



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,  
de la formation et de la recherche DEFR

**Agroscope**

# Risques climatiques du blé et développement d'une carte d'aptitude climatique du blé en Suisse

**Dario Fossati,**  
avec **A. Holzkämper, P. Calanca & J. Fuhrer**

ASS 2014





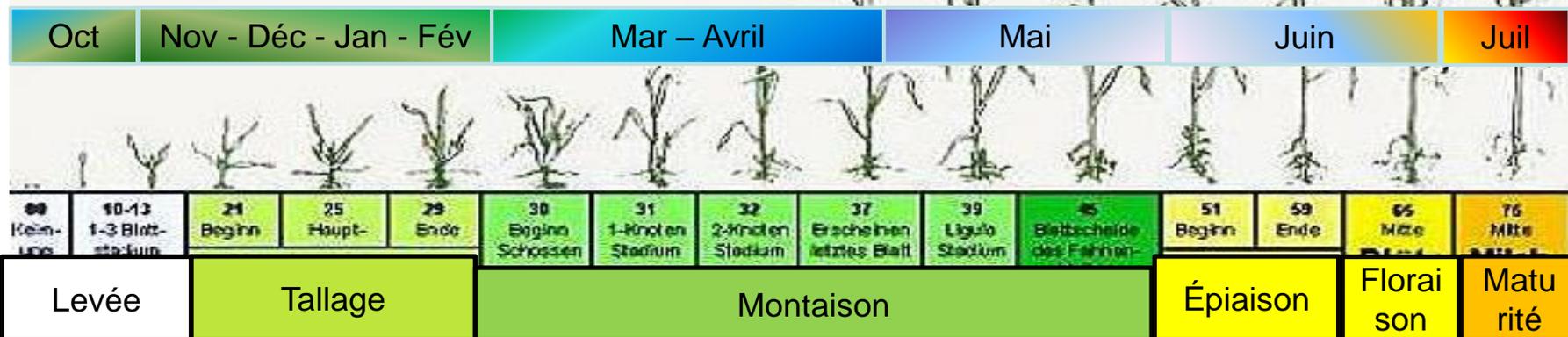
# Ordres du jour

- Les risques climatiques pour le blé
- Les accidents abiotiques
- Les cartes d'aptitudes climatiques pour le blé
- Tendances climatiques
- Observations en Suisse
- Réflexions d'un sélectionneur



# Risques climatiques

## Le gel



<-8°C ~ Minima <-5°C

Endurcissement ~0°C  
 Limites f (variété, espèce)  
 p.ex cv CHEYENNE -30°C

E1C Minima <-4°C





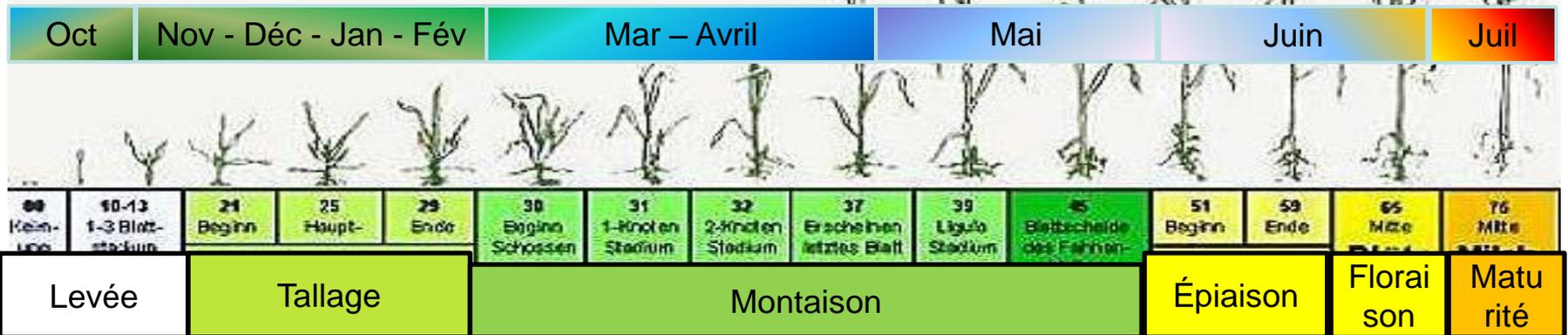


Appréciation	Note	Variétés			
		blé d'automne	blé de printemps	triticale	seigle
excellent	1	Cheyenne (STD)		Lamberto, <b>Triamant</b>	Danko, Marder
très bon	2 & 3	Delloro, Muveran, Mureto, Rigi, <b>CH Combin</b> , CH Camedo, <b>Cambrena</b> , Tamaro		Timbo, Dagro, <b>Prader, Trialdo, Bedretto, Tarzan</b> , Lasko, Trimaran	
bon	4	Molinera, <b>CH Claro</b> , Tanelin, Forel, Mayen, Dufour		<b>Cosinus</b>	
moyen	5	Fluela, Suretta, <b>Arina</b> , Segor, Logia, Orzival, <b>Levis, Siala, Runal</b> , Forno, Greif		Brio	
médiocre	6	<b>Zinal</b> , Campioni, <b>Titlis</b>	Aletsch, Campanin, <b>Lona</b> , Tirone		
faible	7	CH Nara, Vanilnoir, <b>Lona, Simano, Fiorina</b> , Magno, <b>Galaxie</b>	Carasso, Corbetta, Casana, <b>Toronit</b> , Cervino, CH Matro, Trovat, Chasseral, <b>Altare</b> , Prosa, <b>Fiorina</b> , Digana, Sella	Larossa	
très faible	8	<b>Chaumont, Jazzi, Lorenzo, Sertori</b>	Chaumont, Camadra, Terri, <b>CH Rubli</b> , Soliat, <b>CH Campala, Sertori, Greina</b>	Tridel	
mauvais	9	Champlein (STD)	Gorda, Medola, Stanga, Vully		



# Risques climatiques

## Le froid

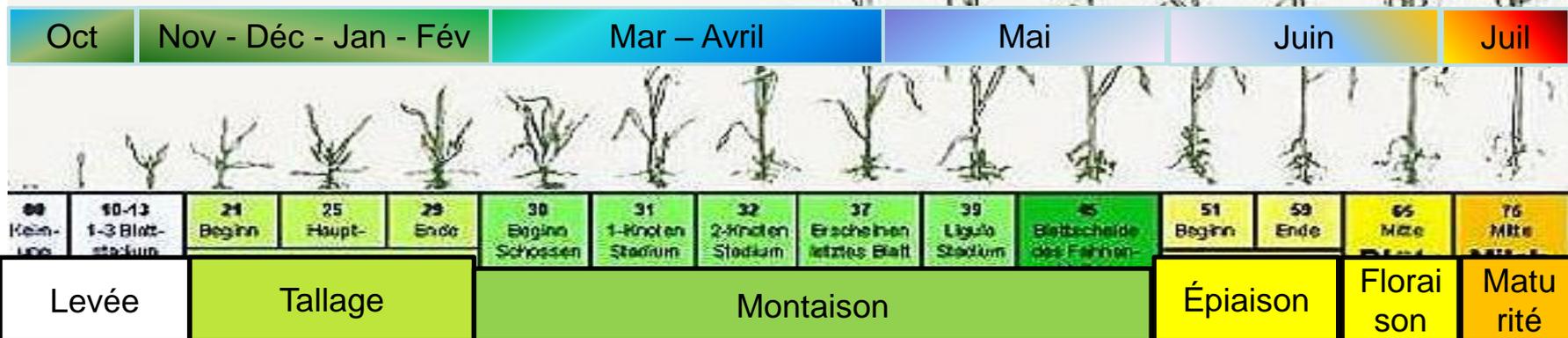


épiaison difficile (<5°C)  
influence la hauteur des plantes  
(plantes plus longues)  
épillets surnuméraires



# Risques climatiques

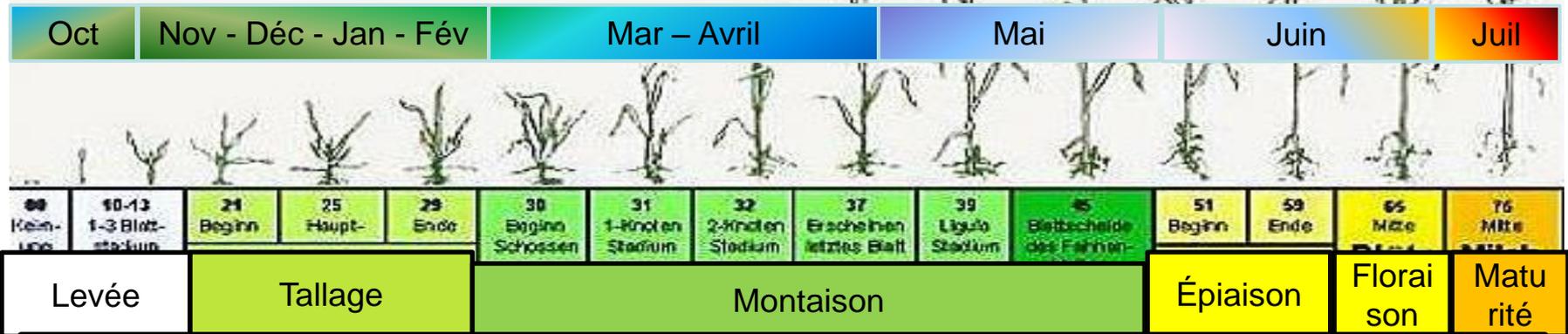
## Faible luminosité



méiose  
**f(variété)**,  
 stérilité du pollen ( $\leq 4^{\circ}\text{C}$ )  
 moins de talles,  
 épillets avortés à la base  
 de l'épi

# Risques climatiques

## Chaleur



Pendant la croissance du grain:

Avortement

Dès >15°C diminution du PMG

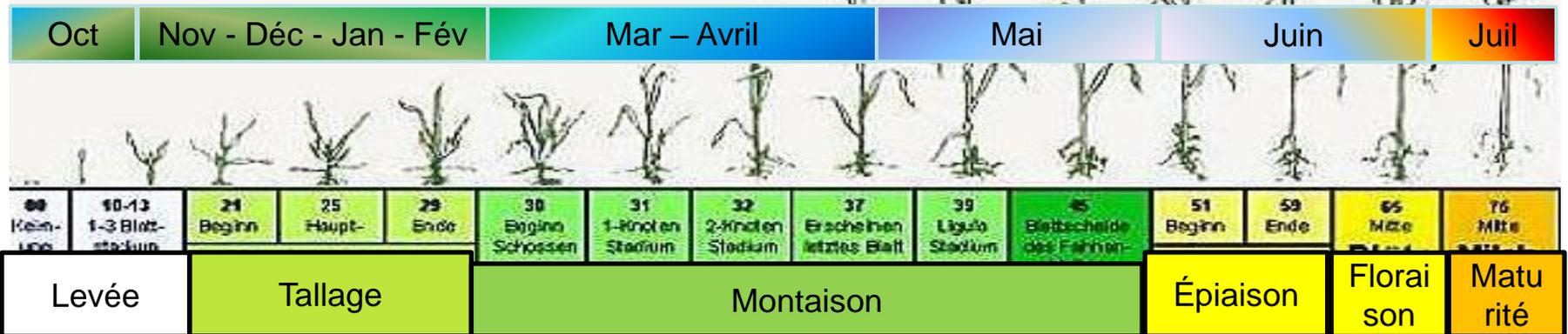
Stress avant maturité laiteuse → grain lisse et petits

Stress après maturité laiteuse → grains ridés, échaudés

Perte de PMG (g) = 0.78 \* (Nb de jours >25°C, entre "épiaison" et "épiaison +750°Cj")

# Risques climatiques

## Trop d'eau



Anoxie

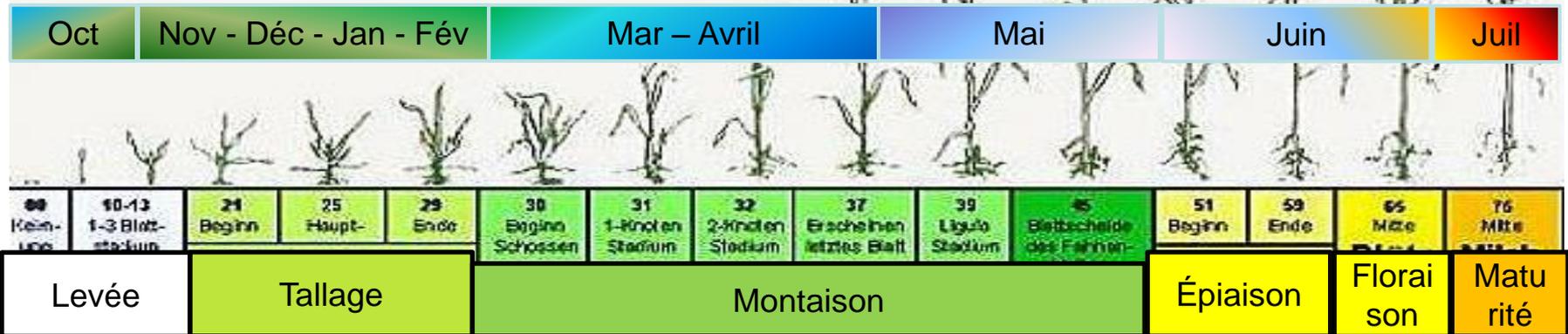
Anoxie - Flétrissement  
Carence (K)  
Nombre réduit d'épillets

Germination  
sur pied

Anoxie  
Carence (N)  
Nombre réduit d'épis/m<sup>2</sup>

# Risques climatiques

## Manque d'eau



## Pertes (après flétrissement)

Longueur réduite des feuilles  
 Feuilles "tuilées" puis enroulées  
 Hauteur des plantes réduites (surtout le dernier entrenœud)  
 Pointes épi stérile



# Accidents climatiques

- **Verse** (vent & pluie)
  - f(variété, longueur de plante, N)





# Accidents climatiques

- Grêle
  - Effet direct et indirect  
(germination sur pied)





# Accidents climatiques

- Germination sur pied (1)
  - f(climat, variété, technique culturale)
  - climat (température, humidité)
    - forte température après la maturité pâteuse → réduction de la dormance
    - humidité et faibles températures → germination sur pied





# Accidents climatiques

## • Germination (2)

- Variété
  - Dormance
  - ABA & GA3 (Rht8),  $\alpha$ -amylases vertes
  - Couleur du grain (rouge / blanc)
  - Morphologie (hauteur de l'épi, glumes, densité de l'épi, barbes)
- Méthodes culturales
  - Apports N tardifs
  - Fongicides (strobilurine)





# *Cartes d'aptitudes climatiques*

*Qu'es-ce que c'est et à quoi ça sert ?*

- Buts:
  - Planification
  - Développer des stratégies d'adaptation
  - Diagnostiques ponctuels



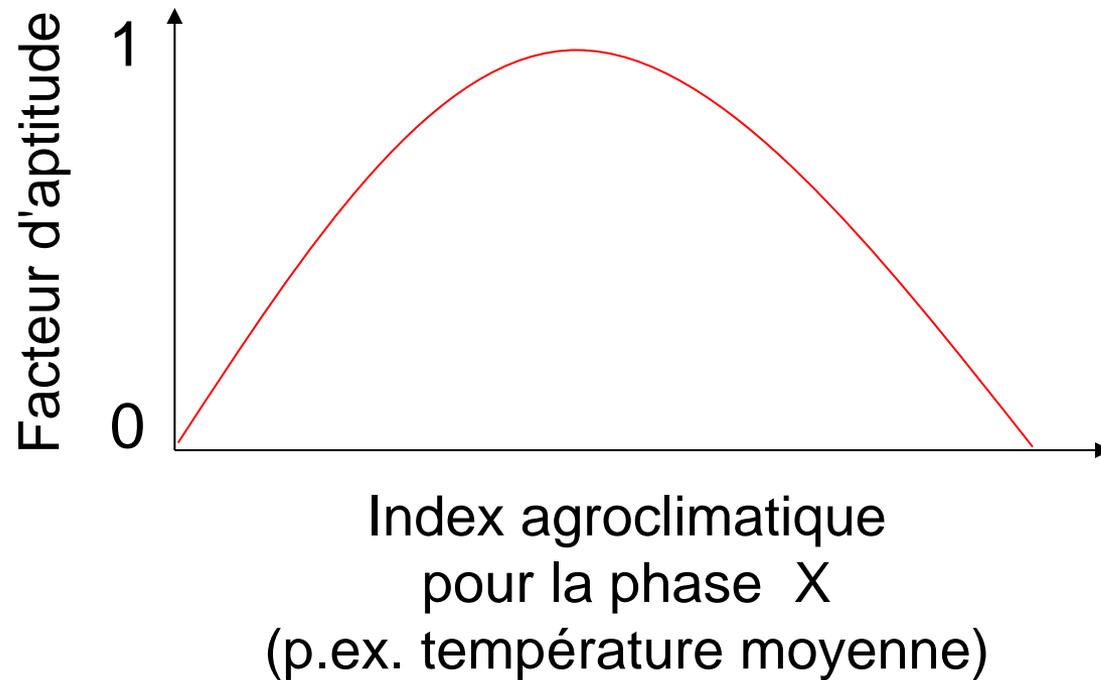
# *Méthodologie*

- Méthode multi-critères basée sur des avis d'experts:
  - Des indices agro-climatiques
  - Des phases phénologiques
  - Calculés de manière dynamique
  - Correction, affinage basée sur les résultats réels de rendement



# Méthodologie

Facteur d'aptitude par phase

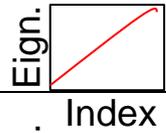




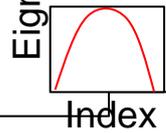
# Méthodologie

## Index agroclimatiques

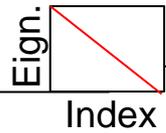
Rayonnement moyen/Température



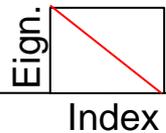
Température moyenne



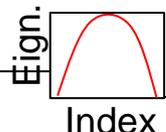
Somme Temp. Moy. < 0°C



Somme Temp. Moy. > 25°C



Eau dispo. (N - ET<sub>0</sub>)



Données basées sur expertises

## Facteur d'aptitude spécifique de la phase

Stress de rayonnement

Stress de température

Stress de gel

Stress de chaleur

Stress hydrique

MINIMUM

## Aptitude par phase

Semis-Levée

...

Croissance végét.

