

# Impact du Changement climatique: *Comment transposer les résultats du projet «CLIMATOR » à d'autres cultures?*

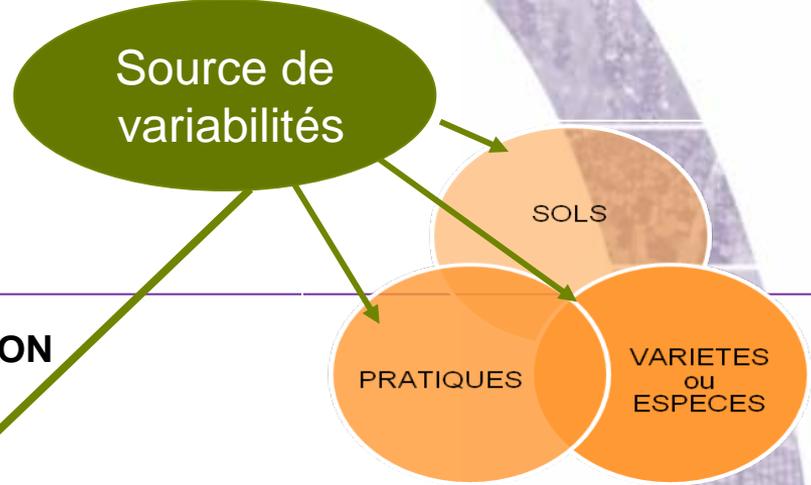


**Bernard ITIER**  
**UMR EGC INRA Grignon**

**INRA**



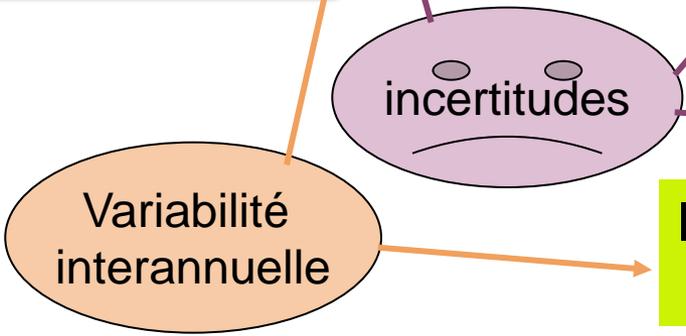
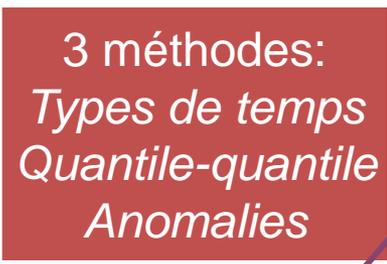
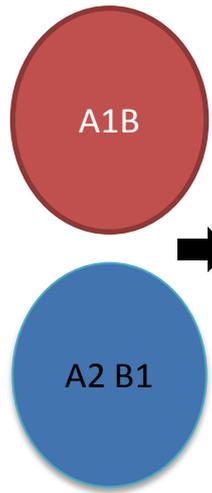
# Schéma général du projet CLIMATOR



Scénarios d'émissions de GES

MODELE de CLIMAT GLOBAL

REGIONALISATION



# Les systèmes

- des systèmes annuels :  
monocultures et rotations de **blé, tournesol, maïs, sorgho, colza**
- à divers niveaux d'intrants  
**pluvial et irrigué,**  
conventionnel et biologique
- des systèmes pérennes :  
**prairies, forêt, banane, canne**  
à sucre et **vigne**



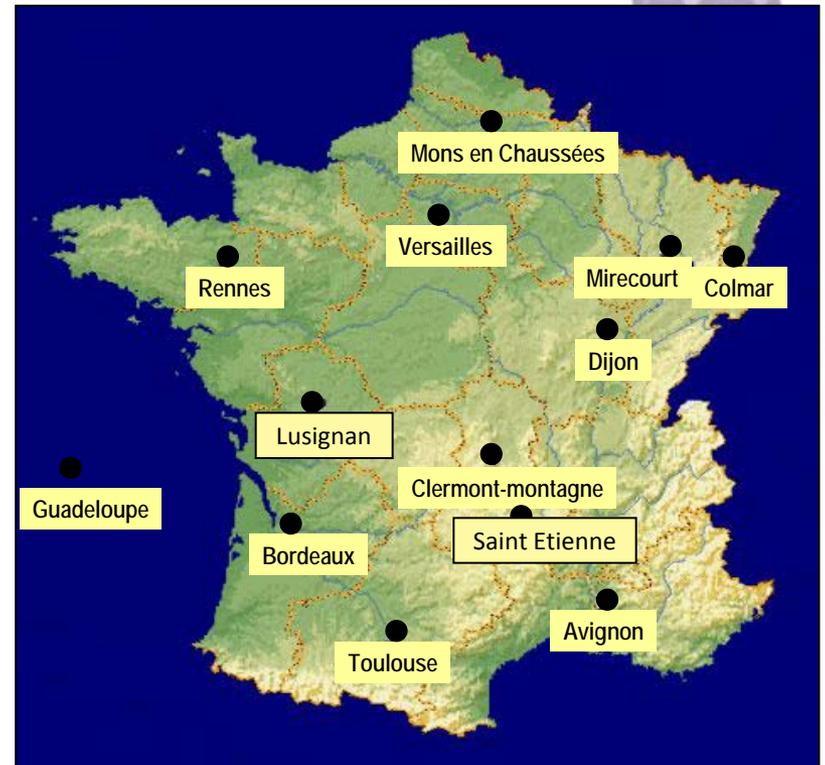
?



# Approche multilocale

L'approche territoriale s'appuie sur **13 sites représentatifs** des climats français pour lesquels des **séries climatiques trentenaires** (1970-2000) sont disponibles (AGROCLIM-INRA).

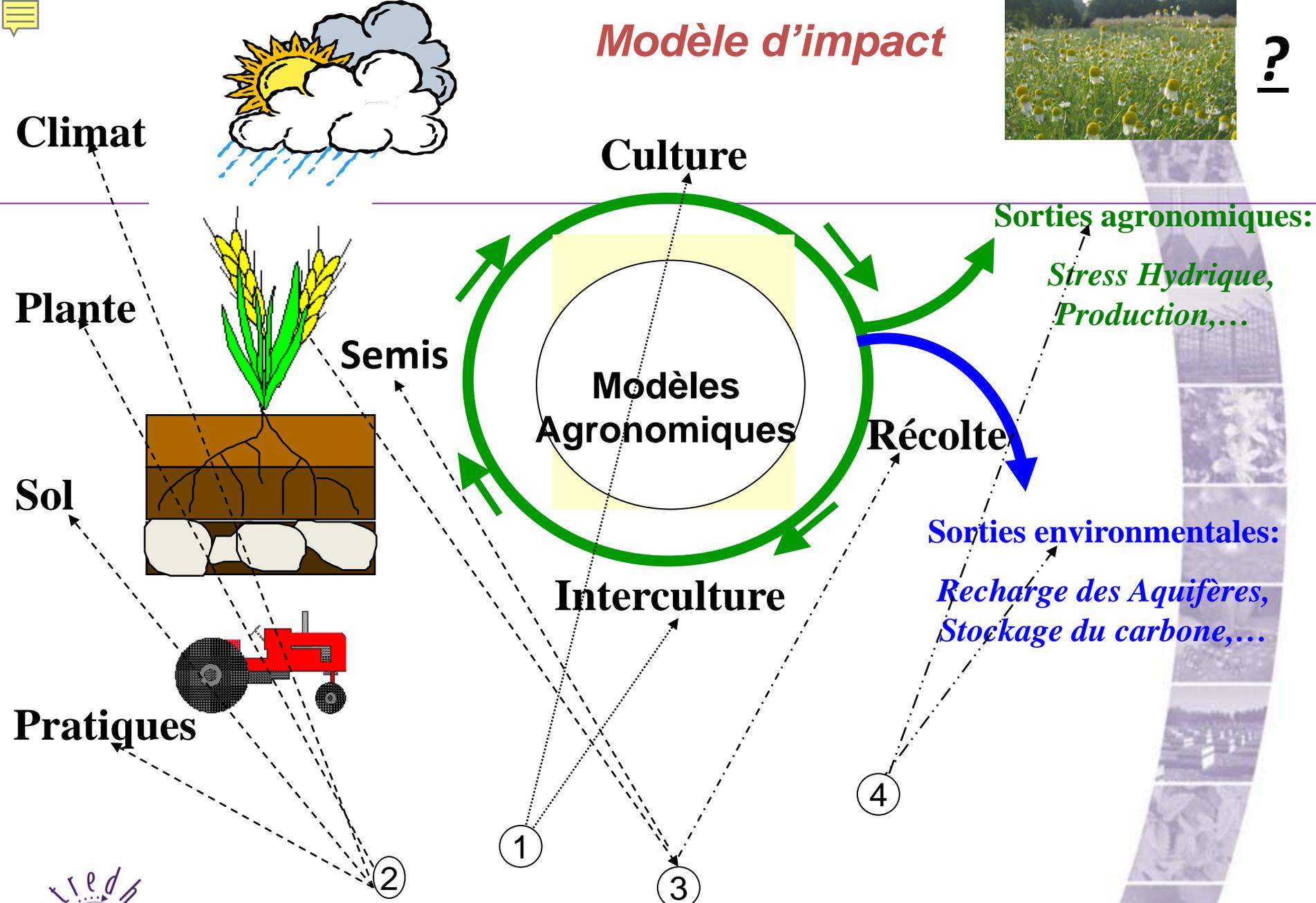
Tous les systèmes simulés partout (sauf Guadeloupe)



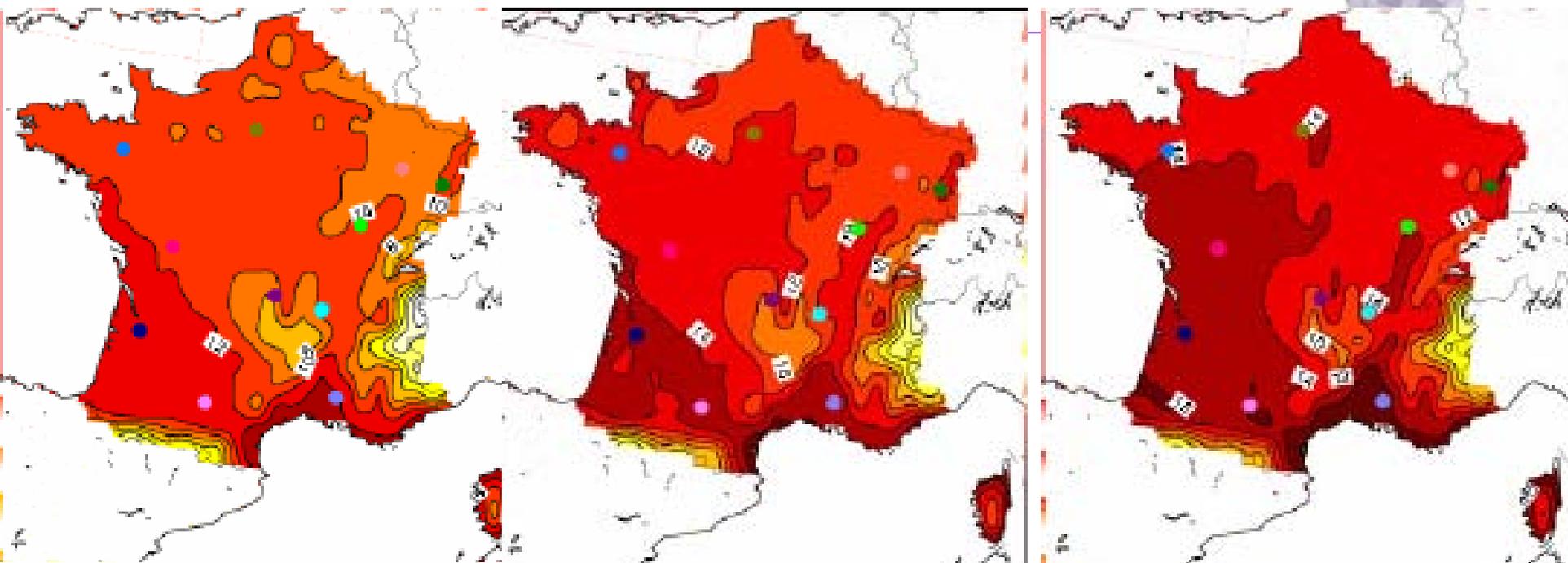
# Modèle d'impact



?



