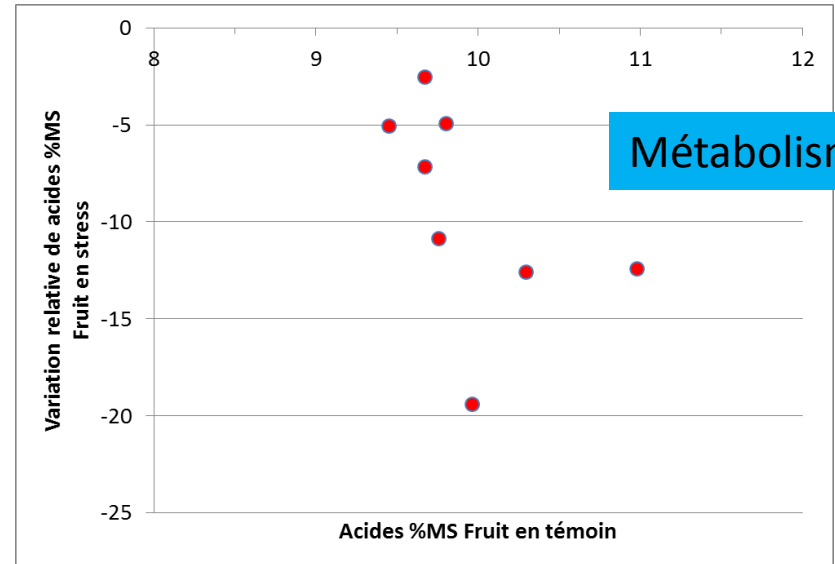
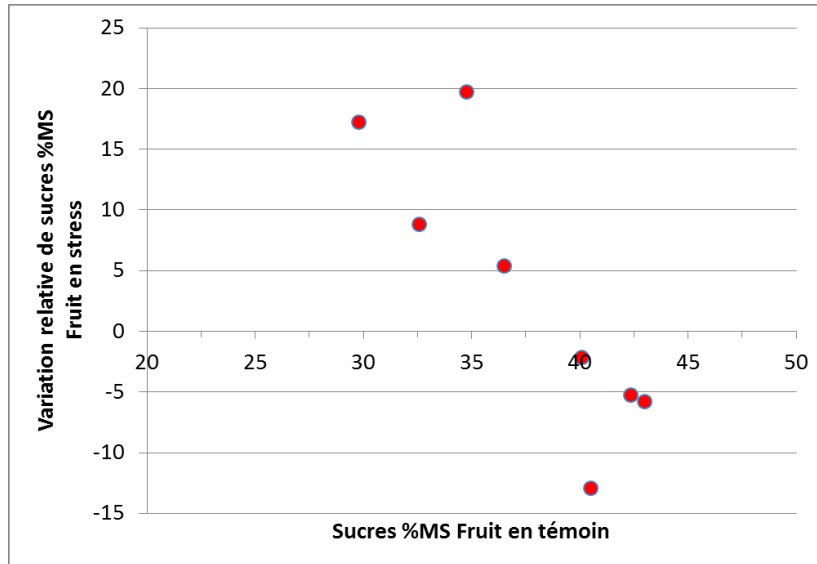
☹ Effet - sur la valeur nutritive

Stress intense (TOMSEC 2013)