Floraison

Maturité

Somme pondérée

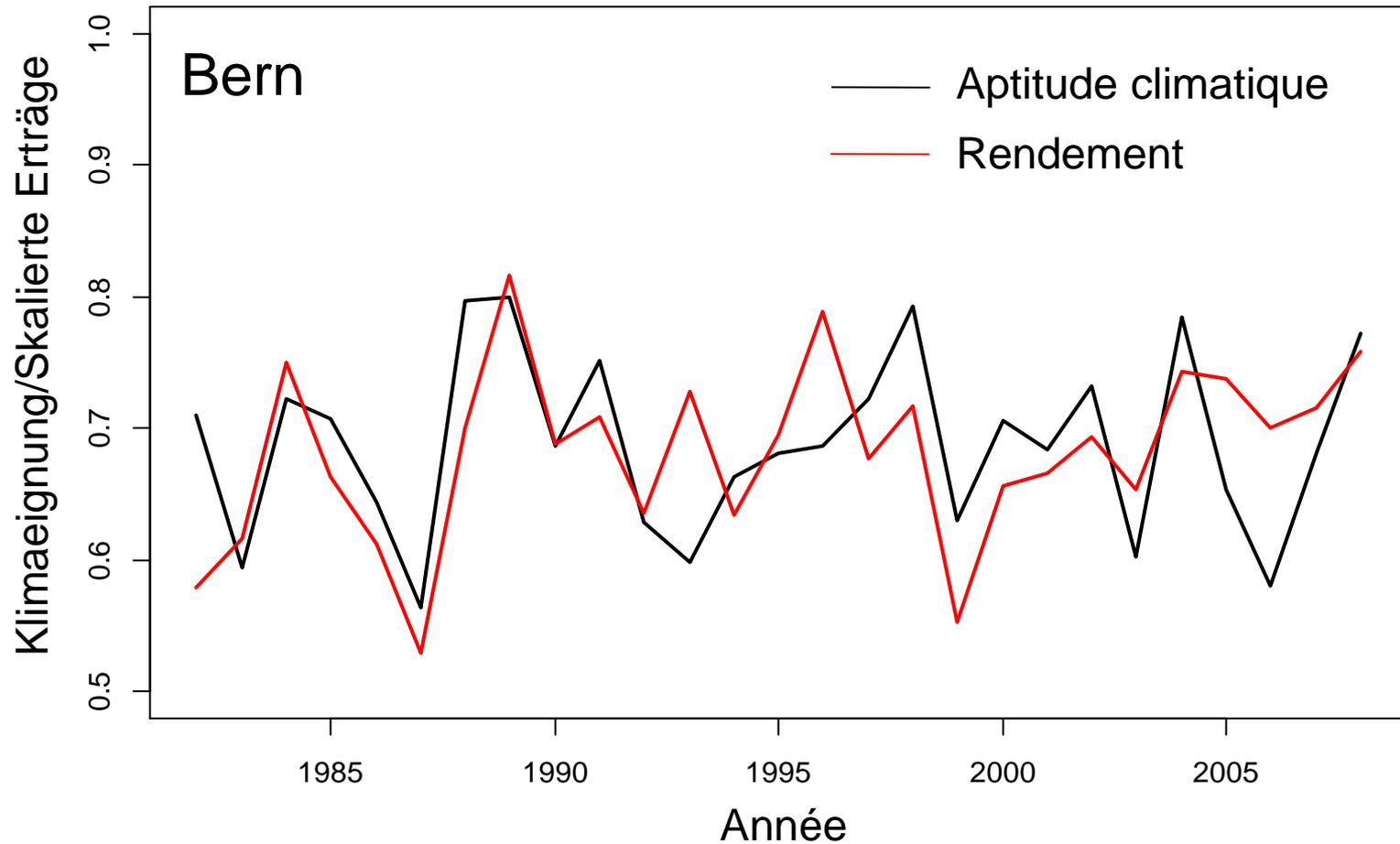
Aptitude climatique



# Aptitude climatique blé d'hiver



Comparaison avec les rendements (Rendement max.= 8.5 t/ha)





# Cartes d'aptitudes climatiques Blé d'hiver

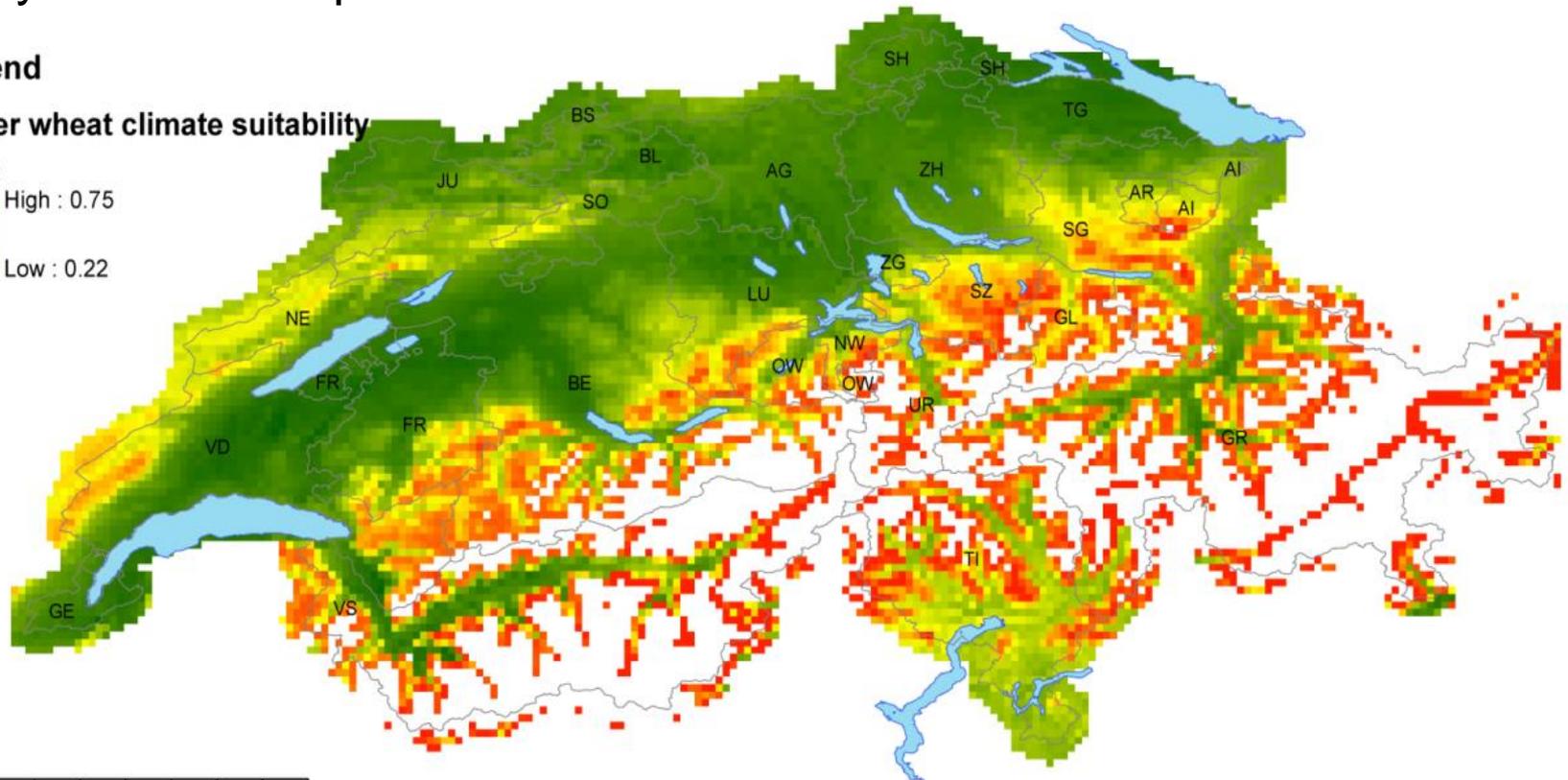
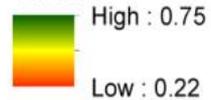


Moyenne climatique 1984-2010

## Legend

Winter wheat climate suitability

Value



Berechnung basierend auf interpolierten  
Tagestemperaturen (MeteoSchweiz 2012)