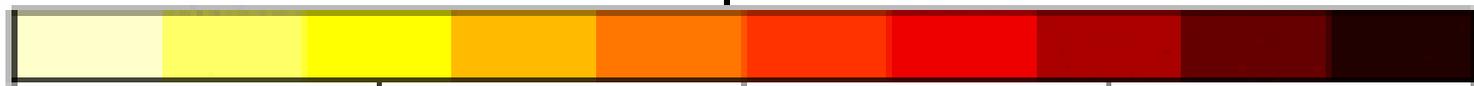
# Evolution de la Moyenne annuelle de température (°C)



1970 - 1999  
**Observations**  
(SAFRAN)

2020 - 2049  
**Simulations**  
(ARPEGE - A1B - TT)

2070 - 2099  
**Simulations**  
(ARPEGE - A1B - TT)



0 5 10 15 20



**iteipmai**

Journées techniques • Rendez-vous d'herbalia

# Anticipation des stades et durée des phases

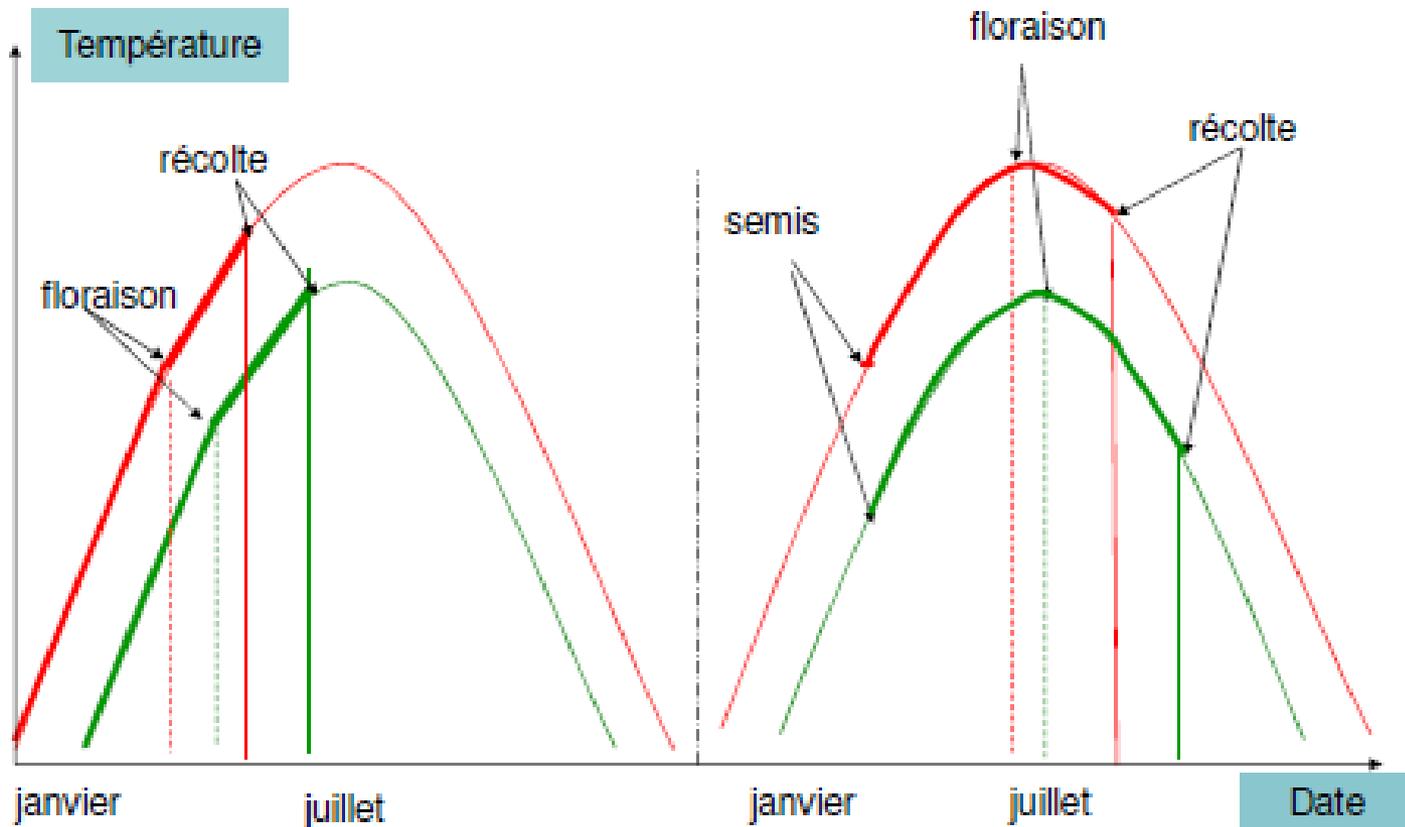


?

( aujourd'hui -- demain)

Cultures d'hiver

Cultures de printemps (et pérennes)



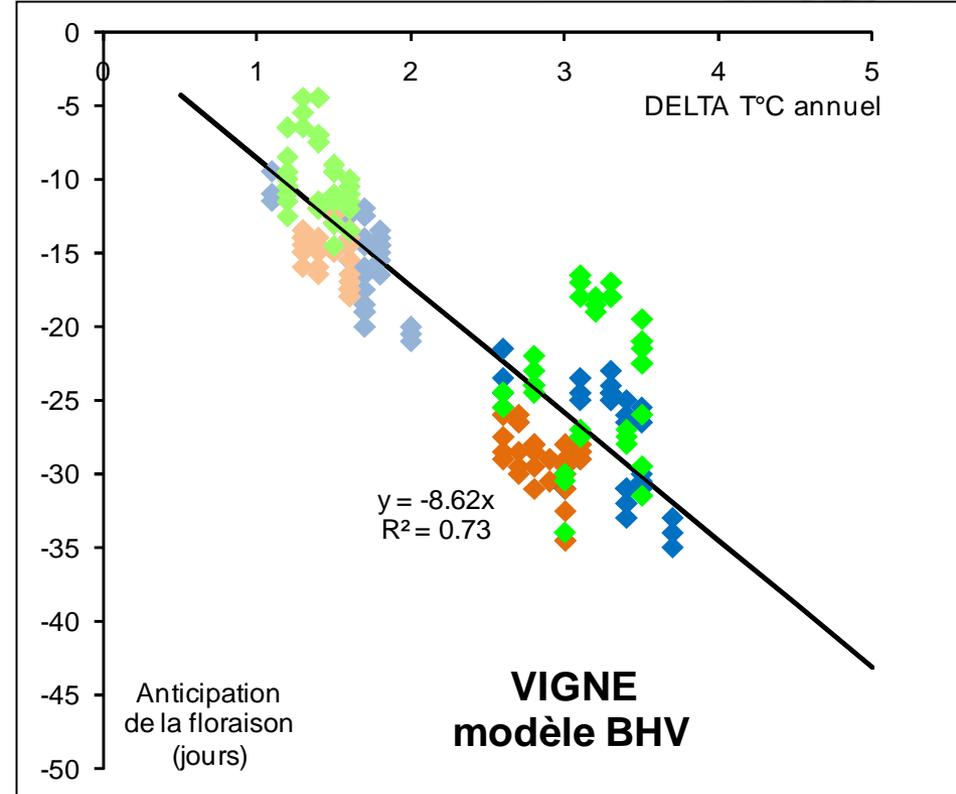
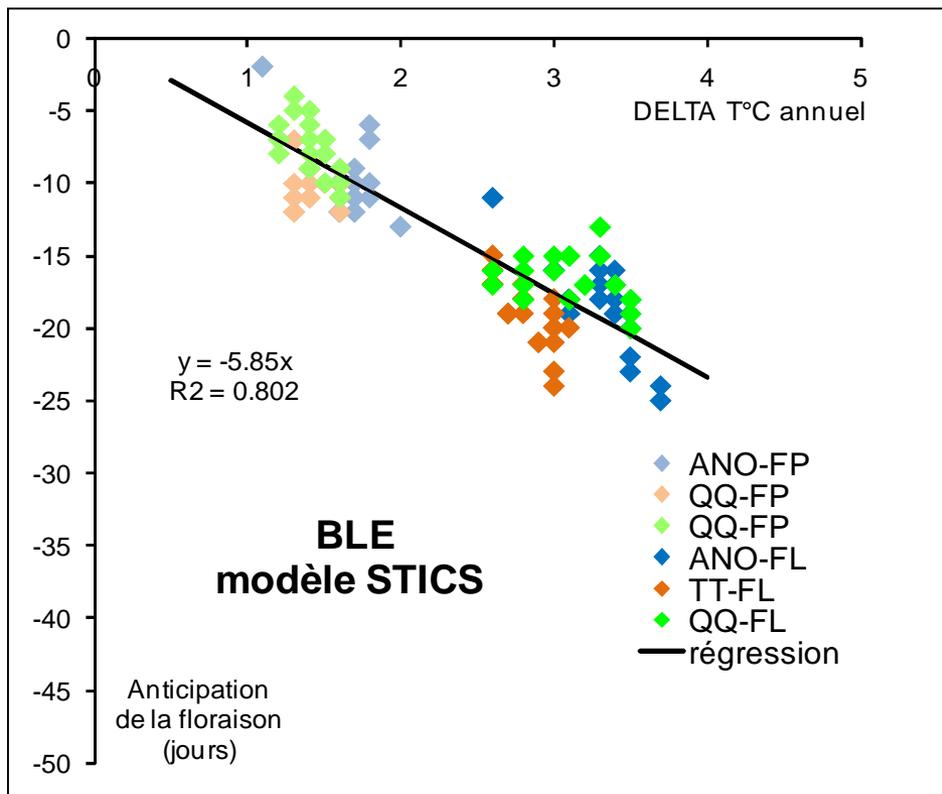
CLINT  
OR



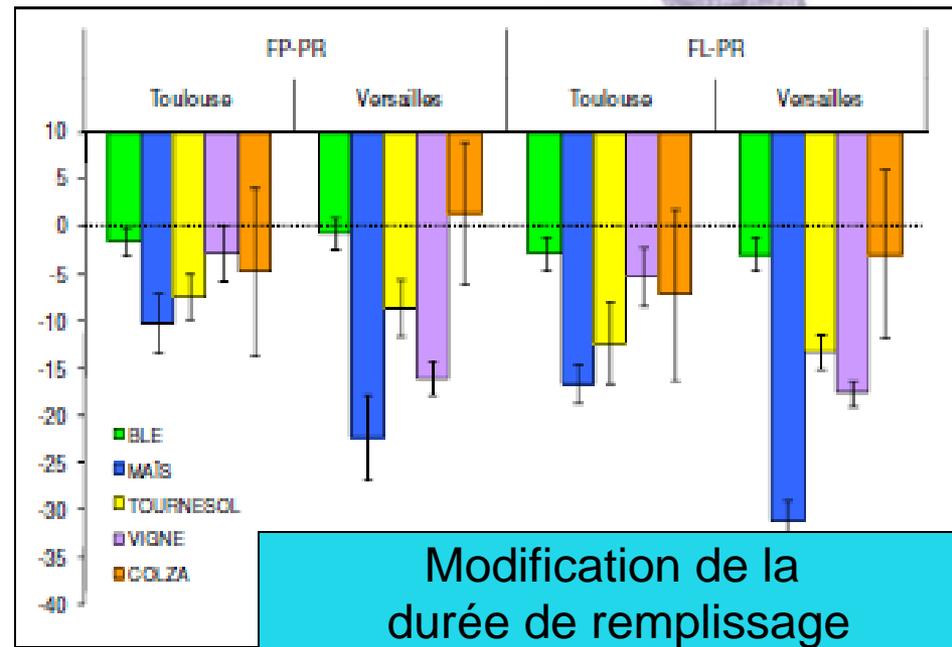
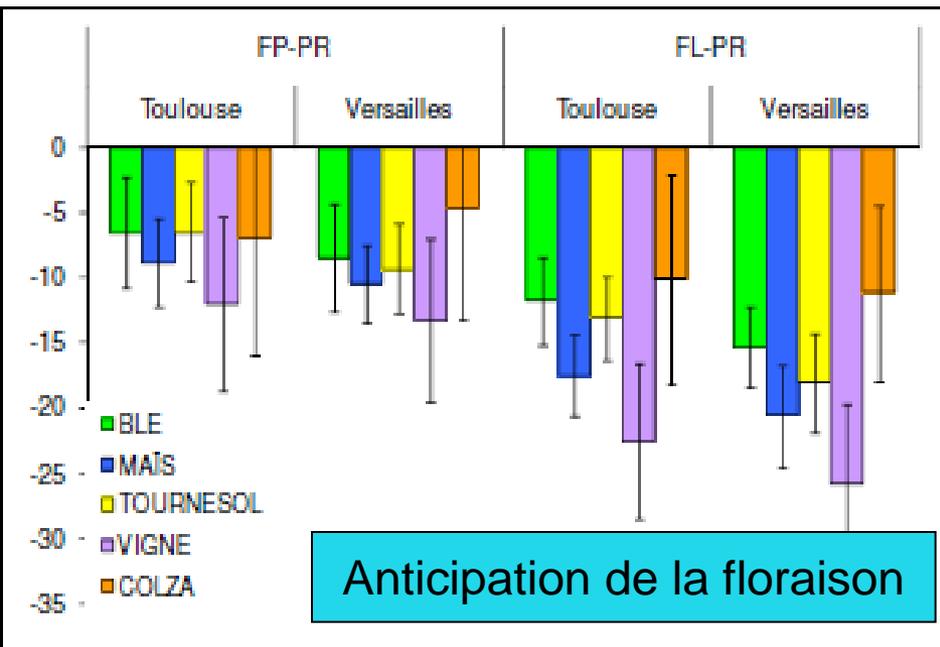
**iteipmai**