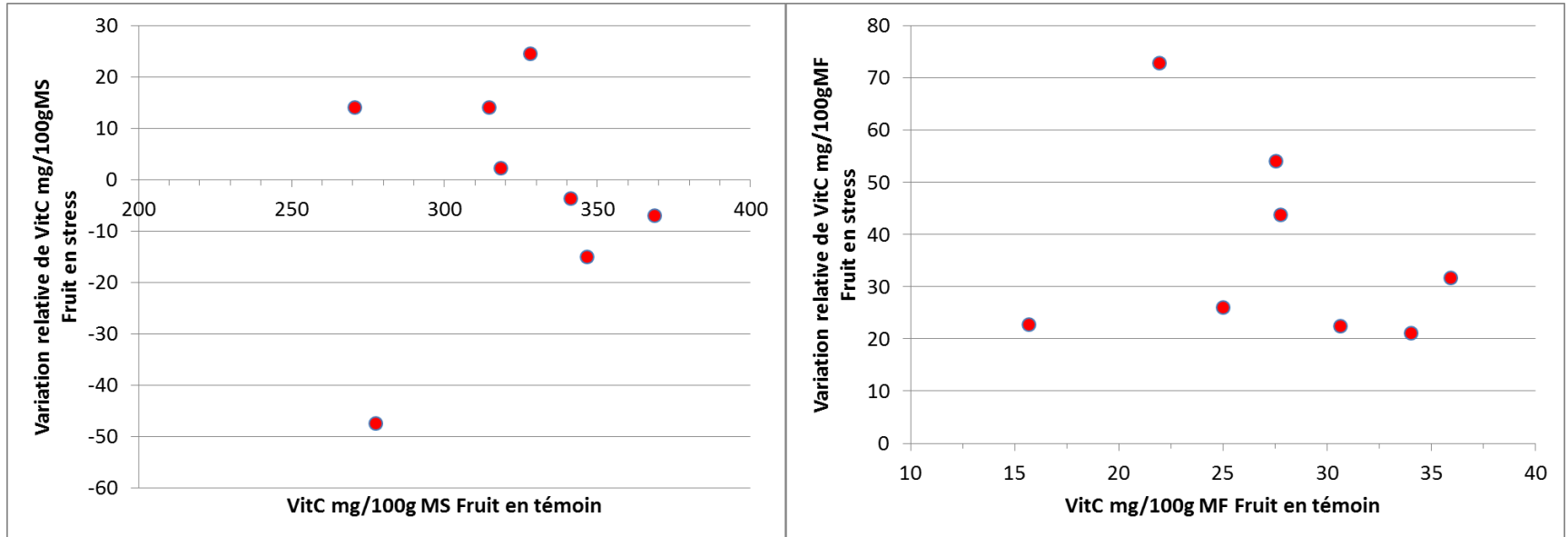
- Mars à juillet
- - 75% d'apport d'eau
- $\approx 50\%$ besoins réels ETP



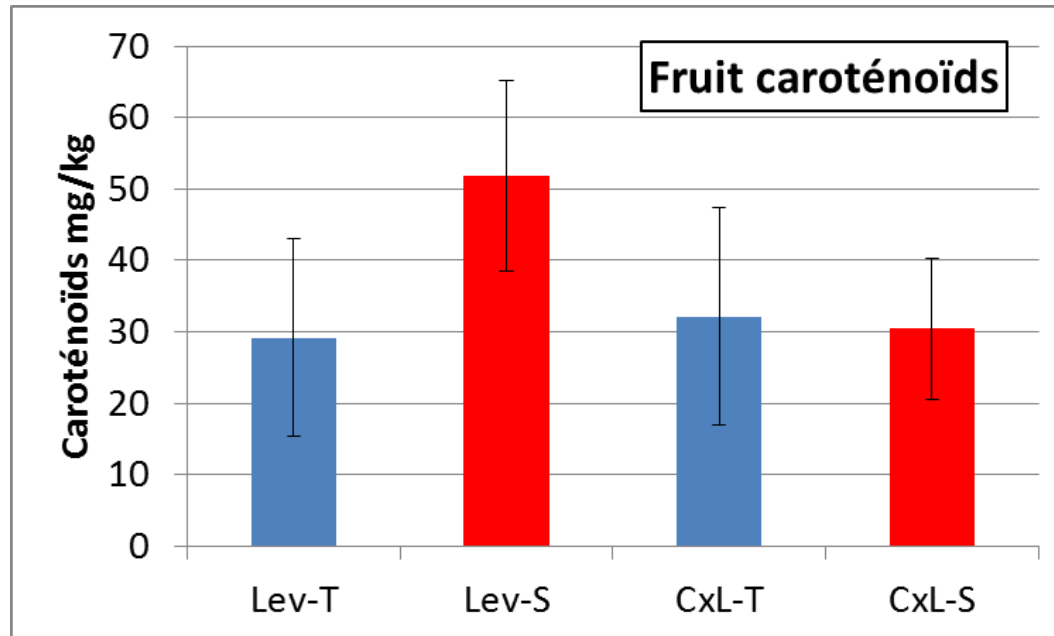
Stress intense (TOMSEC 2013)