# Limitations moyenne

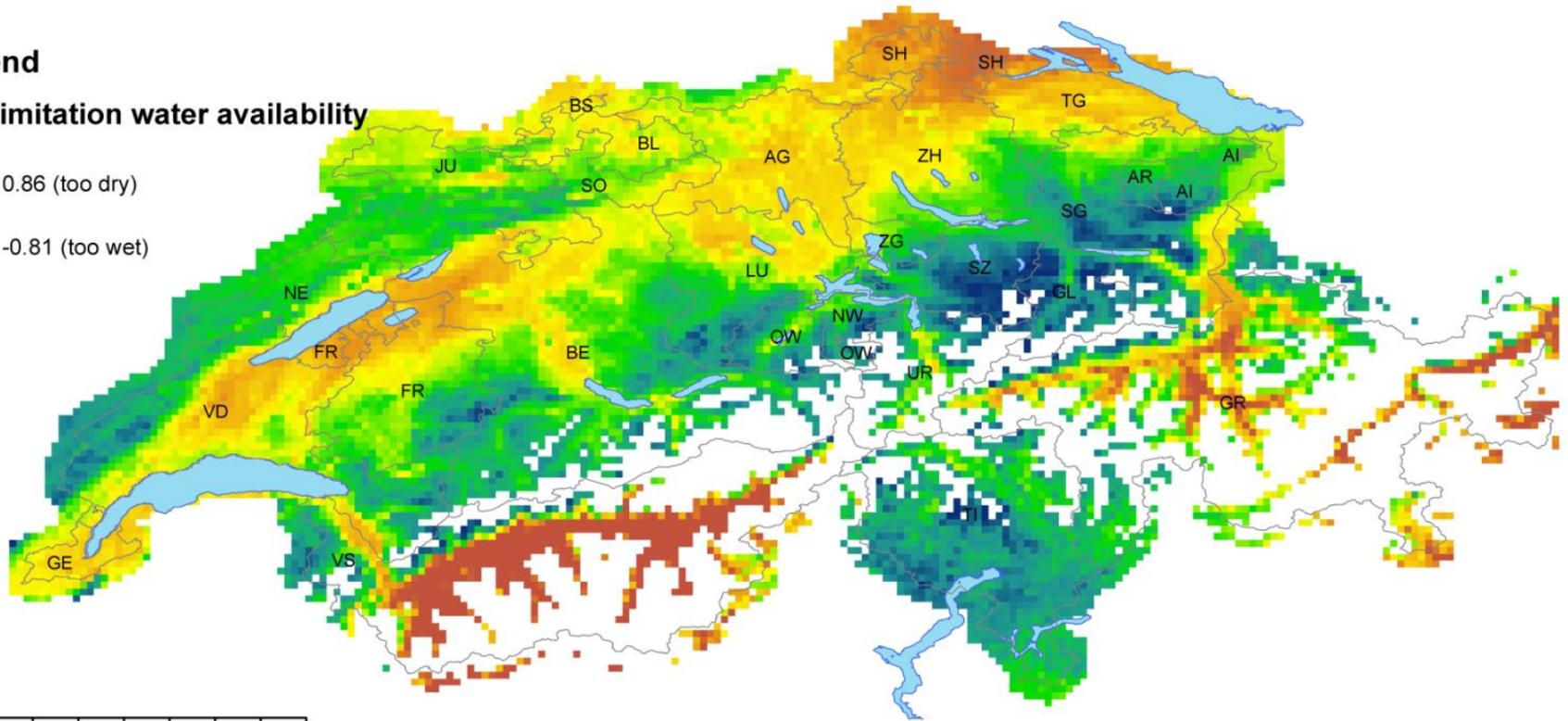


...par la disponibilité en eau

## Legend

WW limitation water availability

Value



# Facteur le plus fréquemment limitant

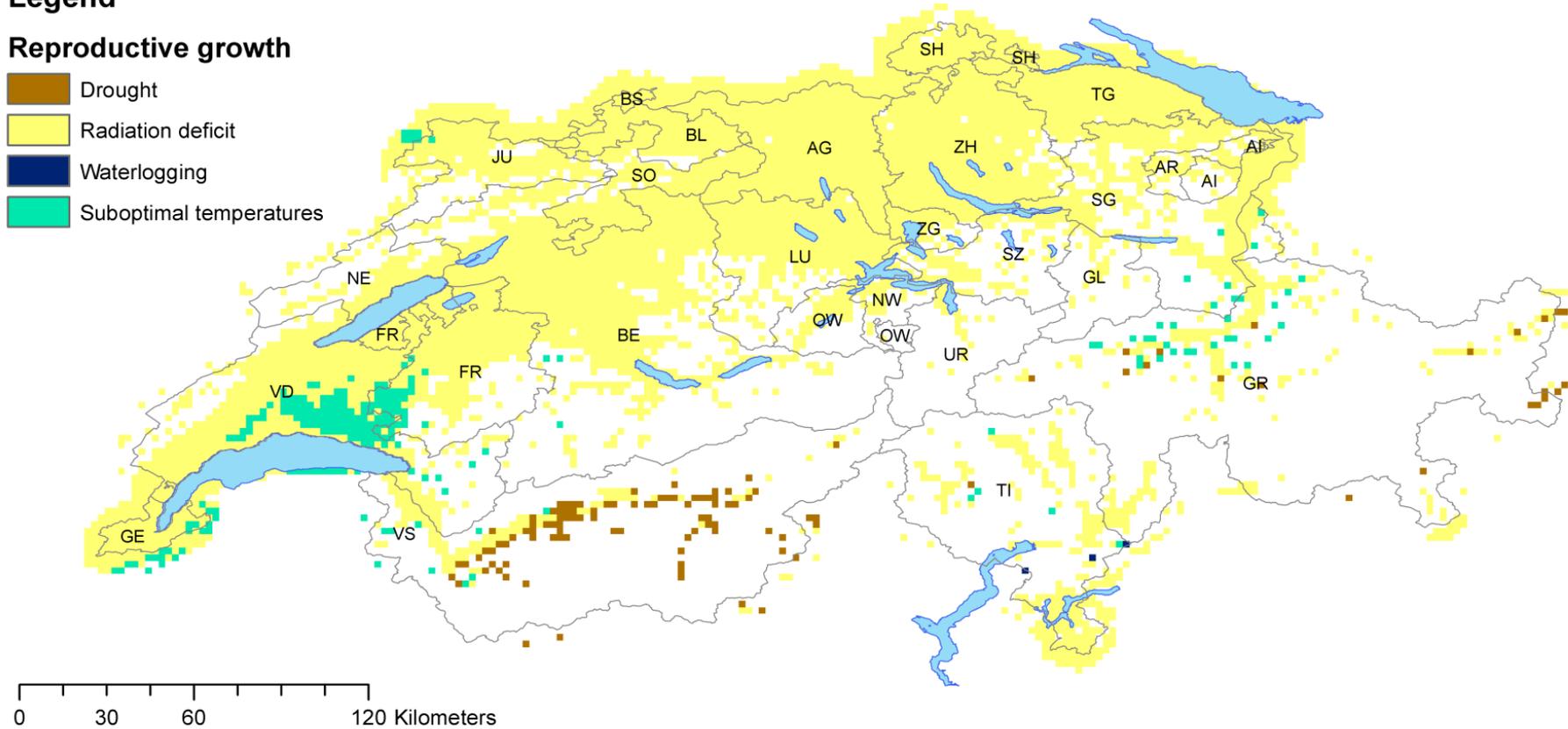
...pendant la phase reproductive (floraison)



## Legend

### Reproductive growth

-  Drought
-  Radiation deficit
-  Waterlogging
-  Suboptimal temperatures



# Facteur le plus fréquemment limitant

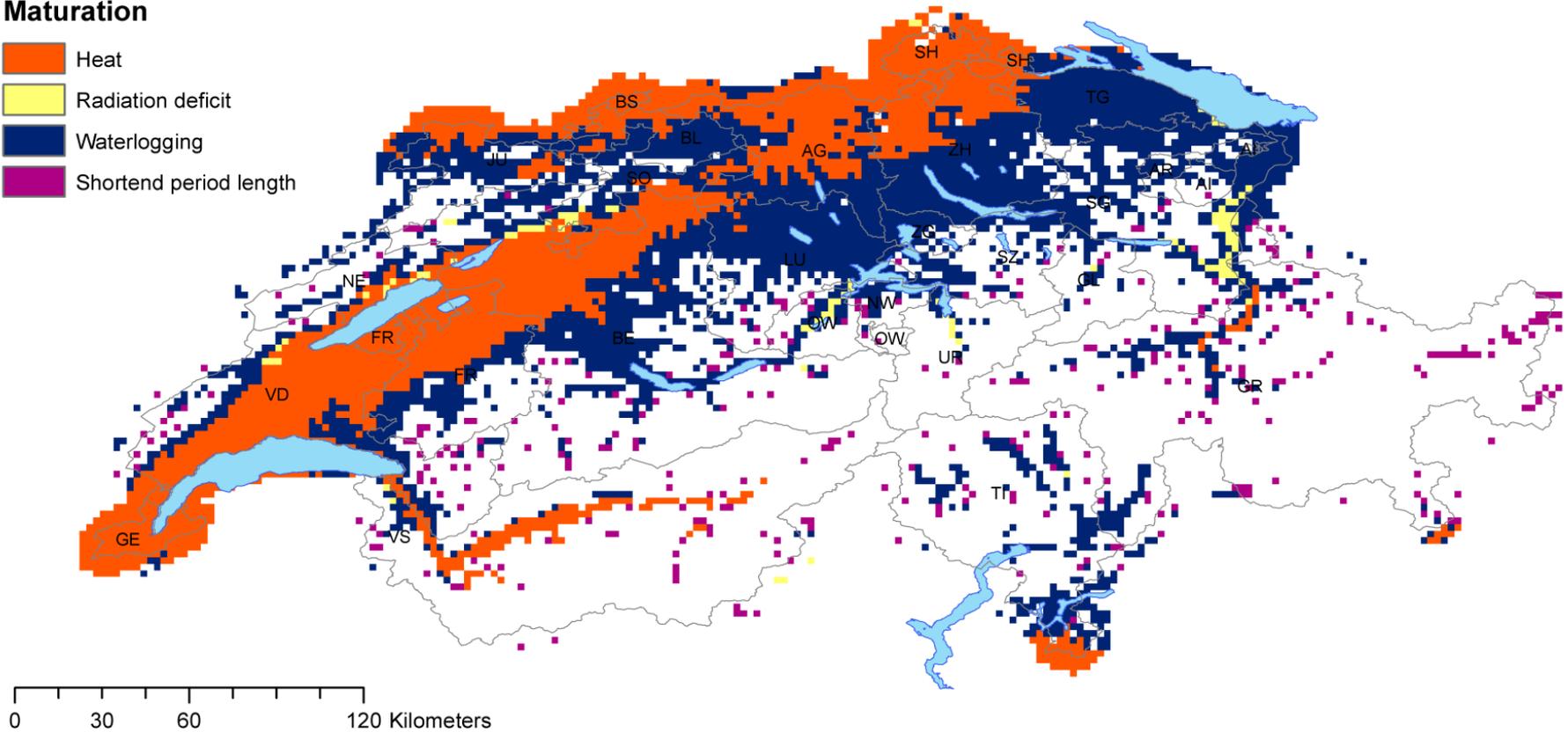
...pendant la maturation (croissance du grain)



## Legend

### Maturation

-  Heat
-  Radiation deficit
-  Waterlogging
-  Shortend period length





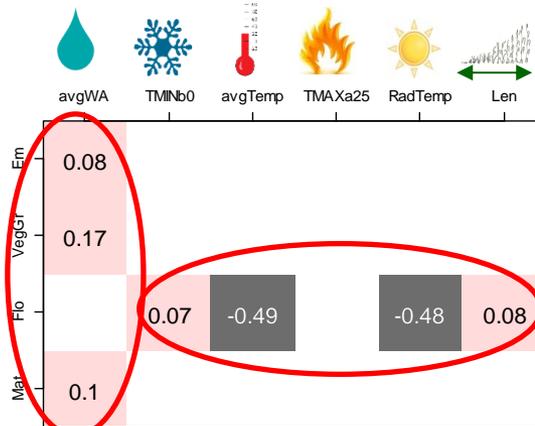
# Limitation locale blé d'hiver



Changins

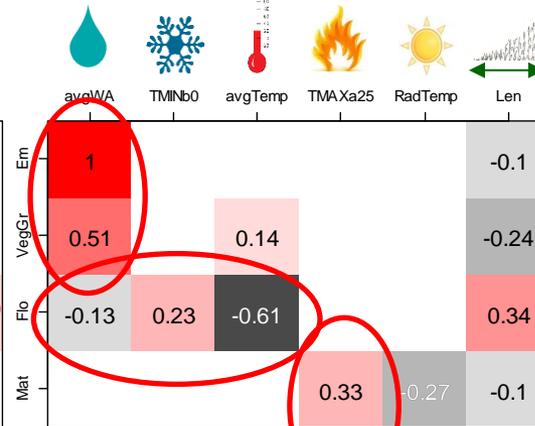


## Limitation 1987/1988



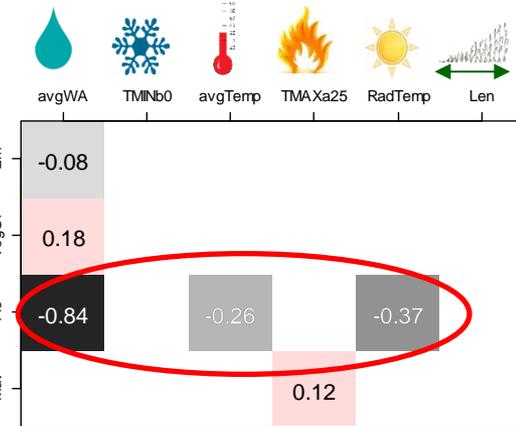
Année humide, froide et peu lumineuse autour de la floraison

## Limitation 2002/03

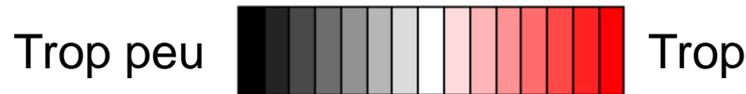


Année très humide au début, fraîche et sèche au printemps, les grosses chaleurs de 2003 arrivent tardivement pour le blé