Journées techniques • Rendez-vous d'herbalia

# Anticipation des stades phénologiques : résultat majeur de l'étude



# Conséquence de l'augmentation de température sur le **positionnement** et la **durée** des stades phénologiques



colza < blé < tournesol < maïs < vigne

blé < colza < tournesol = vigne < maïs

## Synthèse pour 12 sites



| culture   | Δ floraison en j/°C | Δ récolte en j/°C |
|-----------|---------------------|-------------------|
| Blé       | 5                   | 6                 |
| Maïs      | 5                   | 15                |
| Tournesol | 4                   | 9                 |
| Vigne     | 8                   | 10                |

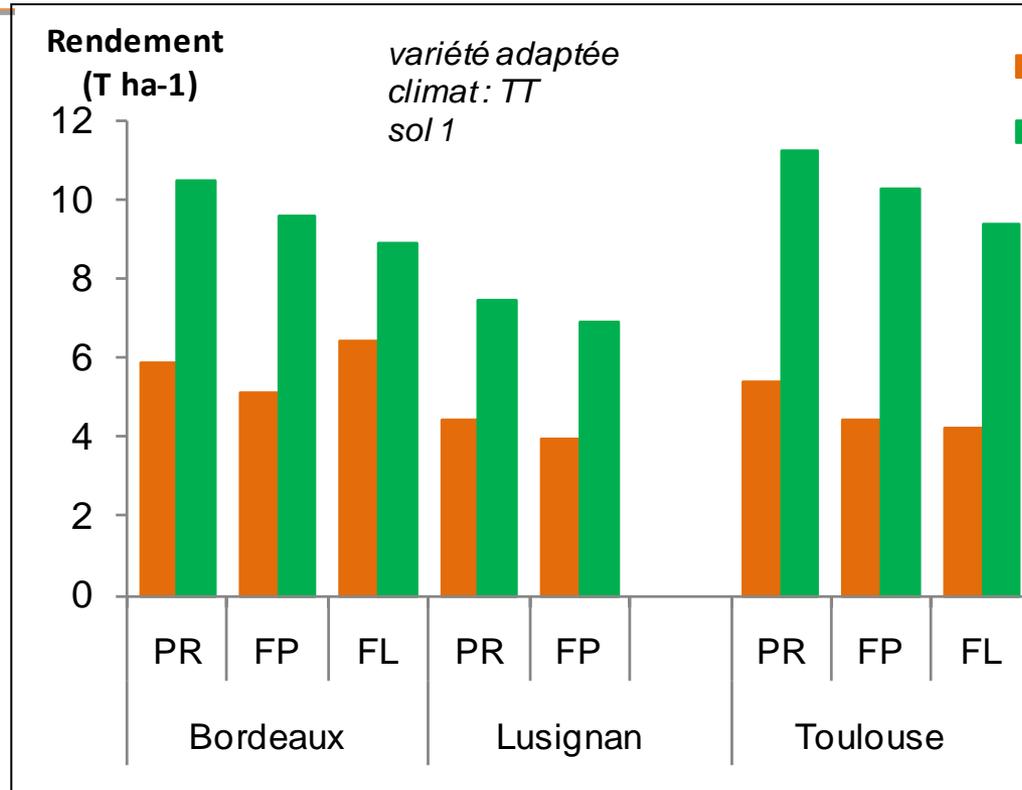
} → x 2 ou 3 {



**iteipmai**

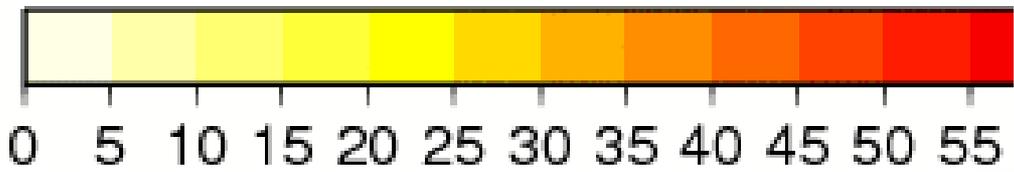
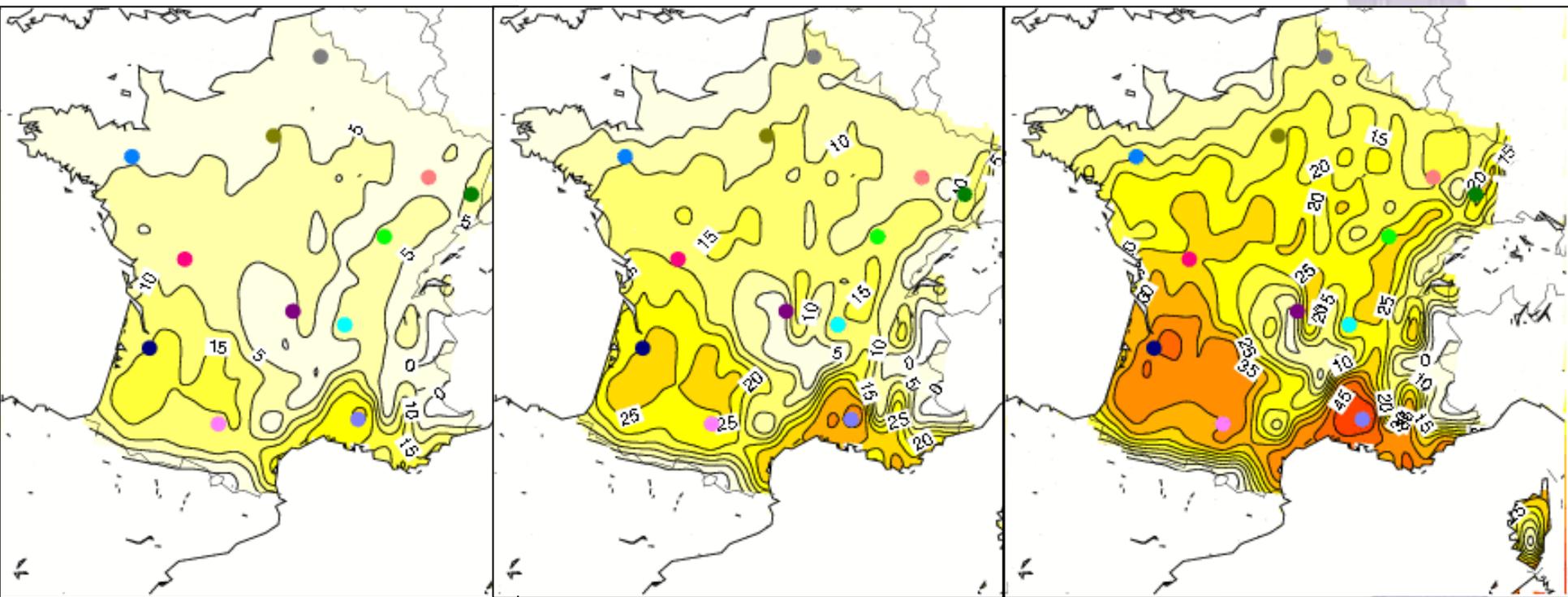
Journées techniques • Rendez-vous d'herbalia

# Impacts sur la productivité des cultures de printemps (diminution du rayonnement intercepté)



***Baisse du rendement potentiel du maïs***

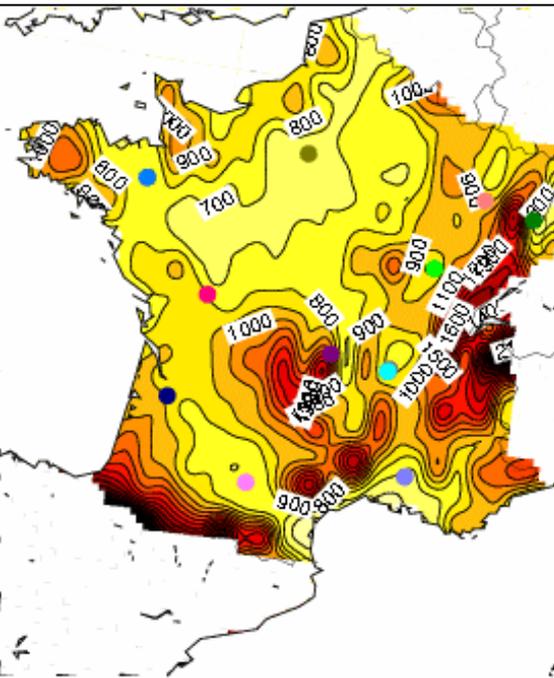
# Nombre de jours échaudants au printemps ( T° max > 25°C )      *Arpège A1B TT*



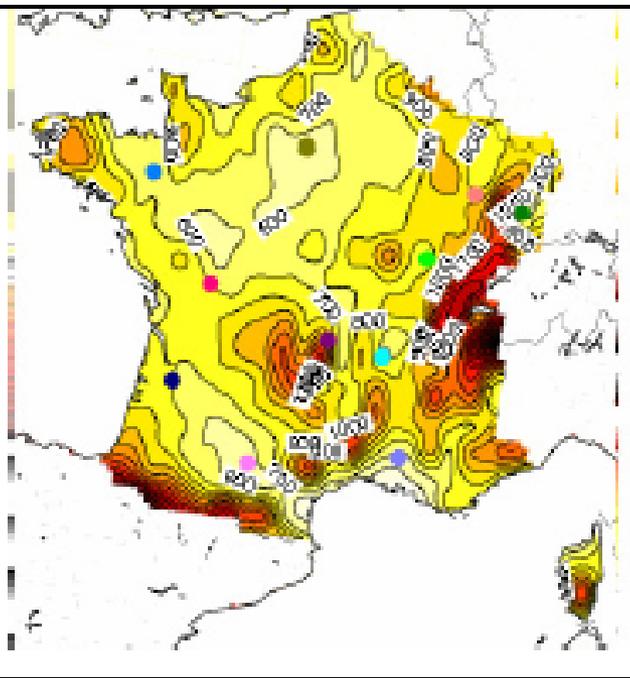


# Précipitations moyennes annuelles (mm/an)

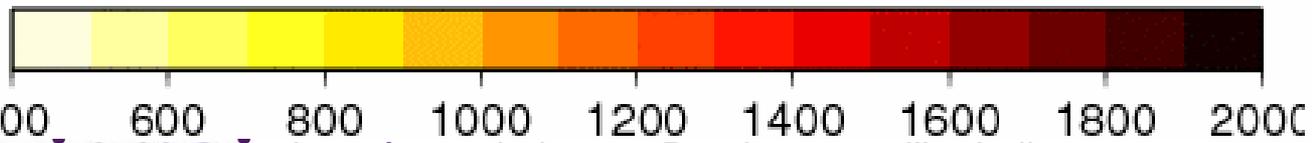
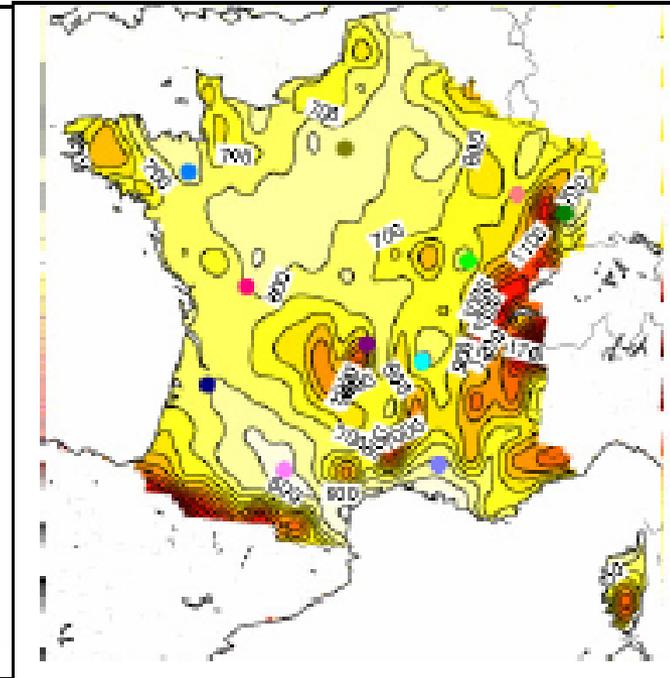
1970 - 1999  
**Observations**  
(SAFRAN)