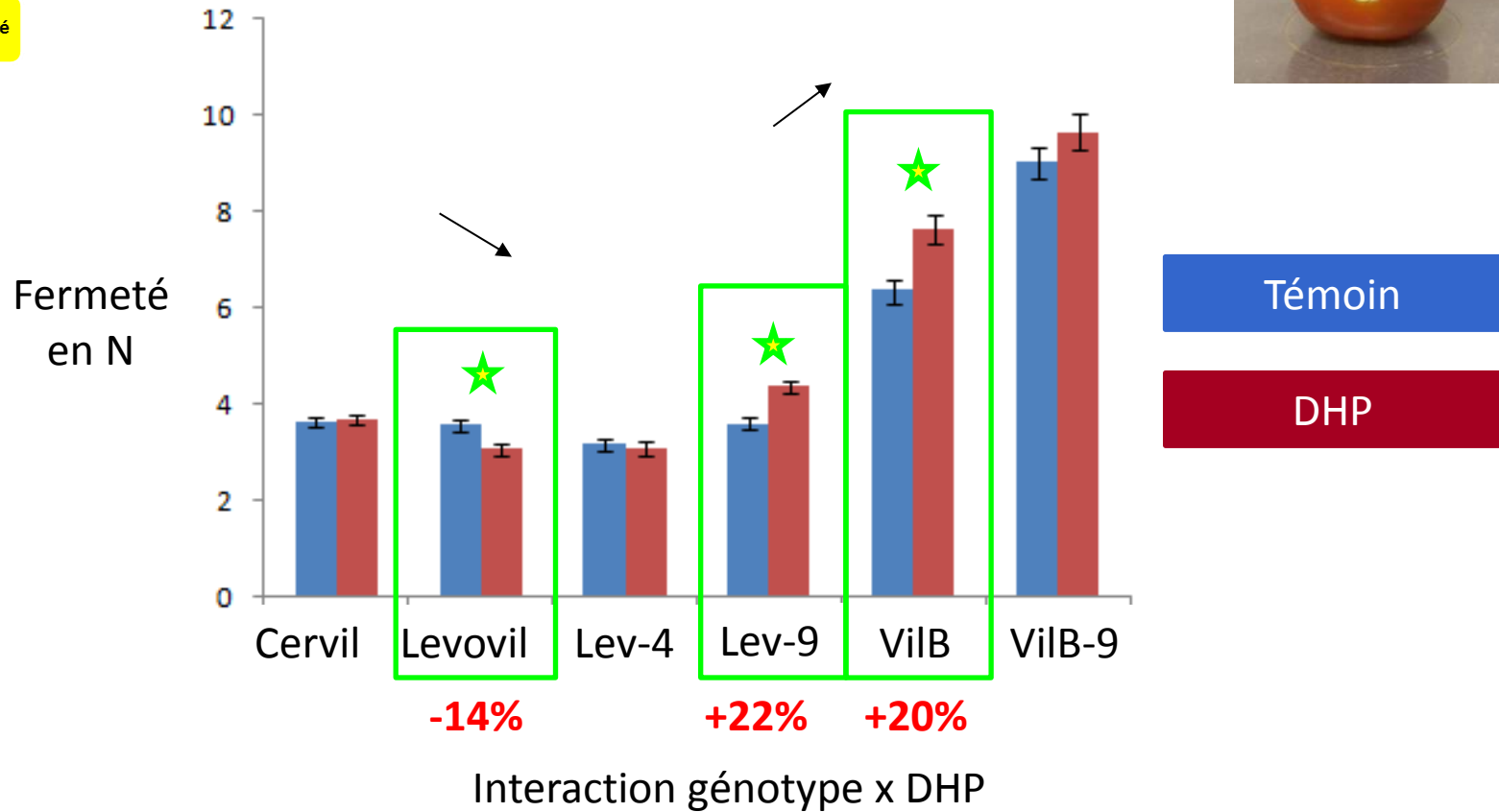
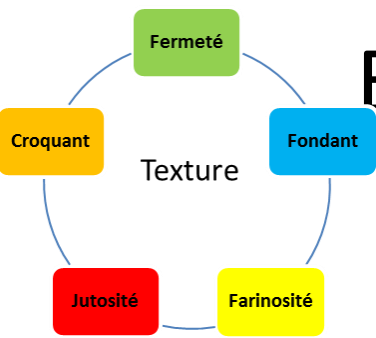
Stress intense (TOMSEC 2013)



Stress intense (TOMSEC 2013)

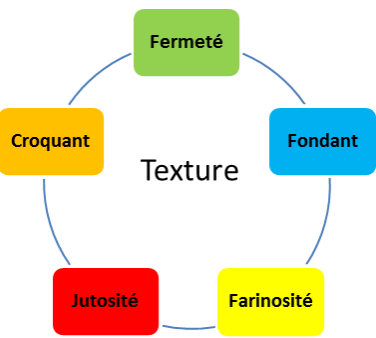


Effets du déficit hydrique sur la fermeté du fruit

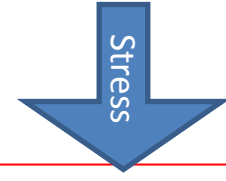


Le **DH** augmente la fermeté des fruits fermes : VilB et Lev-9
Et diminue celle des fruits moins fermes : Levovil