## Limitation 2010/11



Printemps très sec, frais et avec de faibles radiations





# Résumé des résultats



- Pour les 27 dernières années le facteur le plus fréquemment limitant...
  - Excès d'eau, à la levée, pendant la croissance végétative et à maturité
  - Déficit de radiation à la floraison (croissance reproductive) (déficit particulièrement fort en 2013)
  - Stress thermique pendant la maturité
  - Sec au début et à la floraison en Valais
  - Stress de gel pendant la croissance végétative dans les lieux élevés (pas de prise en considération de la couverture neigeuse)



# Sur la méthode...

## Limites

- Imprécision, certains facteurs ne sont pas pris en compte (p.ex. grêle, couverture neigeuse)
- Pas de caractéristiques du sol
- Résolution à 2 km

## Potentiels

- Evaluation régionale
- Multiples possibilités d'analyses (p.ex scénarios climatiques)
- Transparent et flexible → facilement élargissable
- La comparaison avec les rendements réels augmentent l'objectivité



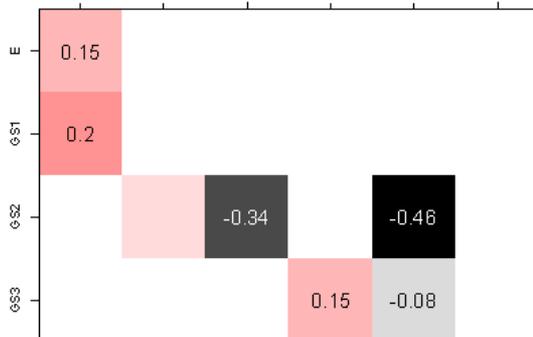
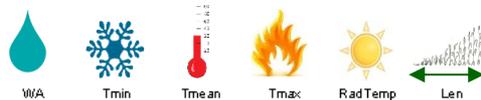
# Limitation locale blé d'hiver



Changins

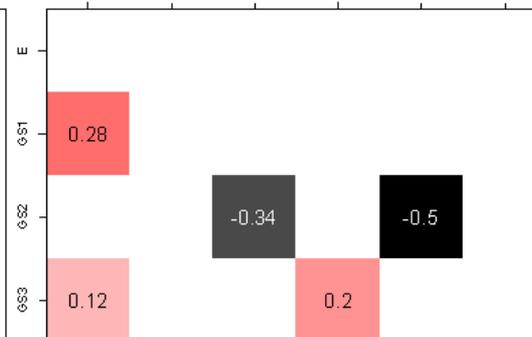


## Limitation moyenne 1981 à 2012



Souvent des automnes humides, en début de végétations un printemps frais et peu lumineux, un peu trop chaud en été

## Limitation 2013



Un peu trop humide au début de la croissance végétative, phase fraîche et peu lumineuse, maturation en conditions humides et chaudes

9 mars – 27 mai

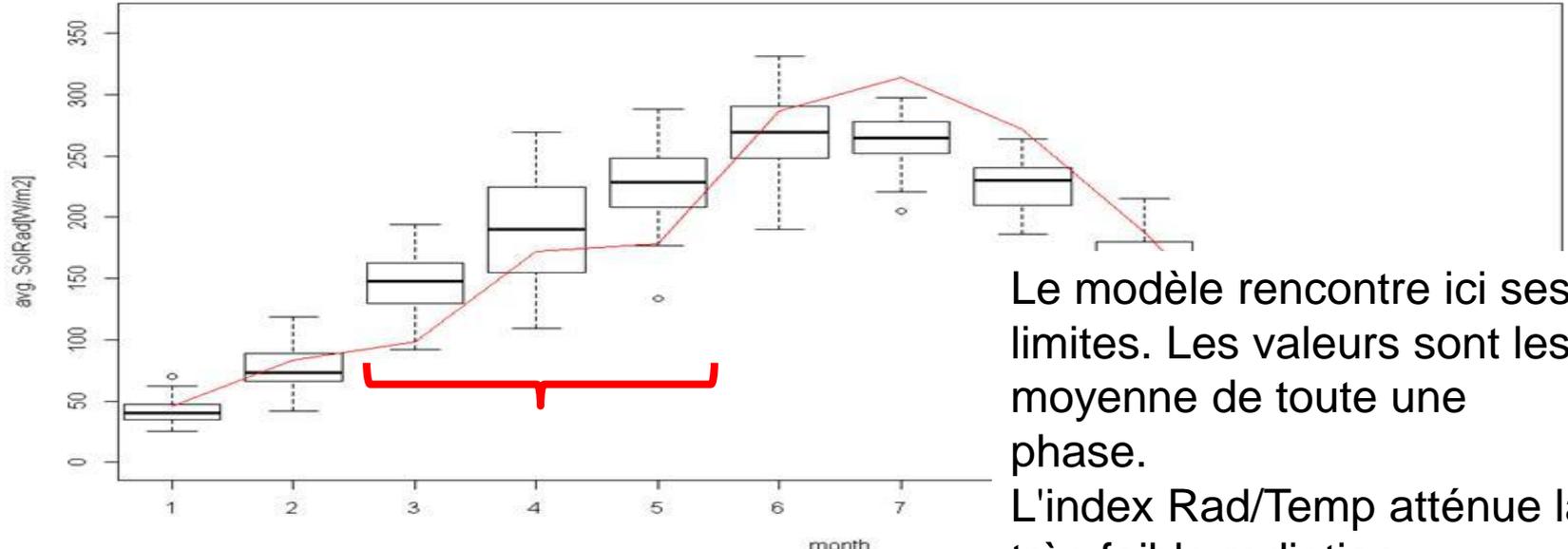
Trop peu



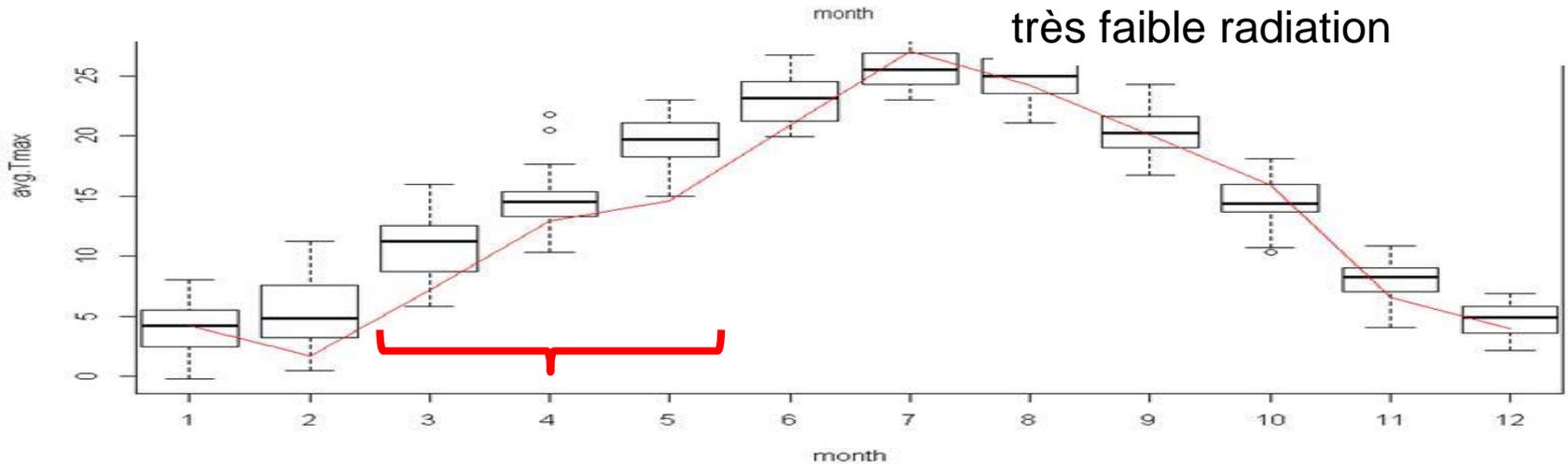
Trop



# Limitation locale blé d'hiver



Le modèle rencontre ici ses limites. Les valeurs sont les moyennes de toute une phase.  
L'index Rad/Temp atténue la très faible radiation





# Futur...

## Autres espèces

- Cartes réalisées pour le maïs et le blé d'hiver
- Futur: pommes de terre, colza, ...

## Autres développements et applications

- Etude réalisée en se basant sur les rendements
- Futur: à tester sur la qualité (huiles, protéines)
- Futur: intégrer le sol
- Futur: intégrer les accidents climatiques (grêle, orages)
- Outils diagnostique et pronostique



# Tendances climatiques

- Observations 1955-1980 par rapport à 1981-2005
- Scénarios pour 2070-2100 (sans hypothèses CO<sub>2</sub>)
  - Influence liées au lieu:
    - Faibles pour les régions océaniques, Nord de la France
    - Plus fortes à l'Est
- Déplacement des stades phénologiques

	1981 - 2005	2070-2100
E1C	-1 semaine	-25-30 jours
épiaison	-1 semaine	-15-20 jours
récolte	-10 jours	-16 jours



# Tendances climatiques

- Plus de risques de sécheresse pendant la montaison → ↓ **NG2**
- Plus de risques de température élevées pendant la croissance du grain (malgré un avancement du stade)
  - De 5 (à 11) jours à 8 (jusqu'à 16) jours avec des températures  $>25^{\circ}\text{C}$  → ↓ **PMG**
- Plus de risques de sécheresse après épiaison → ↓ **PMG**
  - 2-3g les bonnes années; 3-4g les mauvaises années
  - 1g=1.5 à 2 dt/ha de perte
- Plus de risque de verse après montaison
  - Plus de tallage, minéralisation précoce, montaison pendant les jours courts
- Plus de grêle (?)