2020 - 2049  
**Simulations**  
(ARPEGE - A1B - TT)



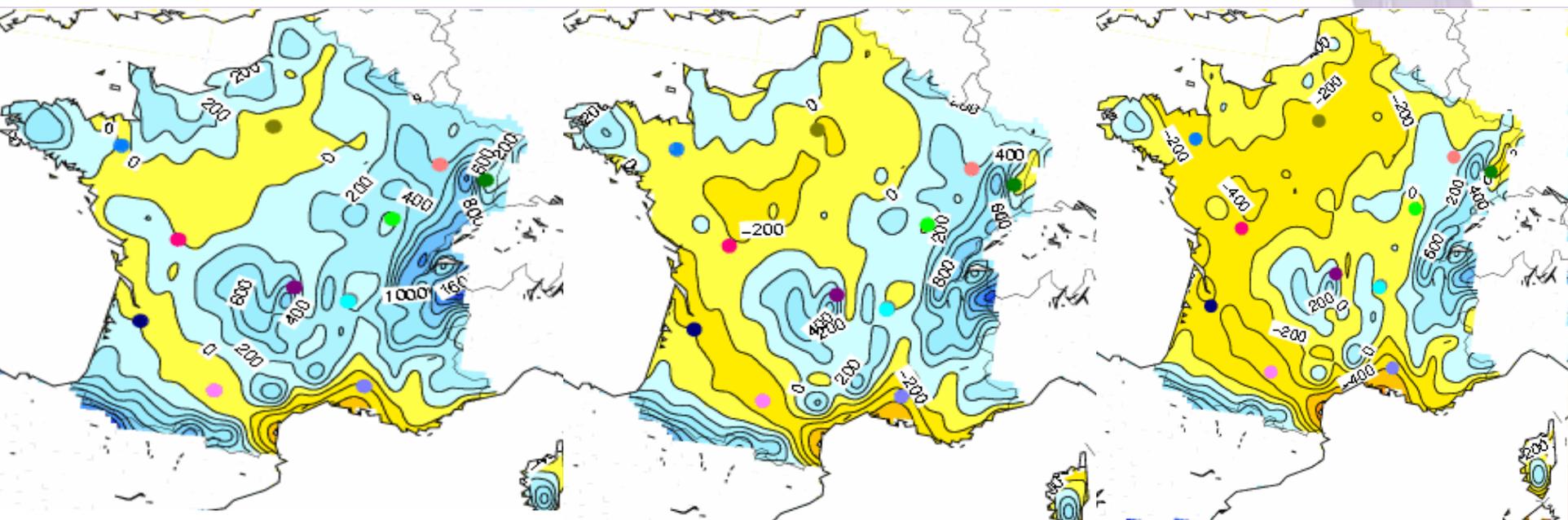
2070 - 2099  
**Simulations**  
(ARPEGE - A1B - TT)



# Evolution du Bilan Hydrique potentiel en France

P-ETo (mm)

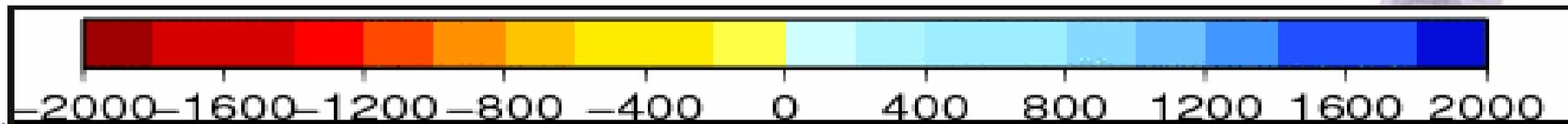
ETo ou ETP = f (Rn, V, H%)



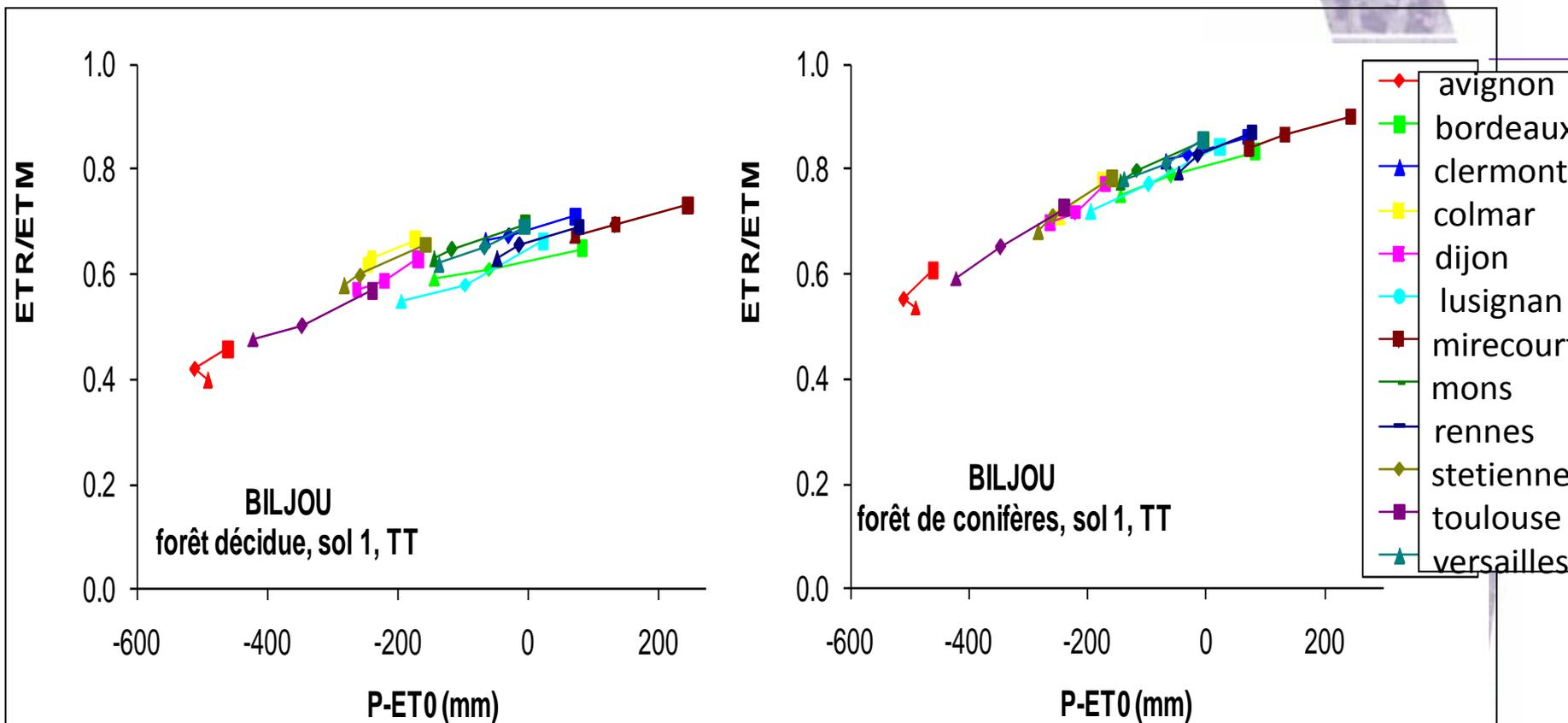
1971 - 2000  
Observations  
(SAFRAN)

2020 - 2050  
Simulations  
(ARPEGE - A1B - TT)

2070 - 2100  
Simulations  
(ARPEGE - A1B - TT)



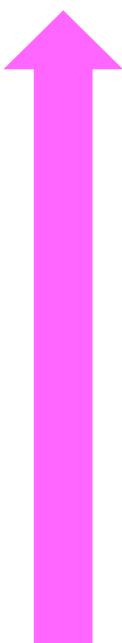
# Baisse de confort hydrique bien corrélée à la baisse P-ET0



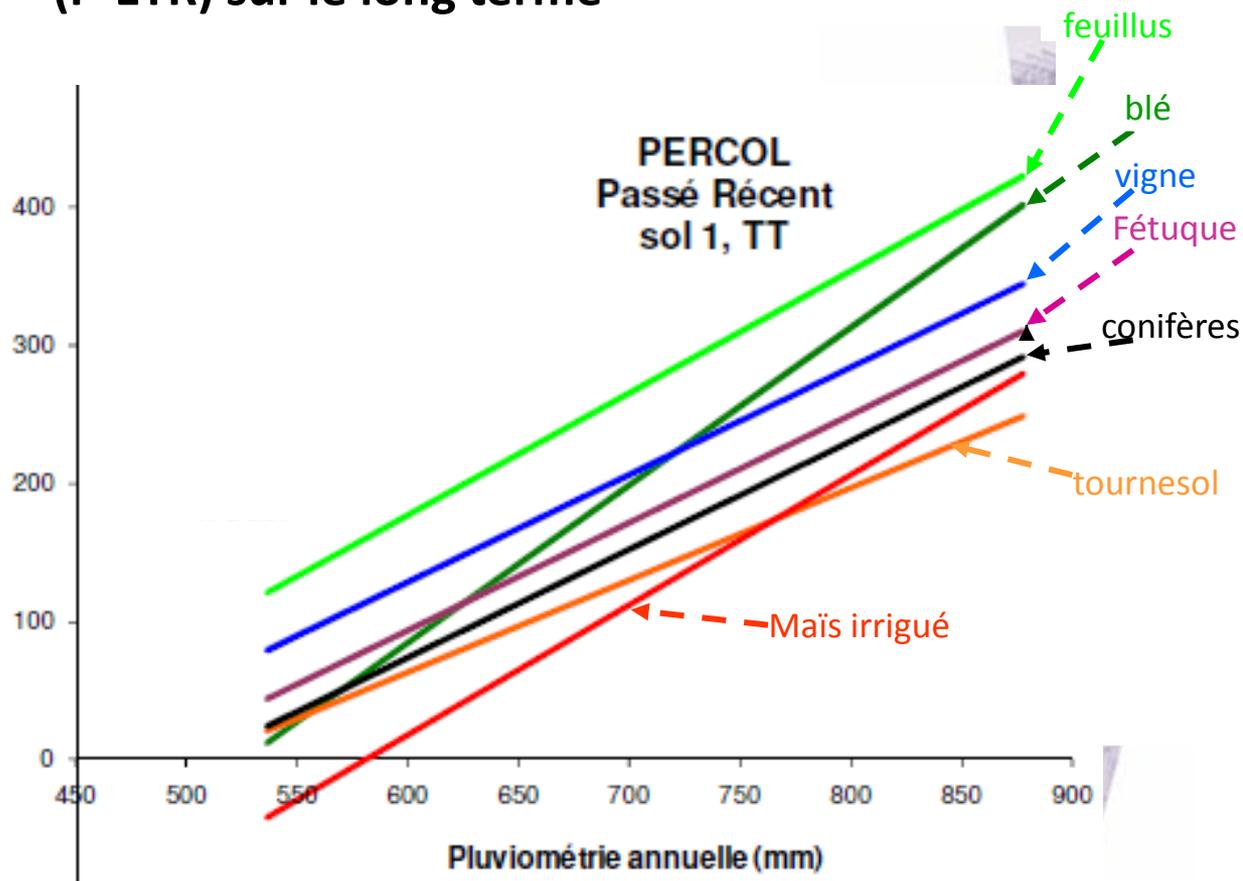
■: Passé récent 1970-2000    ◆: Futur proche 2020-2050    ▲: Futur lointain 2070-2100

# Conséquence de la baisse de précipitations sur la recharge des aquifères (75% de la baisse de la pluie)

La Recharge des aquifères: PERCOL  
 PERCOL = Drainage + Ruissellement – Irrigation  
 PERCOL = ~ (P-ETR) sur le long terme



- Feuillus
- Vigne
- C. d'Hiver
- Prairie
- Conifères
- C. Printemps
- C. Irriguées



Relations ~conservées avec le CC

Change. climat.