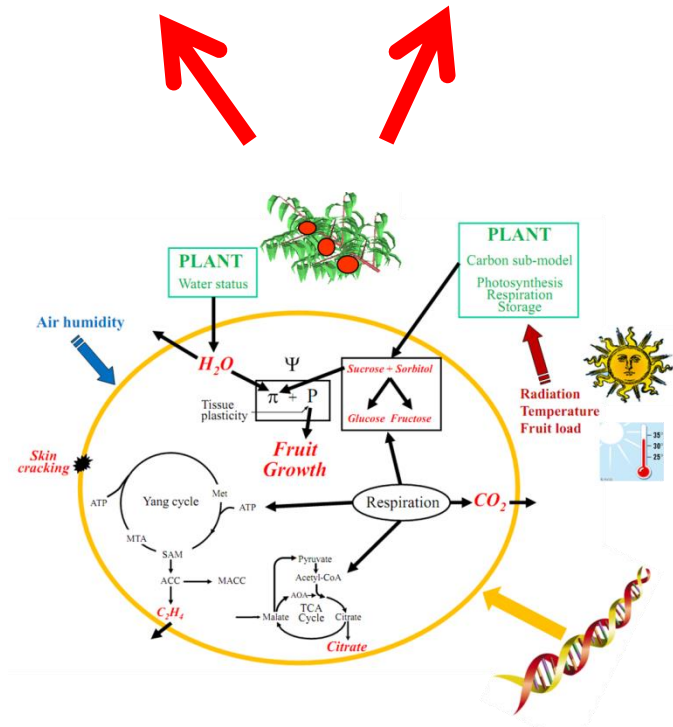
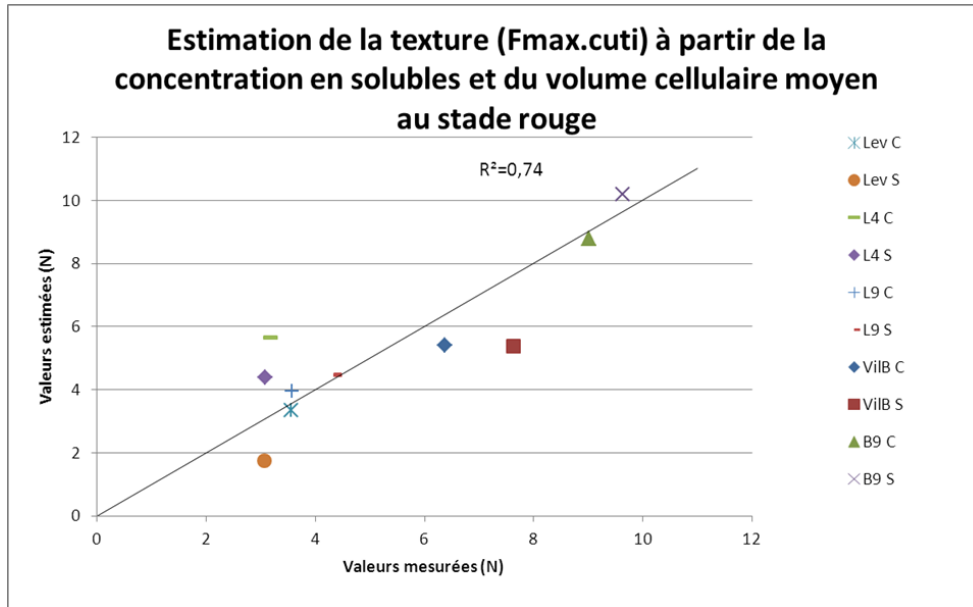
Prédiction de la qualité



Modèle « histo-biochimique »



$$F_{max.cutis} = 24,49 - 0,26 \times \text{Solubles} - 0,57 \times \text{Volume cellulaire}$$



Virtual fruit model

Conclusions

- Réduction de rendement d'autant plus importante que le calibre est grand et le stress intense (**rappport sources:puits**)
- Amélioration de la qualité: %ms, caractère sucré vs acide (**ajustement osmotique - signalisation**)
- Valeur santé: oui globalement lié à des effets de dilution en cas de **stress marqué** (**antioxydants**)
- Variabilité génétique très importante: quels critères favorables pour la sélection?
- Perspectives: utilisation des modèles