# Tendances climatiques

- Moins de risques de gel au stade E1C
  - → semis plus précoces possibles,
  - Mais plus de risques sanitaires (Virus)
- Moins de gel hivernaux,
  - mais endurcissement plus difficile



- Nouveaux **idéotypes** (choix variétal et sélection), il faut **augmenter**:
  - La fertilité (NG2)
  - Le PMG (à tendance à être plus stable)
  - La résistance aux virus et maladies automnales
  - La précocité à l'épiaison, mais de type hiver



# Tendances climatiques



- Techniques culturales
  - Méthodes économes en eau (TCS)
  - Semis profonds et précoces
  - Cultures intercalaires (légumineuses) avant les semis de printemps
  - Fumures azotée de précision avec l'appui de pronostiques climatiques pendant la durée de végétation
- Différents types variétaux (répartition des risques)
- Différentes espèces (orge - blé)



# Variétés et précocité

## Alternativité

A maturité

	très hiver	hiver	hiver à ½ hiver	½ hiver	½ hiver à ½ alternatif	½ alternatif	printemps
tardif	Eiger Ramosa			Lorenzo			
mi-tardif	Obelisk	Apollo Camino Tamaro	Titlis	Forel	Runal		Remia
moyen	Bernina	Arbola Levis Titlis Arina Papageno		Siala Molinera	Ludwig		
mi- précoce			CH Combin CH Nara	<i>Thésée</i> Boval Simano			Lona
précoce		Forno Galaxie Muveran	CH Claro Soissons Tremie	Apache			
très précoce	cv Chinois			Recital			Greina

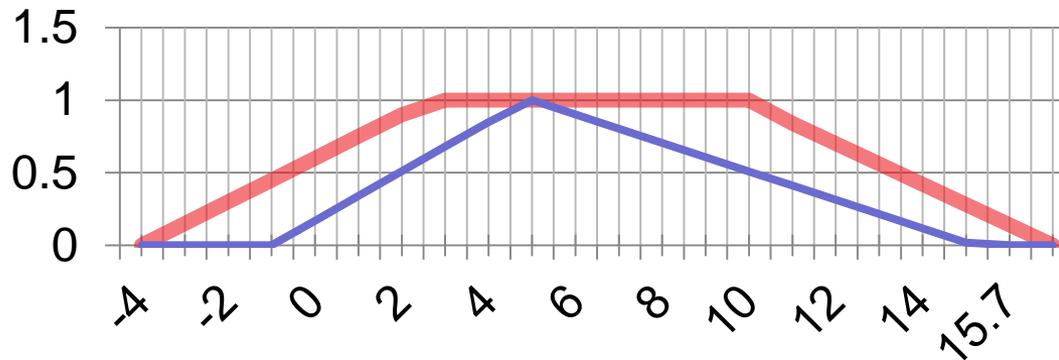
D. Fossati et al.



# Vernalisation

- Les températures journalières vernalisantes:  
[ 3°C à 10°C ]  
ou temp min -1.3°C, optimum 4.9°C, max 15.7°C

Température moyenne journalière



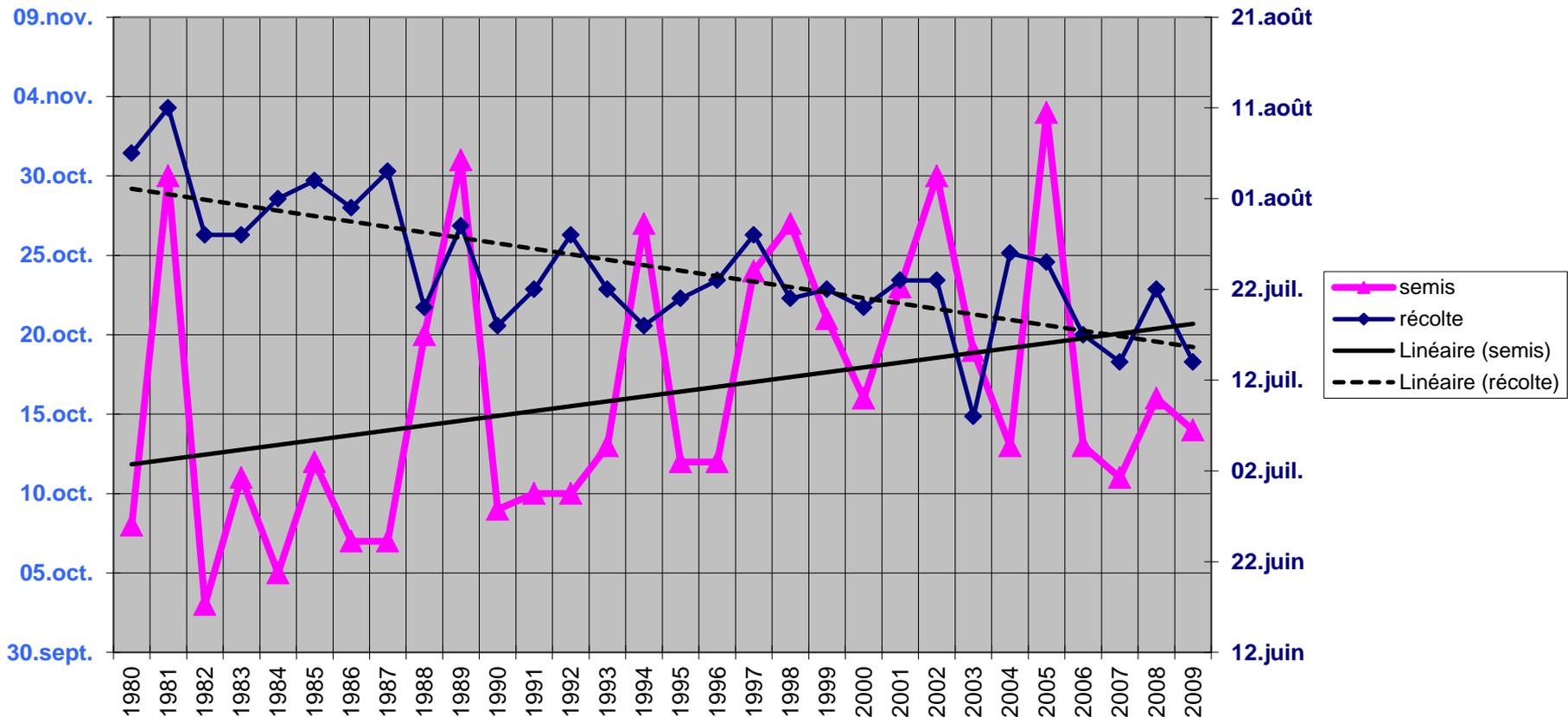
Besoin variétale	Nb de jours vernalisants cumulés
Fort (très hiver)	50
Modéré (demi hiver)	30
Faible (alternative)	20
Nul (printemps)	0



# Expériences en Suisse & sélection

- Dates de récoltes plus précoces

## Blés d'hiver – Changins





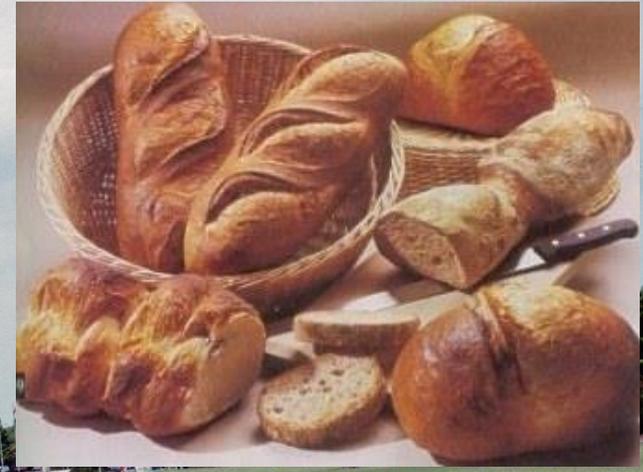
# Expériences en Suisse & sélection

- Sélection(1)
  - Lieu « Changins » (chaud & sec)
  - Lieu « Vouvry » (hiver froid & été chaud, sol humide)
  - Programme de sélection printemps,
  - Variétés déjà sous d'autres latitudes (5 continents, de la Suède à la Nouvelle-Zélande)
- Croisements
  - Blé d'automne x Blé de printemps
  - Blé synthétique
  - Croisements exotiques avec des blés chinois (très hiver, mais très précoce)



# Expériences en Suisse & sélection

- Sélection (2)
  - Nouvelles Observations
    - Symptômes de sécheresses (feuilles enroulées)
    - Températures foliaires (difficiles à mesurer, méthodes à développer...)
    - Index foliaire intégré pendant la croissance du grain
    - Autres mesures multispectrales
    - SAM (event.)
    - Delta C<sup>13</sup>
    - ...