# Evolution du rendement

pas d'évolution générale à l'ensemble des SdC et/ou couverts pérennes

Les tendances par types de couverts:

## En quantité

**cultures d'hiver** ( esquivent la sécheresse, faible réduction de durée de remplissage, profitent de l'augmentation de CO2)

**prairie** (augmentation de la durée de végétation compensant l'accroissement de la dépression estivale)

**cultures de printemps en irrigué comme en pluvial** ( baisse du rendement potentiel due au raccourcissement du cycle, éventuellement stress hydrique ou défaut de ressource)

**conifères** ( stress hydrique)

## En qualité

**Blé bio** (*teneur protéines*)

**Vigne** (*conditions de maturation*) , **fourrages** (*teneur en azote*)

→ **Dangers** (*Sud-Ouest → pin, maïs*) et **opportunités** (*Nord-est, Montagne → maïs, vigne*)



# Projections de rendement en t /ha (FP-PR)

Gras ( $p < 0.01$ ), *Italique* ( $p < 0.05$ ), Normal ( $p < 0.10$ ), Barré (Non significatif)



|                | Blé         | Maïs         | Colza       | Tournesol   | Sorgho       | Vigne        | Pin          | Féтуque       |
|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Avignon        | 0,05        | <b>-1,00</b> | -0,36       | 0,25        | 0,14         | <b>-0,33</b> | <b>-0,19</b> | <b>-0,64</b>  |
| Bordeaux       | 0,66        | <b>-0,90</b> | 0,03        | 0,08        | <b>-0,77</b> | 0,15         | <b>-0,18</b> | <b>-0,25</b>  |
| Clermont-Theix | 0,11        | <b>2,32</b>  | <b>1,44</b> | 0,59        | 0,21         | 0,13         | <b>-0,14</b> | <b>0,88</b>   |
| Colmar         | 1,06        | <b>-0,81</b> | <b>0,67</b> | -0,31       | -0,29        | <b>0,56</b>  | <b>-0,34</b> | -0,59         |
| Dijon          | 0,85        | -0,30        | 0,65        | 0,07        | 0,21         | <b>0,68</b>  | <b>-0,26</b> | -0,15         |
| Lusignan       | 0,31        | <b>-0,64</b> | 0,23        | 0,11        | -0,64        | <b>0,44</b>  | <b>-0,41</b> | <b>-0,81</b>  |
| Mirecourt      | <b>1,89</b> | <b>4,25</b>  | <b>1,40</b> | <b>2,71</b> | <b>5,73</b>  | <b>3,60</b>  | <b>0,17</b>  | <b>0,61</b>   |
| Mons           | 1,05        | <b>3,22</b>  | 0,11        | <b>1,91</b> | <b>4,13</b>  | <b>2,75</b>  | <b>-0,23</b> | <b>-0,41</b>  |
| Rennes         | -0,15       | 0,16         | 0,06        | <b>1,01</b> | <b>2,16</b>  | <b>1,54</b>  | <b>-0,11</b> | -0,68         |
| St-Etienne     | <b>2,43</b> | <b>-1,19</b> | <b>0,97</b> | -0,16       | -0,31        | 0,27         | <b>-0,38</b> | -1,00         |
| Toulouse       | 1,28        | <b>-0,97</b> | 0,00        | 0,05        | -0,73        | <b>-0,45</b> | <b>-0,42</b> | <b>-0,65</b>  |
| Versailles     | <b>0,88</b> | <b>1,30</b>  | 0,35        | <b>1,37</b> | <b>2,56</b>  | <b>1,85</b>  | <b>-0,06</b> | -0,22         |
| <b>Tous</b>    | <b>0,87</b> | <b>0,45</b>  | <b>0,46</b> | <b>0,64</b> | <b>1,03</b>  | <b>0,93</b>  | <b>-0,21</b> | <b>-0,330</b> |



# Projections de rendement en t /ha (FP-PR)

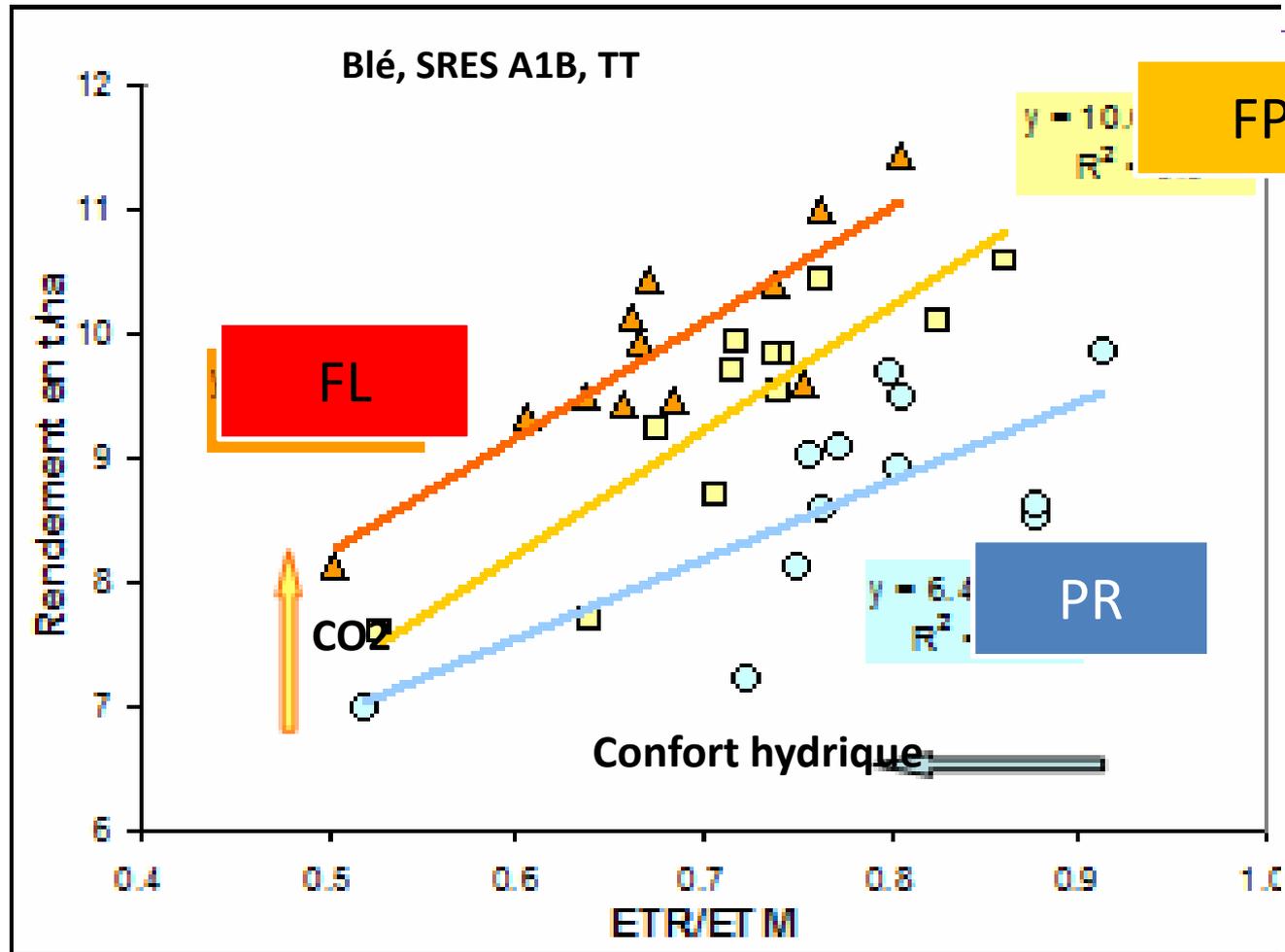
Gras ( $p < 0.01$ ), *Italique* ( $p < 0.05$ ), Normal ( $p < 0.10$ ), Barré (Non significatif)

CLIVAT  
OR

|                    | Blé   | Maïs  | Colza | Tournesol | Sorgho | Vigne | Pin   | Féтуque |
|--------------------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|---------|
| Avignon            | 0,05  | -1,00 | -0,36 | 0,25      | 0,14   | -0,33 | -0,19 | -0,64   |
| Bordeaux           | 0,66  | -0,90 | 0,03  | 0,08      | -0,77  | 0,15  | -0,18 | -0,25   |
| Clermont-<br>Theix | 0,11  | 2,32  | 1,44  | 0,59      | 0,21   | 0,13  | -0,14 | 0,88    |
| Colmar             | 1,06  | -0,81 | 0,67  | -0,31     | -0,29  | 0,56  | -0,34 | -0,59   |
| Dijon              | 0,85  | -0,30 | 0,65  | 0,07      | 0,21   | 0,68  | -0,26 | -0,15   |
| Lusignan           | 0,31  | -0,64 | 0,23  | 0,11      | -0,64  | 0,44  | -0,41 | -0,81   |
| Mirecourt          | 1,89  | 4,25  | 1,40  | 2,71      | 5,73   | 3,60  | 0,17  | 0,61    |
| Mons               | 1,05  | 3,22  | 0,11  | 1,91      | 4,13   | 2,75  | -0,23 | -0,41   |
| Rennes             | -0,15 | 0,16  | 0,06  | 1,01      | 2,16   | 1,54  | -0,11 | -0,68   |
| St-Etienne         | 2,43  | -1,19 | 0,97  | -0,16     | -0,31  | 0,27  | -0,38 | -1,00   |
| Toulouse           | 1,28  | -0,97 | 0,00  | 0,05      | -0,73  | -0,45 | -0,42 | -0,65   |
| Versailles         | 0,88  | 1,30  | 0,35  | 1,37      | 2,56   | 1,85  | -0,06 | -0,22   |
| Tous               | 0,87  | 0,45  | 0,46  | 0,64      | 1,03   | 0,93  | -0,21 | -0,330  |



# Baisse de confort hydrique plus que compensée par l'augmentation du CO2



# Projections de rendement en t /ha (FP-PR)

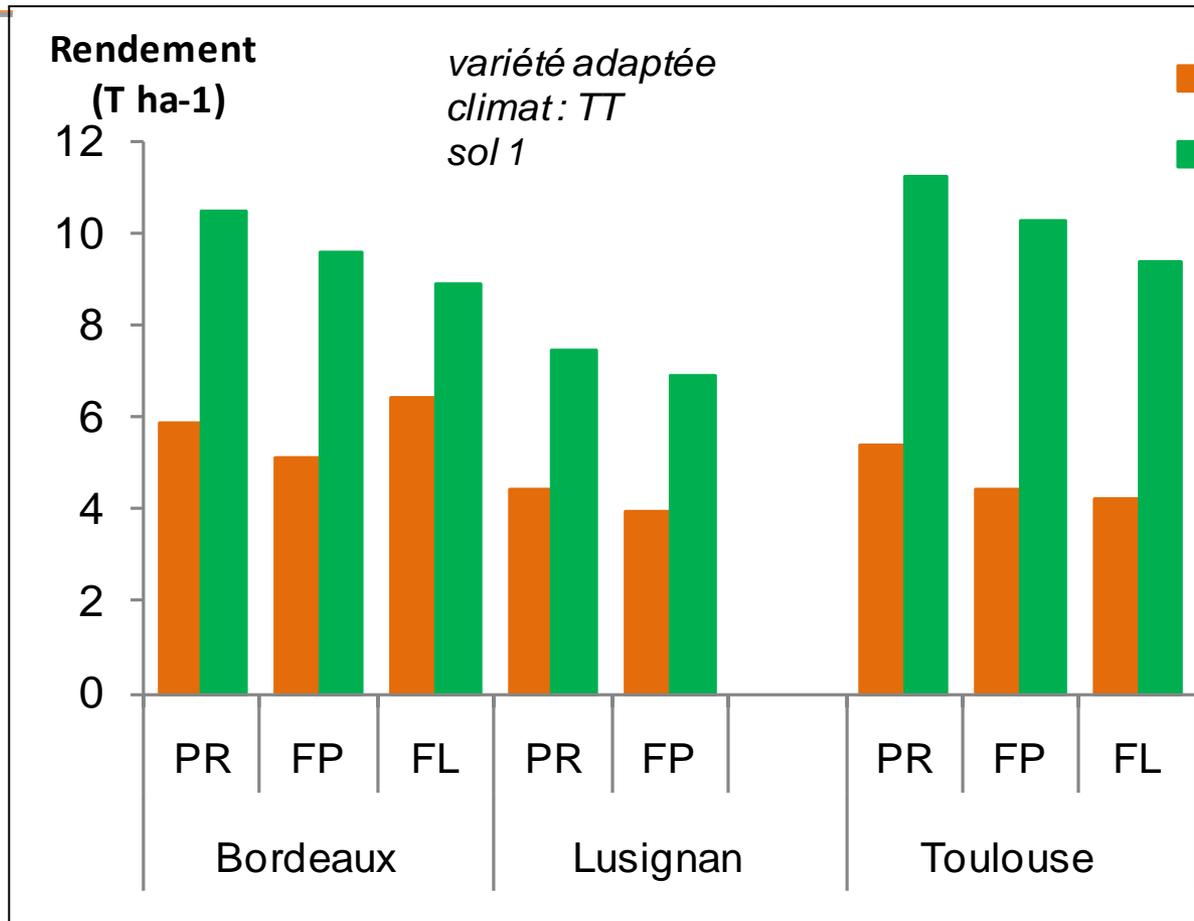
Gras ( $p < 0.01$ ), *Italique* ( $p < 0.05$ ), Normal ( $p < 0.10$ ), Barré (Non significatif)



|                | Blé         | Maïs         | Colza       | Tournesol   | Sorgho       | Vigne        | Pin          | Féтуque       |
|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Avignon        | 0,05        | <b>-1,00</b> | -0,36       | 0,25        | 0,14         | <b>-0,33</b> | <b>-0,19</b> | -0,64         |
| Bordeaux       | 0,66        | <b>-0,90</b> | 0,03        | 0,08        | <b>-0,77</b> | 0,15         | <b>-0,18</b> | -0,25         |
| Clermont-Theix | 0,11        | <b>2,32</b>  | <b>1,44</b> | 0,59        | 0,21         | 0,13         | <b>-0,14</b> | <b>0,88</b>   |
| Colmar         | 1,06        | <b>-0,81</b> | <b>0,67</b> | -0,31       | -0,29        | <b>0,56</b>  | <b>-0,34</b> | -0,59         |
| Dijon          | 0,85        | -0,30        | 0,65        | 0,07        | 0,21         | <b>0,68</b>  | <b>-0,26</b> | -0,15         |
| Lusignan       | 0,31        | <b>-0,64</b> | 0,23        | 0,11        | -0,64        | <b>0,44</b>  | <b>-0,41</b> | <b>-0,81</b>  |
| Mirecourt      | <b>1,89</b> | <b>4,25</b>  | <b>1,40</b> | <b>2,71</b> | <b>5,73</b>  | <b>3,60</b>  | <b>0,17</b>  | 0,61          |
| Mons           | 1,05        | <b>3,22</b>  | 0,11        | <b>1,91</b> | <b>4,13</b>  | <b>2,75</b>  | <b>-0,23</b> | -0,41         |
| Rennes         | -0,15       | 0,16         | 0,06        | <b>1,01</b> | <b>2,16</b>  | <b>1,54</b>  | <b>-0,11</b> | -0,68         |
| St-Etienne     | <b>2,43</b> | <b>-1,19</b> | <b>0,97</b> | -0,16       | -0,31        | 0,27         | <b>-0,38</b> | -1,00         |
| Toulouse       | 1,28        | <b>-0,97</b> | 0,00        | 0,05        | -0,73        | <b>-0,45</b> | <b>-0,42</b> | -0,65         |
| Versailles     | <b>0,88</b> | <b>1,30</b>  | 0,35        | <b>1,37</b> | <b>2,56</b>  | <b>1,85</b>  | <b>-0,06</b> | -0,22         |
| <b>Tous</b>    | <b>0,87</b> | <b>0,45</b>  | <b>0,46</b> | <b>0,64</b> | <b>1,03</b>  | <b>0,93</b>  | <b>-0,21</b> | <b>-0,330</b> |

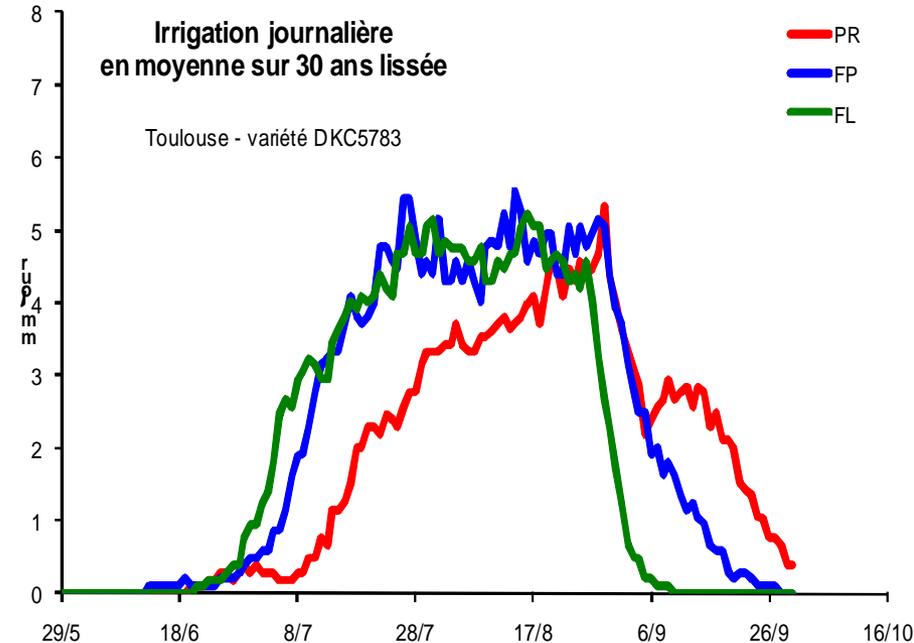
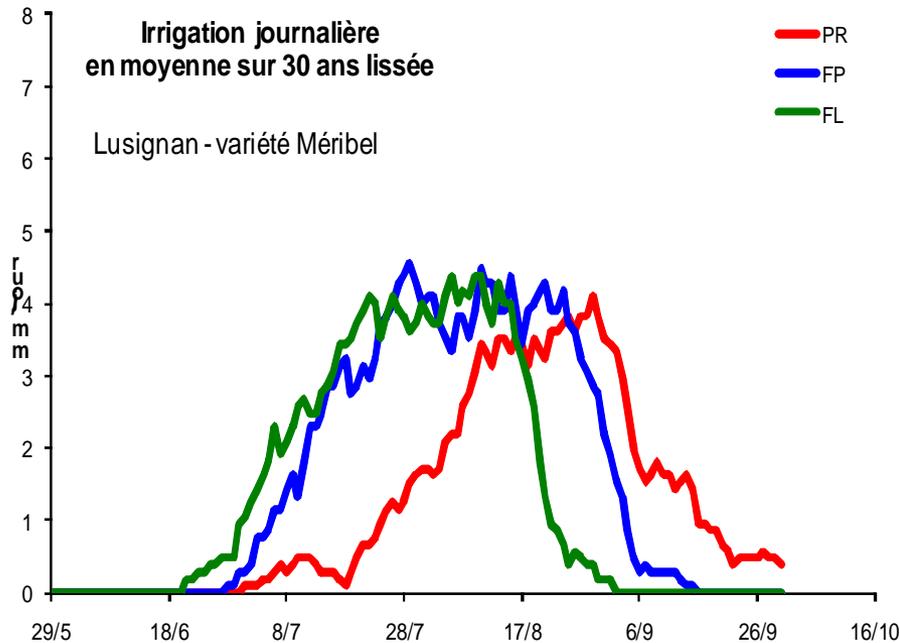


# Impacts sur la productivité des cultures de printemps (diminution du rayonnement intercepté)



CLIMAT  
OR

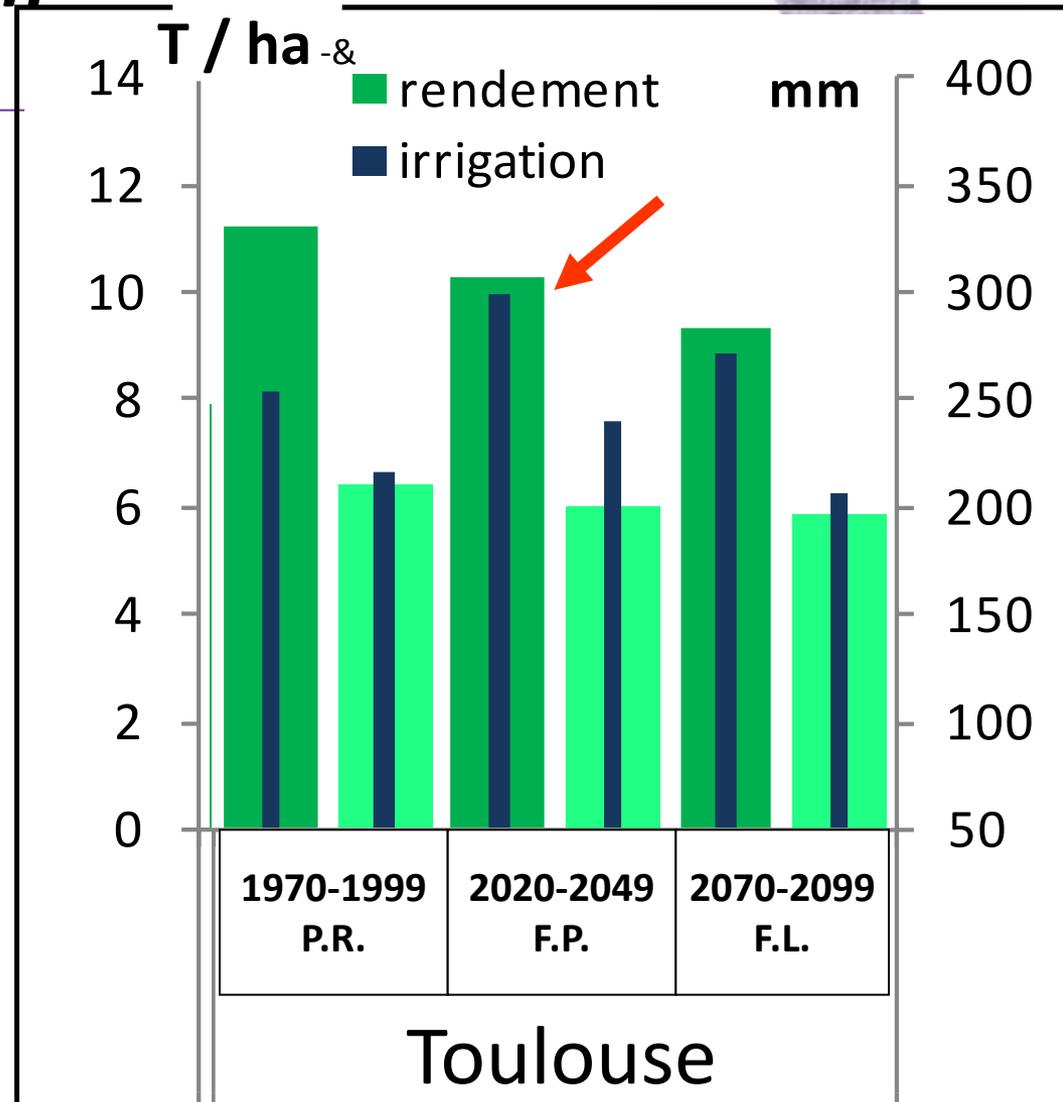
# Quid de l'irrigation?



# Effet du changement de variétés de maïs sur le rendement et l'irrigation



- Meribel (1640 °CJ)
- DKC5783 (2010 °CJ)



# Maïs: précoce ou tardif?

Charybde: Précoce

+ :  $\Sigma$  ETR



- : Prod



Scylla : Tardif

+ : Prod



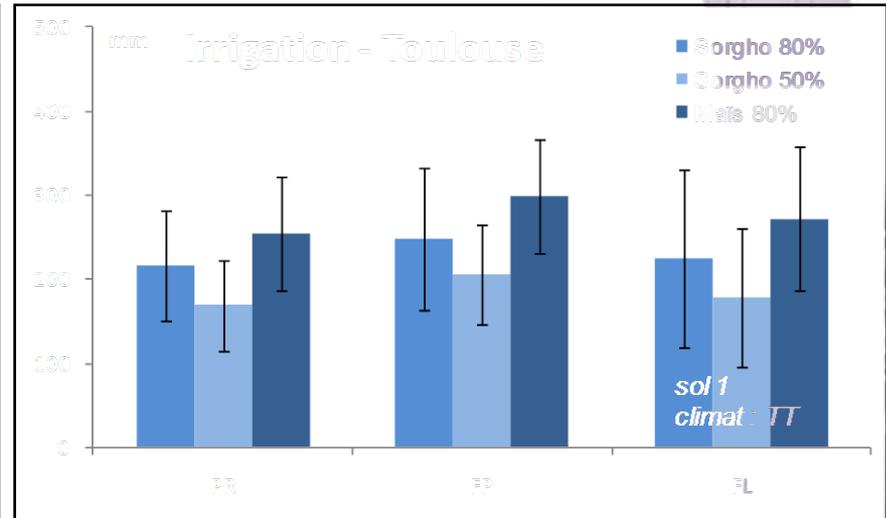
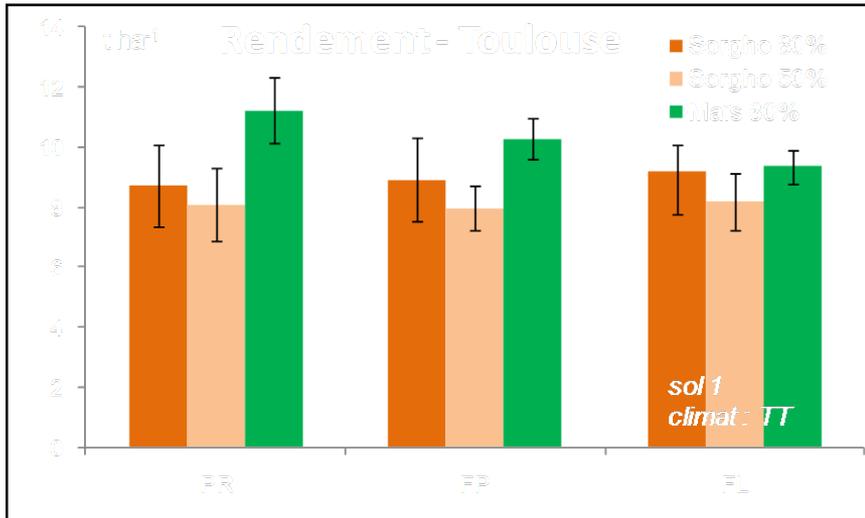
- :  $\Sigma$  ETR