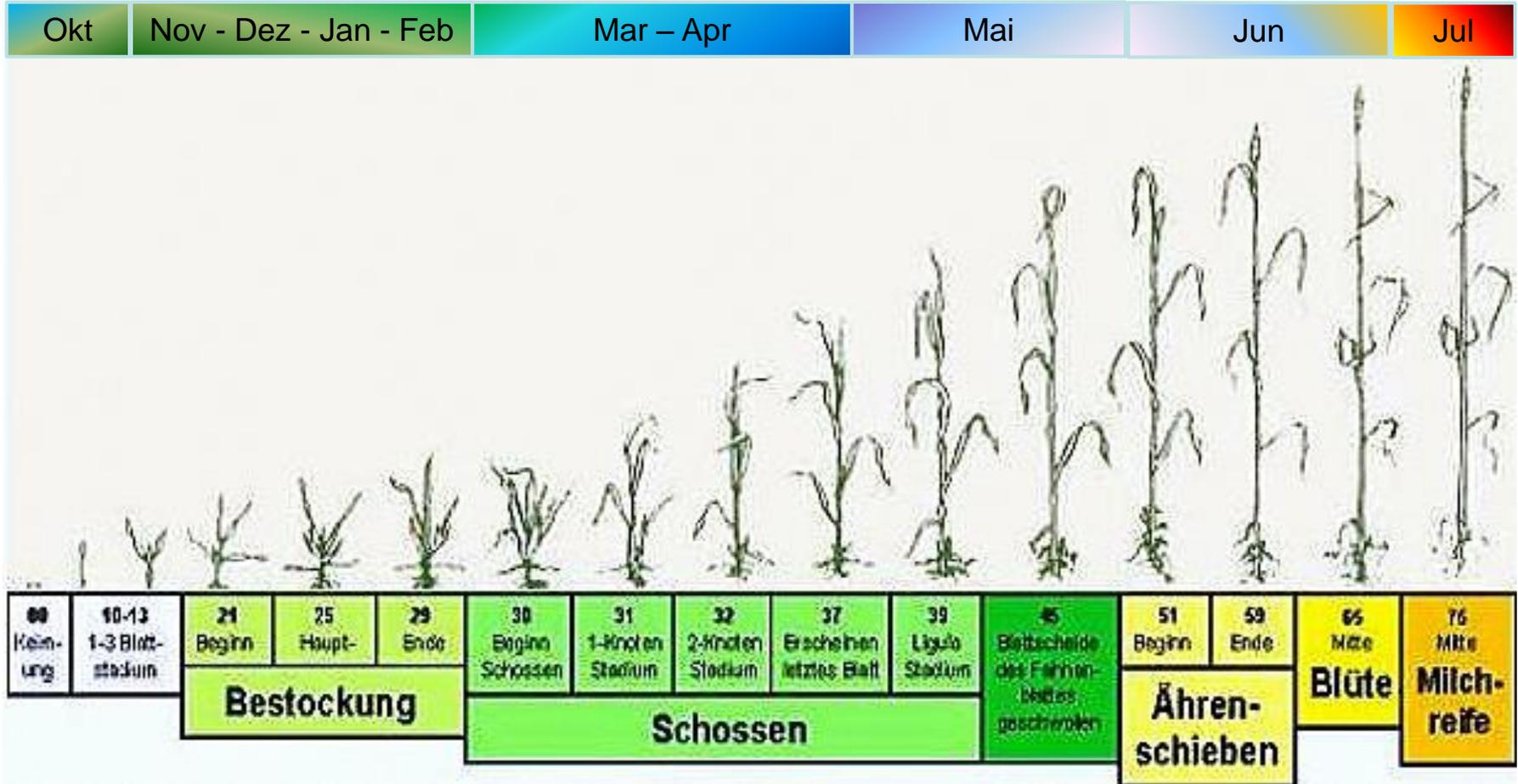
**Merci pour votre attention**



**Sélectionner pour l'excellence, du grain au pain**

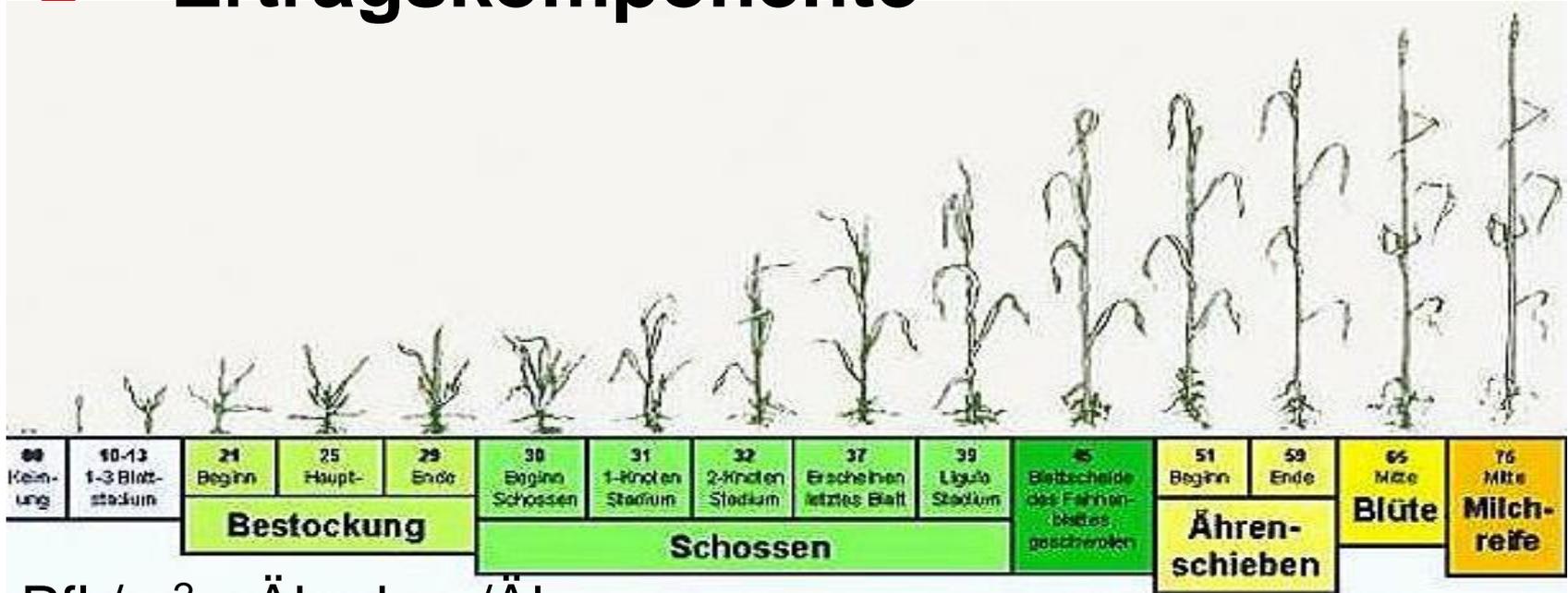
# Ertragskomponente - Ertragsbildung

## Entwicklungsstadien des Getreides





# Ertragskomponente



Pfl./m<sup>2</sup>    Ährchen/Ähre

Ähre/Pflanzen

Körner/Ährchen

Körner/m<sup>2</sup> NG2

Ertrag

TKG



Korn

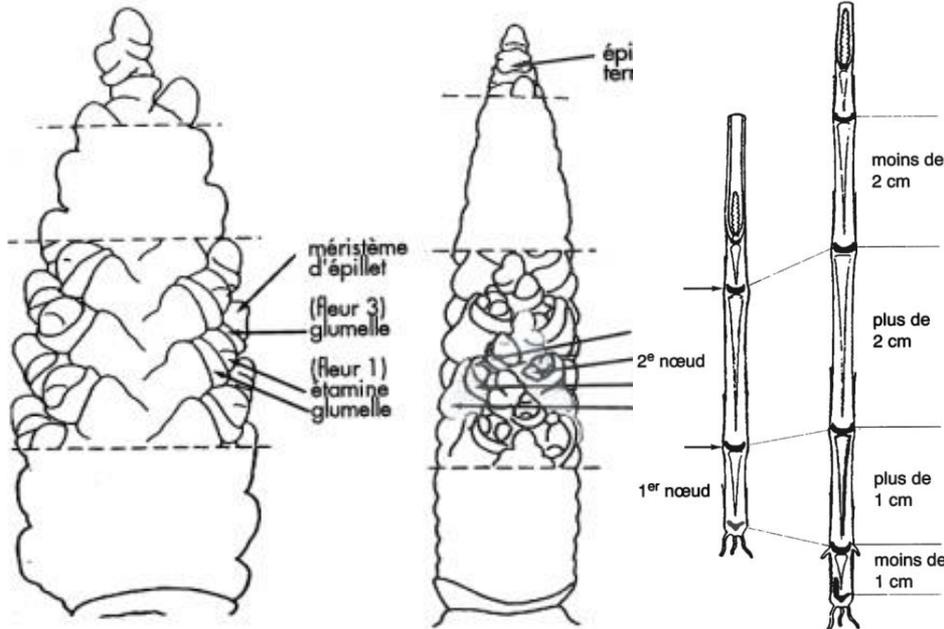
Blüte ↑

Blüte †

Korn ↑

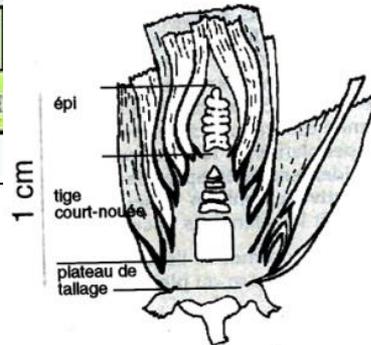
Ährchen ↑

Blatt ↑ Triebe ↑

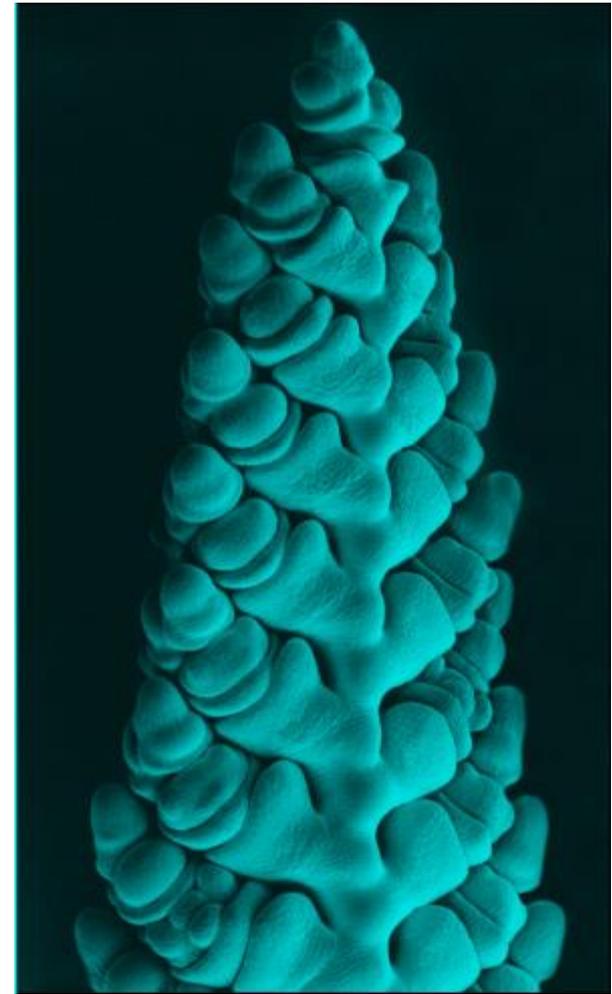
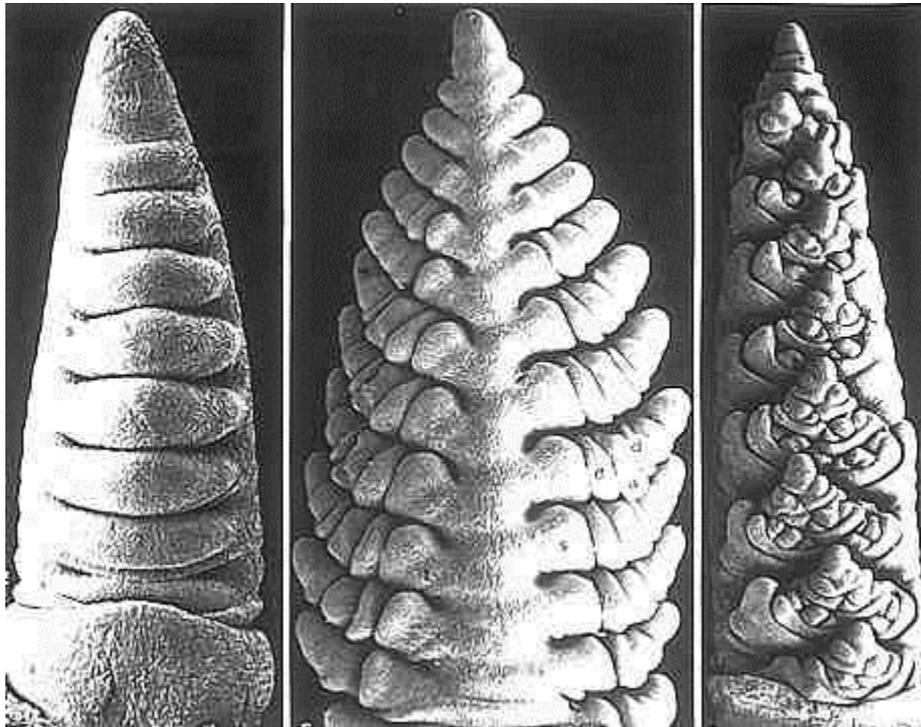
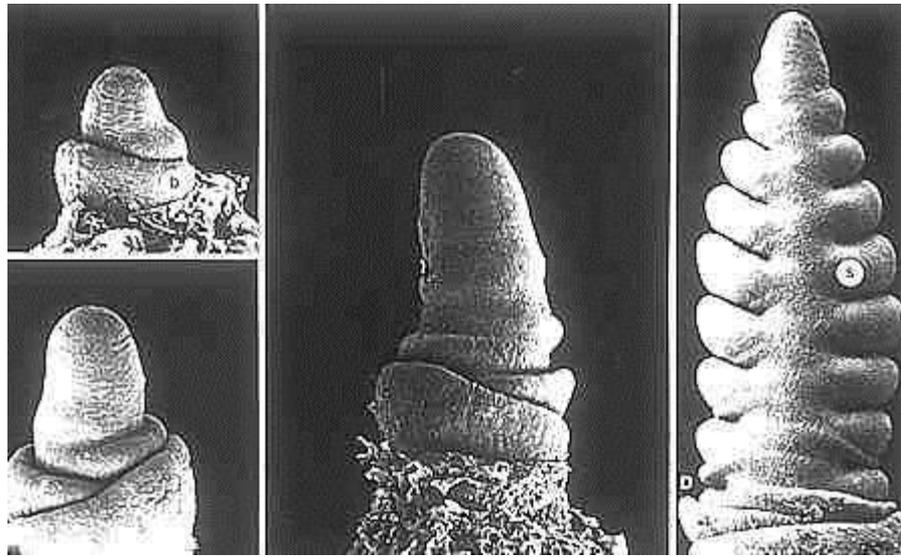


00	10-13	24	25
Keim- lung	1-3 Blatt- stadium	Beginn	Haupt- stadium
<b>Bestocku</b>			

37	39	45	51	59	65	76
Erreichen letztes Blatt	Ligula Stadium	Blattscheide des Fähr- blattes geschwollen	Beginn	Ende	Mitte	Mitte
<b>ssen</b>			<b>Ähren- schieben</b>		<b>Blüte</b>	<b>Milch- reife</b>



Blé & Climat  
D. Fossati et al.



S. J. Pogson et al.



# Entwicklungsstadien

Stadium	BBCH	Regel Temp. Summe (Basis 0°C)	Bemerkung
Keimung-Auflaufen	10	150°C.j	(Ende Oktober)
2-3 Blatt-Stadium	12-13	~100°Cj -110°Cj pro Blatt 2 Blatt = 150°Cj + 100°Cj 3 Blatt = 150°Cj + 200°Cj	Je später die Saat, je kürzer der «Phyllotherm» (zwischen 110°C und 80°C)
Anfang Bestockung 3 – 5 Blatt Stadium	21	400°Cj	Ende Dezember - Anfang März
Mitte Bestockung	25	550-650°Cj	Februar – März
„Ähre 1 cm“ (E1C)	30	650°Cj - 1250°Cj	f(Vernalisation, Tageslänge, Temperatursumme, G); 15 März - 10 April



# Entwicklungsstadien

Stadium	BBCH	Regel Temp. Summe (Basis 0°C)	Bemerkung
1-2 Knoten	31-32	E1C + 250°Cj	Ende April – Anfang Mai
<b>Meiose</b> Erscheinen des letzten Blattes (Fahnenblatt)	37-39	Ährenschieben – 85 bis 190°Cj, 8-15 Tage 1-2 Knoten + 350°Cj (300 bis 450°Cj)	Ende April – Anfang Mai
Mitte des <b>Ährenschiebens</b>	55	~1200 bis 1900°C nach Saat	18. Mai bis 5. Juni (Changins)
Mitte der <b>Blüte</b>	65	4 bis 15 Tage nach Ährenschieben 145°Cj nach Ährenschieben	



# Entwicklungsstadien

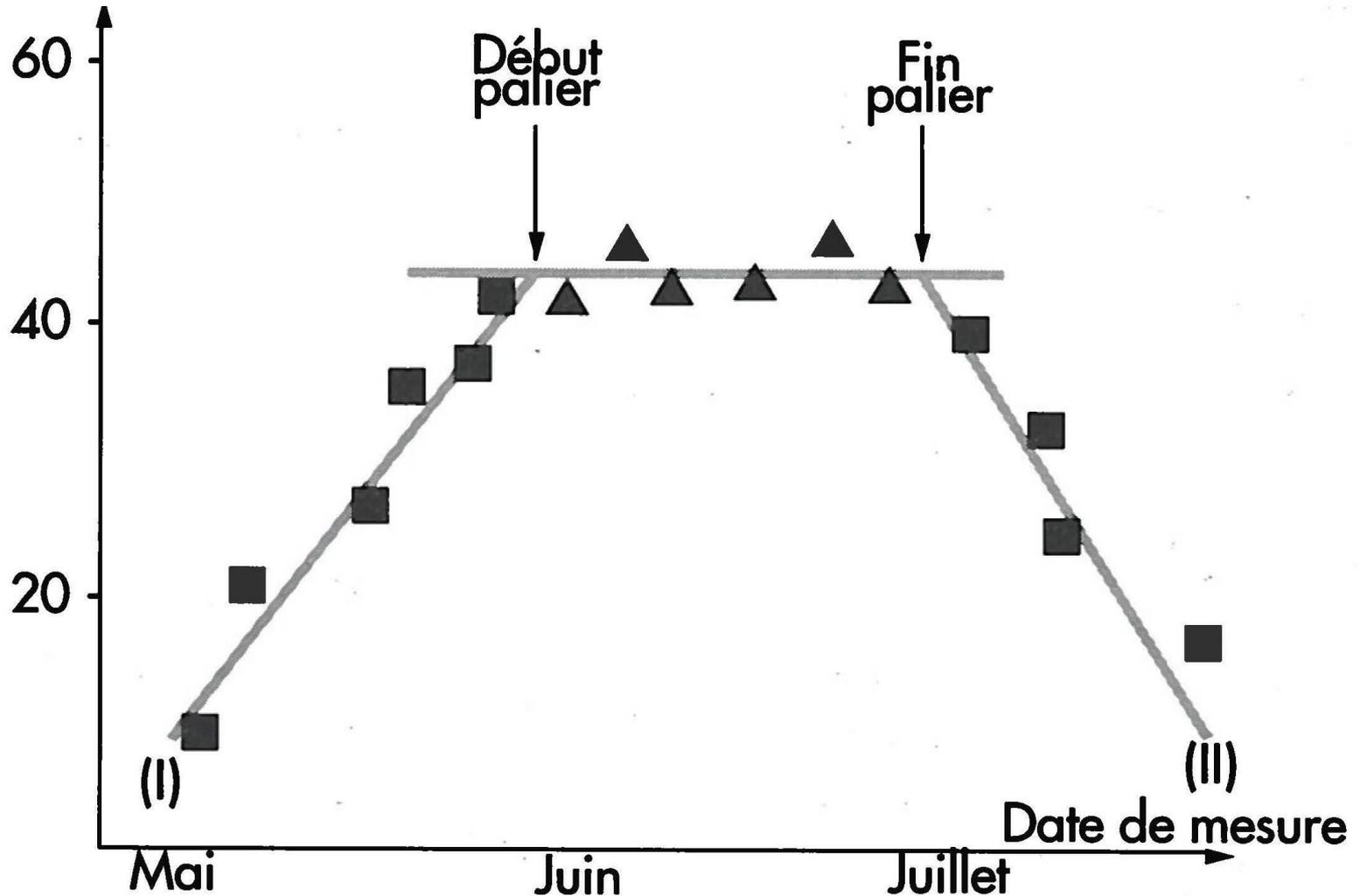
Stadium	BBCH	Regel Temp. Summe (Basis 0°C)	Bemerkung
Erste Körner haben die Hälfte ihrer endgültigen Größe erreicht: Korninhalt wässrig	71		Mitte Juni
Mitte <b>Milchreife</b>	75	430°Cj nach Ährenschieben	66.5% H <sub>2</sub> O
<b>Teigreife</b>	85	720-750°Cj nach Ährenschieben	43.5% H <sub>2</sub> O Ende der „Palier Hydrique“
Physiologische Reife (Gelb)	91	750-800°Cj nach Ährenschieben	40% H <sub>2</sub> O Trocknung Phase
Totreife	92		15% H <sub>2</sub> O Mitte Juli



# Entwicklungsstadien

## Dynamik der Wassermasse während der Kornausreifung

Wassermasse (g)





# Entwicklungsstadien

Stadium	BBCH	Regel Temp. Summe (Basis 0°C)	Bemerkung
Erste Körner haben die Hälfte ihrer endgültigen Größe erreicht: Korninhalt wässrig	71		Mitte Juni
Mitte <b>Milchreife</b>	75	430°Cj nach Ährenschieben	66.5% H <sub>2</sub> O
<b>Teigreife</b>	85	720-750°Cj nach Ährenschieben	43.5% H <sub>2</sub> O Ende der „Palier Hydrique“
Physiologische Reife (Gelb)	91	750-800°Cj nach Ährenschieben	40% H <sub>2</sub> O Trocknung Phase
Totreife	92		15% H <sub>2</sub> O Mitte Juli