CLINT  
OR

# Adaptations possibles

Mieux exploiter le sorgho : par exemple irrigation



Cultiver le maïs en rotation : possible grâce à la disponibilité thermique

# Projections de rendement en t /ha (FP-PR)

Gras ( $p < 0.01$ ), *Italique* ( $p < 0.05$ ), Normal ( $p < 0.10$ ), Barré (Non significatif)

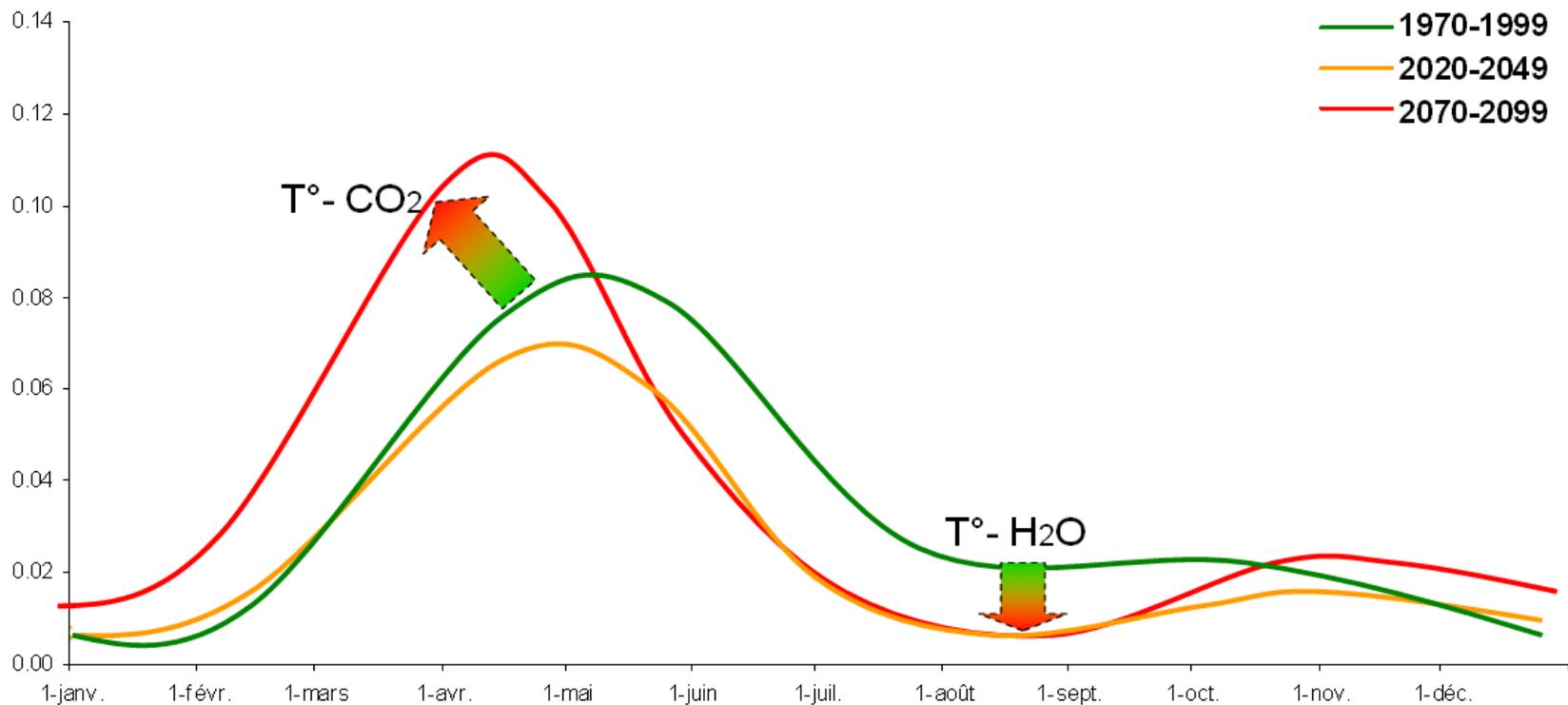


|                | Blé         | Maïs         | Colza       | Tournesol   | Sorgho       | Vigne        | Pin          | Féтуque       |
|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Avignon        | 0,05        | <b>-1,00</b> | -0,36       | 0,25        | 0,14         | <b>-0,33</b> | <b>-0,19</b> | -0,64         |
| Bordeaux       | 0,66        | <b>-0,90</b> | 0,03        | 0,08        | <b>-0,77</b> | 0,15         | <b>-0,18</b> | -0,25         |
| Clermont-Theix | 0,11        | <b>2,32</b>  | <b>1,44</b> | 0,59        | 0,21         | 0,13         | <b>-0,14</b> | <b>0,88</b>   |
| Colmar         | 1,06        | <b>-0,81</b> | <b>0,67</b> | -0,31       | -0,29        | <b>0,56</b>  | <b>-0,34</b> | -0,59         |
| Dijon          | 0,85        | -0,30        | 0,65        | 0,07        | 0,21         | <b>0,68</b>  | <b>-0,26</b> | -0,15         |
| Lusignan       | 0,31        | <b>-0,64</b> | 0,23        | 0,11        | -0,64        | <b>0,44</b>  | <b>-0,41</b> | <b>-0,81</b>  |
| Mirecourt      | <b>1,89</b> | <b>4,25</b>  | <b>1,40</b> | <b>2,71</b> | <b>5,73</b>  | <b>3,60</b>  | <b>0,17</b>  | 0,61          |
| Mons           | 1,05        | <b>3,22</b>  | 0,11        | <b>1,91</b> | <b>4,13</b>  | <b>2,75</b>  | <b>-0,23</b> | -0,41         |
| Rennes         | -0,15       | 0,16         | 0,06        | <b>1,01</b> | <b>2,16</b>  | <b>1,54</b>  | <b>-0,11</b> | -0,68         |
| St-Etienne     | <b>2,43</b> | <b>-1,19</b> | <b>0,97</b> | -0,16       | -0,31        | 0,27         | <b>-0,38</b> | -1,00         |
| Toulouse       | 1,28        | <b>-0,97</b> | 0,00        | 0,05        | -0,73        | <b>-0,45</b> | <b>-0,42</b> | -0,65         |
| Versailles     | <b>0,88</b> | <b>1,30</b>  | 0,35        | <b>1,37</b> | <b>2,56</b>  | <b>1,85</b>  | <b>-0,06</b> | -0,22         |
| <b>Tous</b>    | <b>0,87</b> | <b>0,45</b>  | <b>0,46</b> | <b>0,64</b> | <b>1,03</b>  | <b>0,93</b>  | <b>-0,21</b> | <b>-0,330</b> |



# Cultures fourragères

Croissance journalière  
(t MS/ha/j)



*Evolution annuelle de la production journalière au court de l'année – Exemple de la fétuque cultivée à Rennes sur sol superficiel, scénario A1B simulé avec STICS avec la méthode de régionalisation climatique QQ.*

# Projections de rendement en t /ha (FP-PR)

Gras ( $p < 0.01$ ), *Italique* ( $p < 0.05$ ), Normal ( $p < 0.10$ ), Barré (Non significatif)

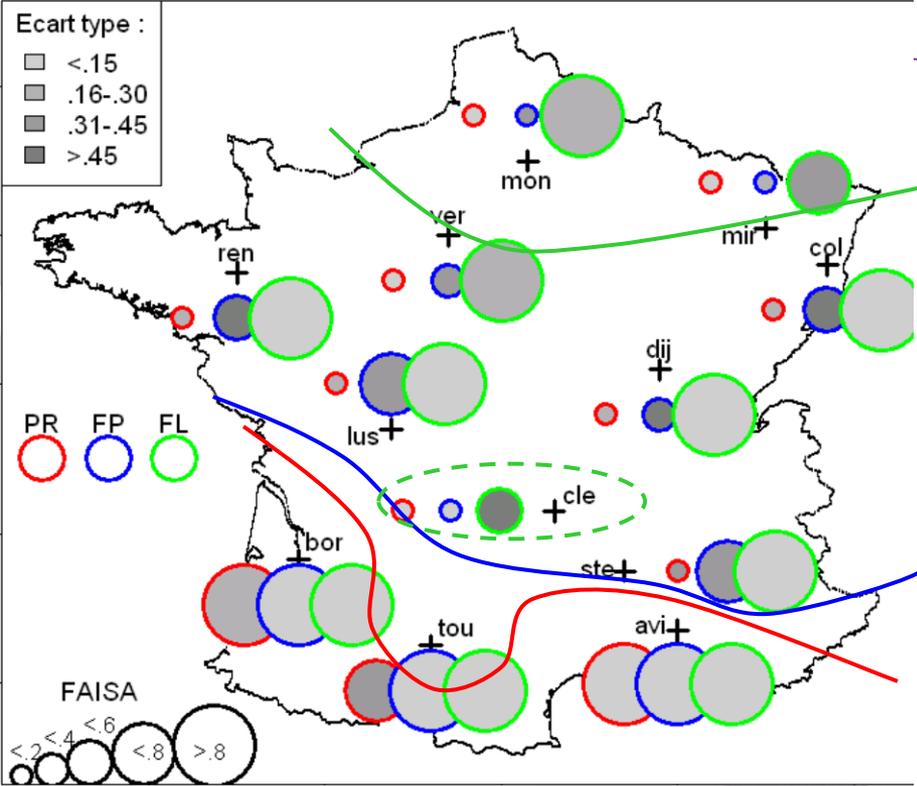
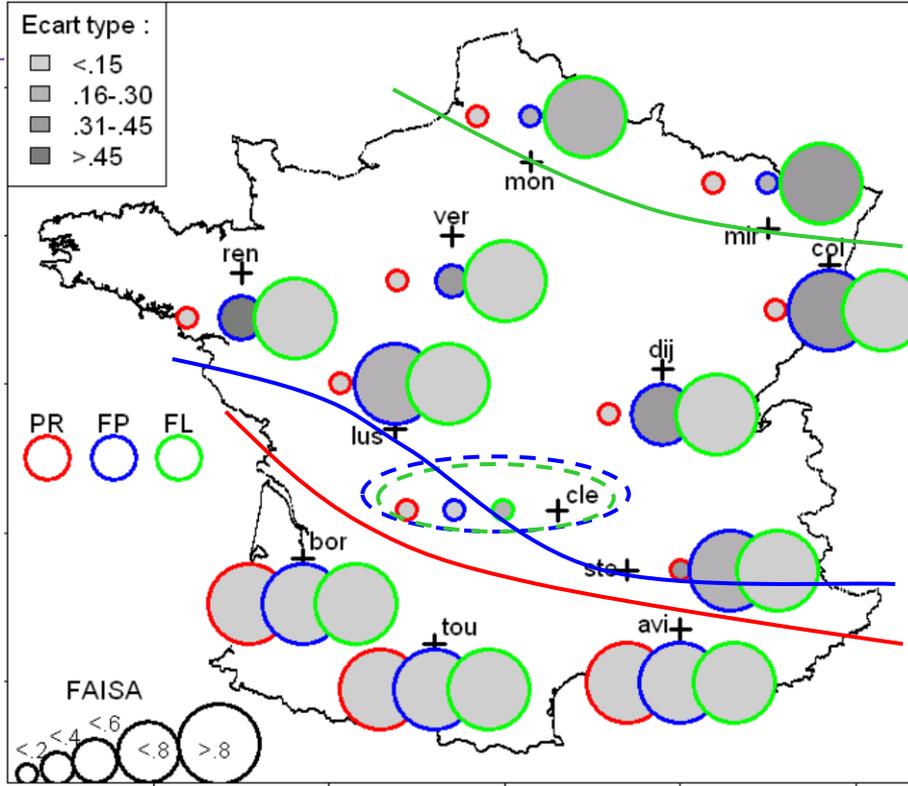


|                | Blé         | Maïs         | Colza       | Tournesol   | Sorgho       | Vigne        | Pin          | Féтуque       |
|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Avignon        | 0,05        | <b>-1,00</b> | -0,36       | 0,25        | 0,14         | <b>-0,33</b> | -0,19        | -0,64         |
| Bordeaux       | 0,66        | <b>-0,90</b> | 0,03        | 0,08        | <b>-0,77</b> | 0,15         | -0,18        | -0,25         |
| Clermont-Theix | 0,11        | <b>2,32</b>  | <b>1,44</b> | 0,59        | 0,21         | 0,13         | -0,14        | <b>0,88</b>   |
| Colmar         | 1,06        | <b>-0,81</b> | <b>0,67</b> | -0,31       | -0,29        | <b>0,56</b>  | -0,34        | -0,59         |
| Dijon          | 0,85        | -0,30        | 0,65        | 0,07        | 0,21         | <b>0,68</b>  | -0,26        | -0,15         |
| Lusignan       | 0,31        | <b>-0,64</b> | 0,23        | 0,11        | -0,64        | <b>0,44</b>  | -0,41        | <b>-0,81</b>  |
| Mirecourt      | <b>1,89</b> | <b>4,25</b>  | <b>1,40</b> | <b>2,71</b> | <b>5,73</b>  | <b>3,60</b>  | <b>0,17</b>  | 0,61          |
| Mons           | 1,05        | <b>3,22</b>  | 0,11        | <b>1,91</b> | <b>4,13</b>  | <b>2,75</b>  | -0,23        | -0,41         |
| Rennes         | -0,15       | 0,16         | 0,06        | <b>1,01</b> | <b>2,16</b>  | <b>1,54</b>  | -0,11        | -0,68         |
| St-Etienne     | <b>2,43</b> | <b>-1,19</b> | <b>0,97</b> | -0,16       | -0,31        | 0,27         | -0,38        | -1,00         |
| Toulouse       | 1,28        | <b>-0,97</b> | 0,00        | 0,05        | -0,73        | <b>-0,45</b> | -0,42        | -0,65         |
| Versailles     | <b>0,88</b> | <b>1,30</b>  | 0,35        | <b>1,37</b> | <b>2,56</b>  | <b>1,85</b>  | -0,06        | -0,22         |
| <b>Tous</b>    | <b>0,87</b> | <b>0,45</b>  | <b>0,46</b> | <b>0,64</b> | <b>1,03</b>  | <b>0,93</b>  | <b>-0,21</b> | <b>-0,330</b> |



# Merlot: Faisabilité de la maturité

faisabilité, moyennes sur 30 ans et écarts-types, Merlot, climat : A1B TT (a) et QQ (b).



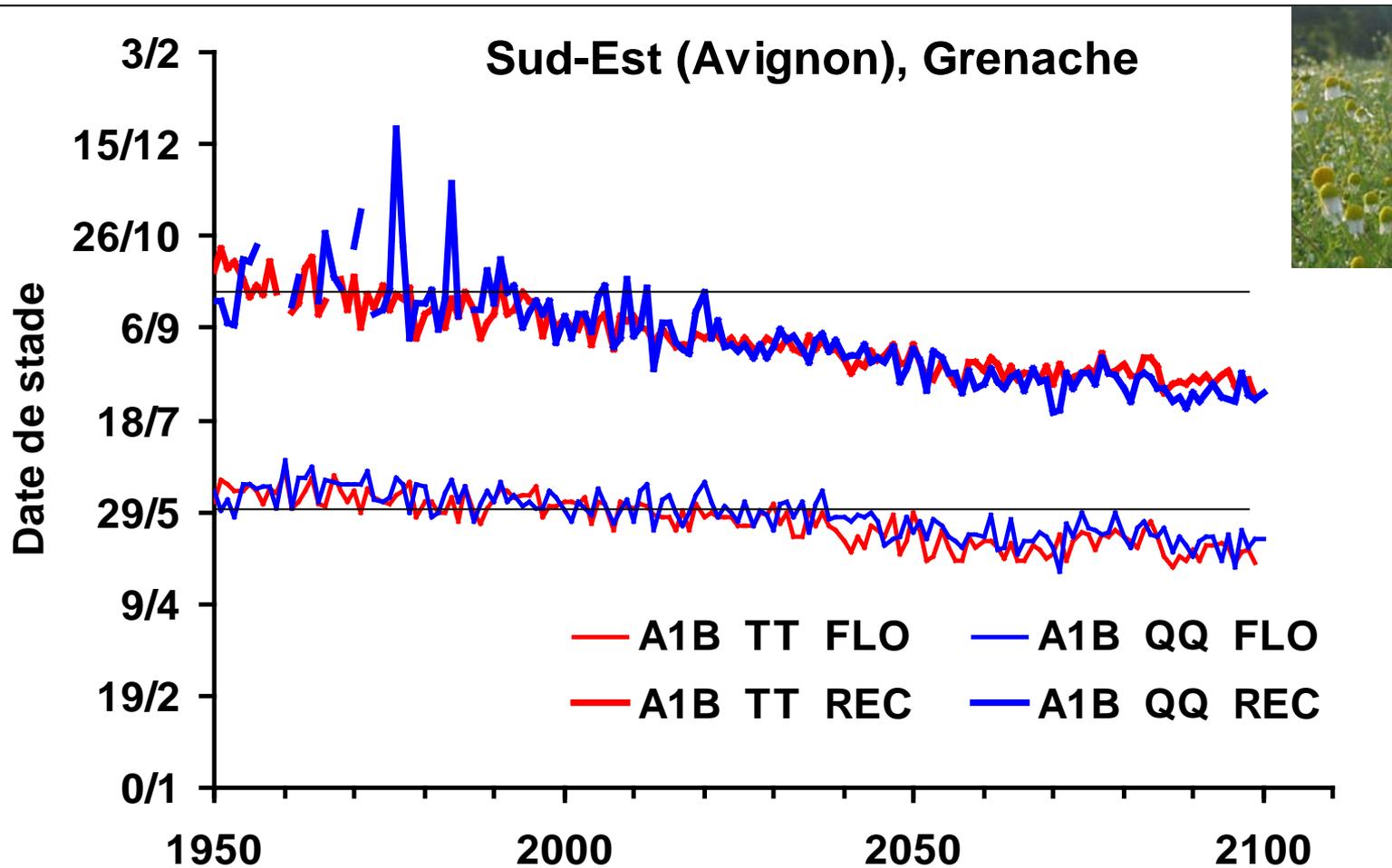
(frontières tracées à titre indicatif, ne concernant que les 12 sites Climator)



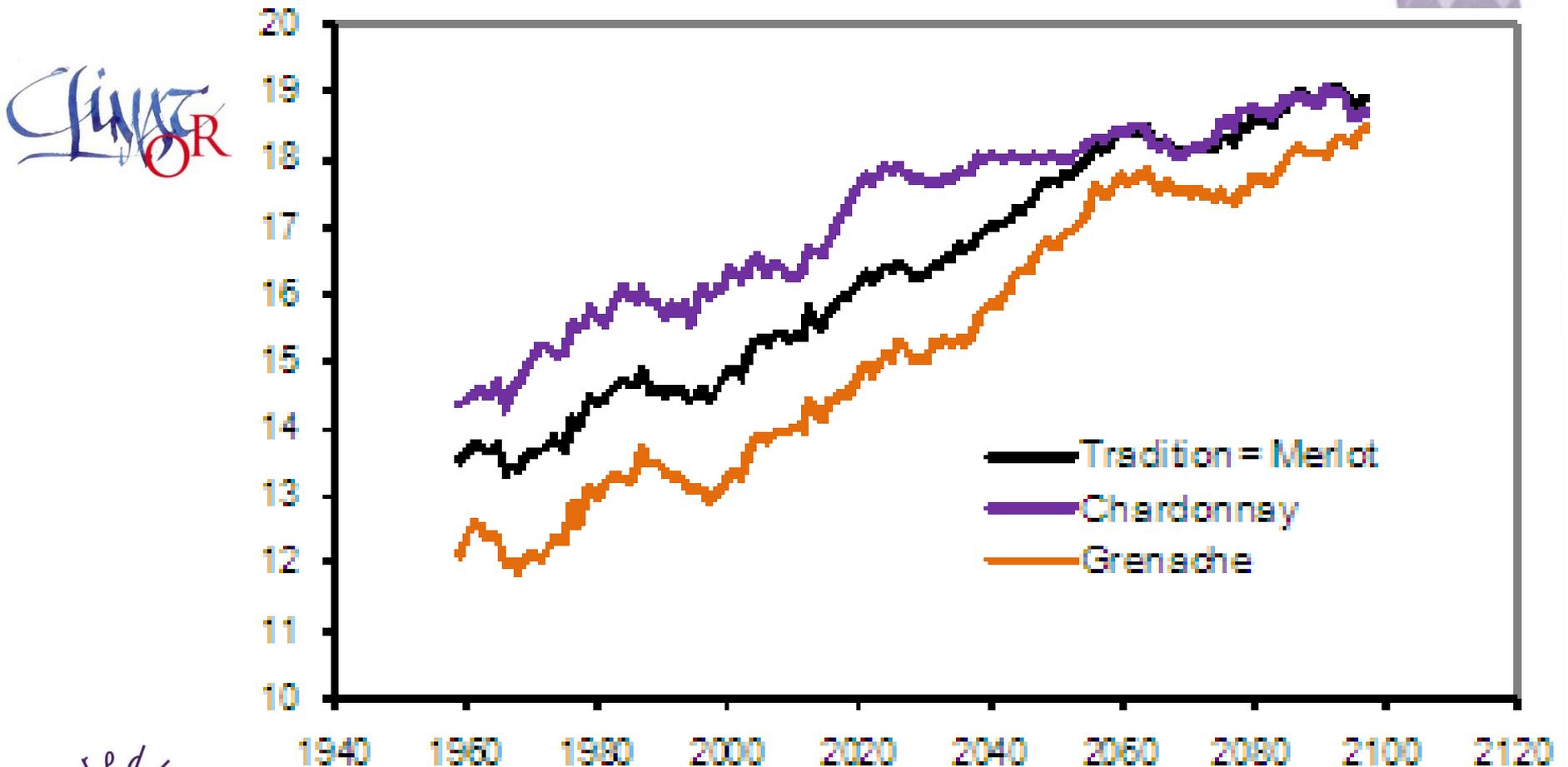
- progression vers le N de l'aire de culture
- Rennes, Versailles... tout à fait aptes à la viticulture

# Vigne : raccourcissement du cycle

## Evolution des dates de floraison et de vendange de la vigne



# Evolution de l'indice de qualité de la vigne à Toulouse (*T°nocturne de véraison à maturité*) - Scénario A1B - TT



**Merci de votre attention**



Extrait des motivations du **Métaprogramme INRA** en cours  
« **Adaptation au changement climatique  
de l'agriculture et de la forêt.** »

- Une cascade de **répercussions du changement climatique** est à envisager, **sur les besoins et disponibilités en eau, sur la qualité des sols, sur la pression de bio-agresseurs, sur les besoins en intrants, sur la qualité et la typicité des produits, les rendements agricoles ainsi que sur les modes d'utilisation des terres.** Le changement climatique interagit avec d'autres changements et d'autres pressions sur les écosystèmes (augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub>, ozone, dépôt atmosphérique d'azote, introductions d'espèces, changement d'usage des sols et de pratiques agricoles, changements des pratiques alimentaires, etc.). **Il faut comprendre les effets conjoints de ces différentes modifications globales**



## Les 7 objectifs du métaprogramme ACCAF

1. Evaluer et gérer les risques et les opportunités à moyen terme associés à la variabilité et aux extrêmes du climat et définir des stratégies visant à anticiper et pallier les crises climatiques ;
2. Projeter et scénariser (avec une quantification des incertitudes associées) les impacts régionaux du changement climatique sur l'agriculture et les écosystèmes plus ou moins anthropisés ;
3. Comprendre et maîtriser les principaux effets du changement climatique sur la biodiversité, son évolution (aires de répartition des espèces, diversité génétique) ainsi que celle de la santé (espèces invasives, bioagresseurs et leur diversité génétique, maladies) des écosystèmes, agro-systèmes et des bêtes de rente ;
4. Améliorer génétiquement les espèces cultivées ou domestiquées et les animaux de rente aux modifications du climat et de ses conséquences (composition de l'atmosphère - CO<sub>2</sub>, ozone, nouveaux bio-agresseurs, etc.) et renforcer la capacité d'adaptation des systèmes de culture, des systèmes de production et des filières ;
5. Développer des technologies innovantes de l'adaptation compatibles avec la réduction des émissions et l'augmentation ou la pérennisation de la taille des puits de gaz à effet de serre ;
6. Identifier les coûts et les bénéfices de mesures d'adaptation au regard de différents enjeux : compétitivité économique, biodiversité, ressources en eau et en sols, satisfaction des besoins alimentaires, qualité et sécurité sanitaire des produits ;
7. Définir des modes d'organisation collective (gouvernance des territoires, assurances, formation, innovation, valorisation) susceptibles de renforcer la capacité d'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique

