



Sélection du blé et risques climatiques

Plus de 125 ans de sélection du blé en Suisse romande

Dario Fossati
PAG 2025





Plan

1. Les défis de la sélection, définir les objectifs
2. Stades de développements du blés et risques climatiques
3. Quelle variabilité génétique ? → sélection possible ?
4. Et en 2024, que s'est-il passé ?
5. Futur ?
6. Conclusions





Les défis de la sélection

1. Définir des objectifs de sélection pertinents

Prévoir l'avenir à une échéance d'au moins 10-15 ans (pour le blé) !

2. Avoir accès à une grande diversité génétique, l'explorer ou la créer

3. Utiliser tous les outils techniques existants et efficaces

4. Gérer les moyens à disposition

5. Trouver les meilleurs accès aux marchés

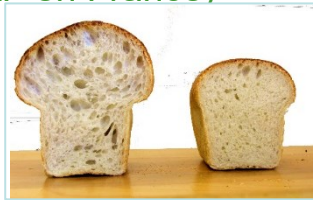


Les défis de la sélection

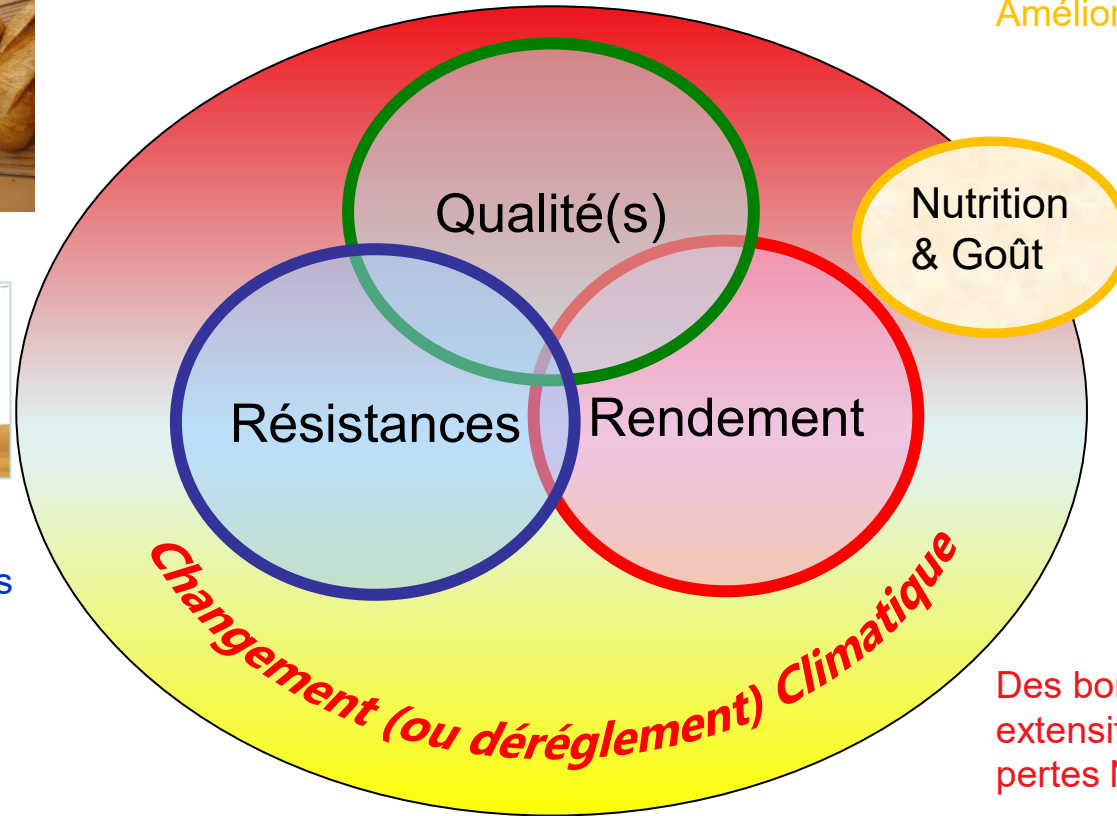
1. Définir des objectifs de sélection pertinents



Leader en Suisse pour les qualités Top et 1 (30% des cv BAF en France)



Résistances suffisantes pour la culture en « extenso » dans 85% des situations (helvétiques), actuel



Amélioration des valeurs nutritives



Des bons rendements même en extensif (~130 UN/ha) moins de pertes N (BNI wheat)





Les défis de la sélection

1. La définition des objectifs de sélection dépend de l'environnement (au sens large) prévus dans ~15 ans :

Parmi les multiples éléments à prendre en considération, beaucoup sont sous l'influence du **climat**:

- Lieux ?, Fertilité du sol ?
- Intrants utilisables (herbicides, fongicides, traitements des semences, ...) ?
- Techniques culturales (**dates et type de semis possibles** ?, extenso – bio – PER ?, mécanisation, No-till, TCS, agroforesterie, utilisation de robots, ...) ?
- **Maladies et ravageurs actuels et futurs** ?
- Besoins des transformateurs (meunerie, boulangerie) et des consommateurs ?
 - Quelles qualités sont souhaitées ?,
 - **Impact du climat sur la stabilité de la qualité !**
- Substitutions possibles

Il faut connaître les risques abiotiques les plus fréquents, les plus risqués !



Aptitude climatiques à la culture du blé d'hiver

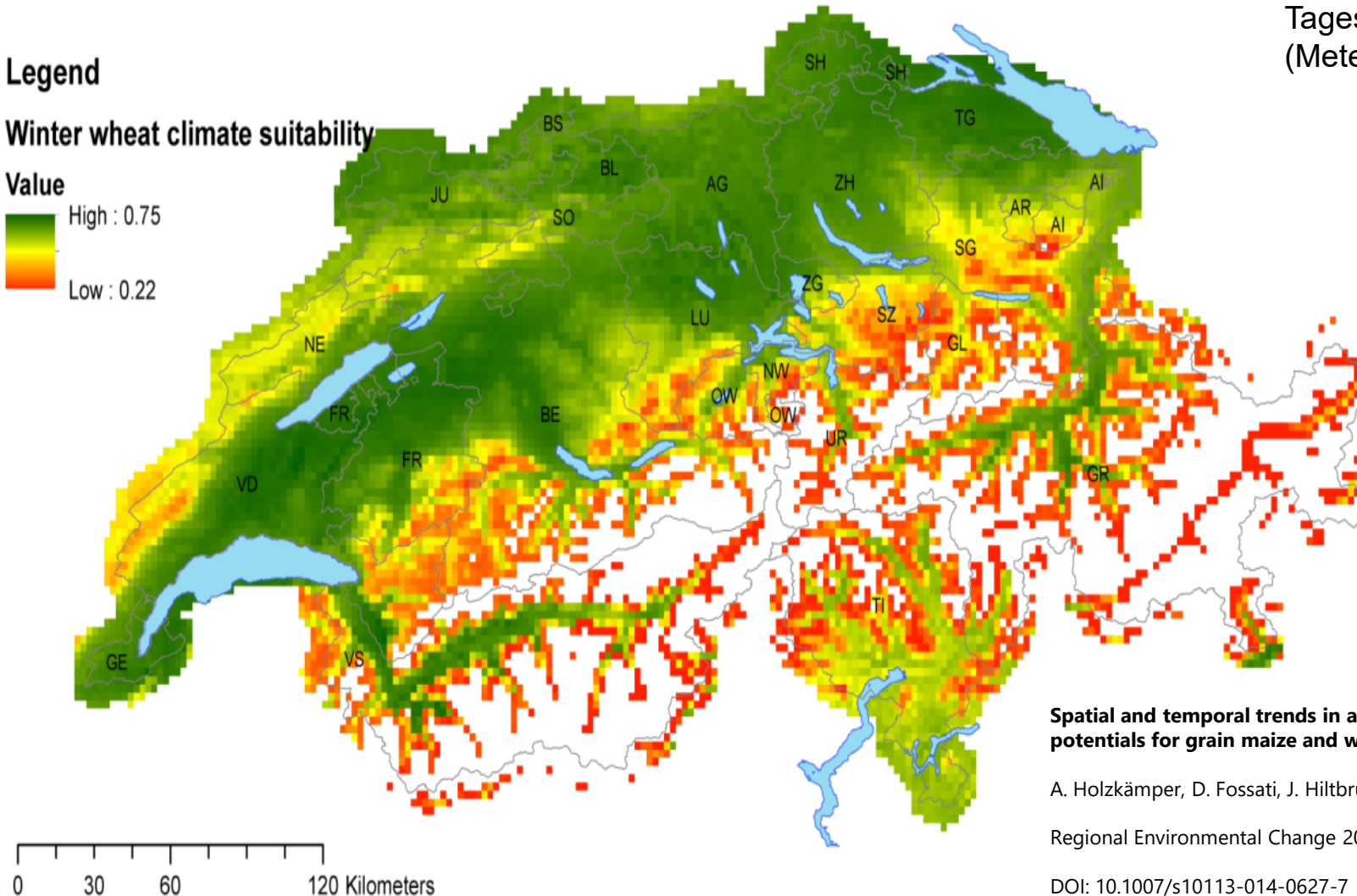
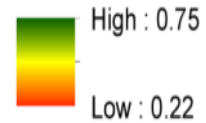
Sur la moyenne 1984-2010

Berechnung basierend auf
interpolierten
Tagestemperaturen
(MeteoSchweiz 2012)

Legend

Winter wheat climate suitability

Value



Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland

A. Holzkämper, D. Fossati, J. Hiltbrunner and J. Fuhrer

Regional Environmental Change 2015 Vol. 15 Issue 1 Pages 109-122

DOI: 10.1007/s10113-014-0627-7



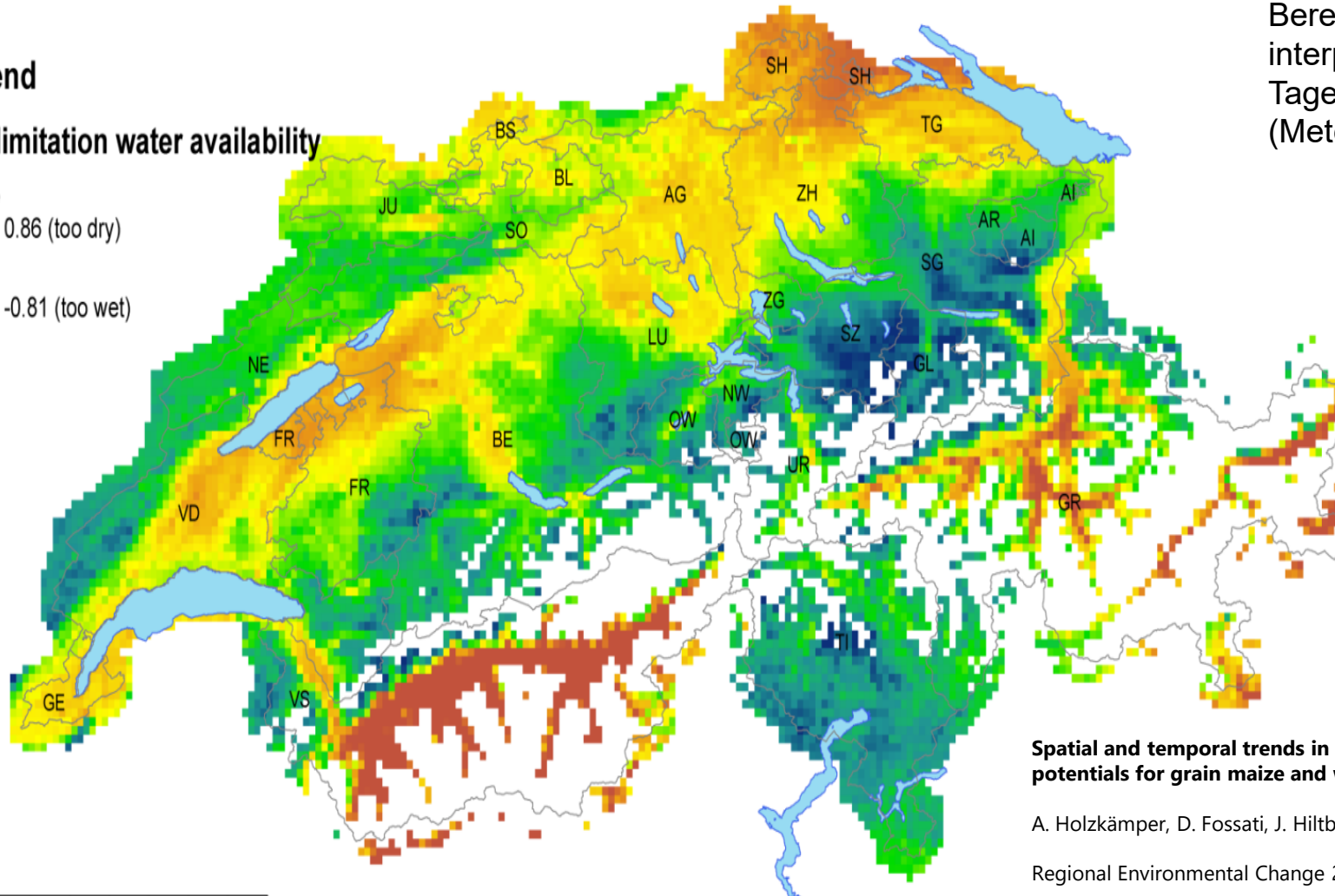
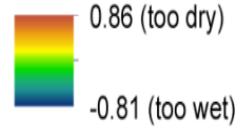
Facteurs limitants

...manque d'eau

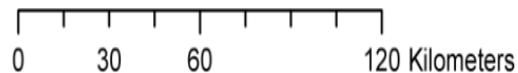
Legend

WW limitation water availability

Value



Berechnung basierend auf interpolierten Tagestemperaturen (MeteoSchweiz 2012)



Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland

A. Holzkämper, D. Fossati, J. Hiltbrunner and J. Fuhrer

Regional Environmental Change 2015 Vol. 15 Issue 1 Pages 109-122

DOI: 10.1007/s10113-014-0627-7



Facteur limitant le plus fréquent

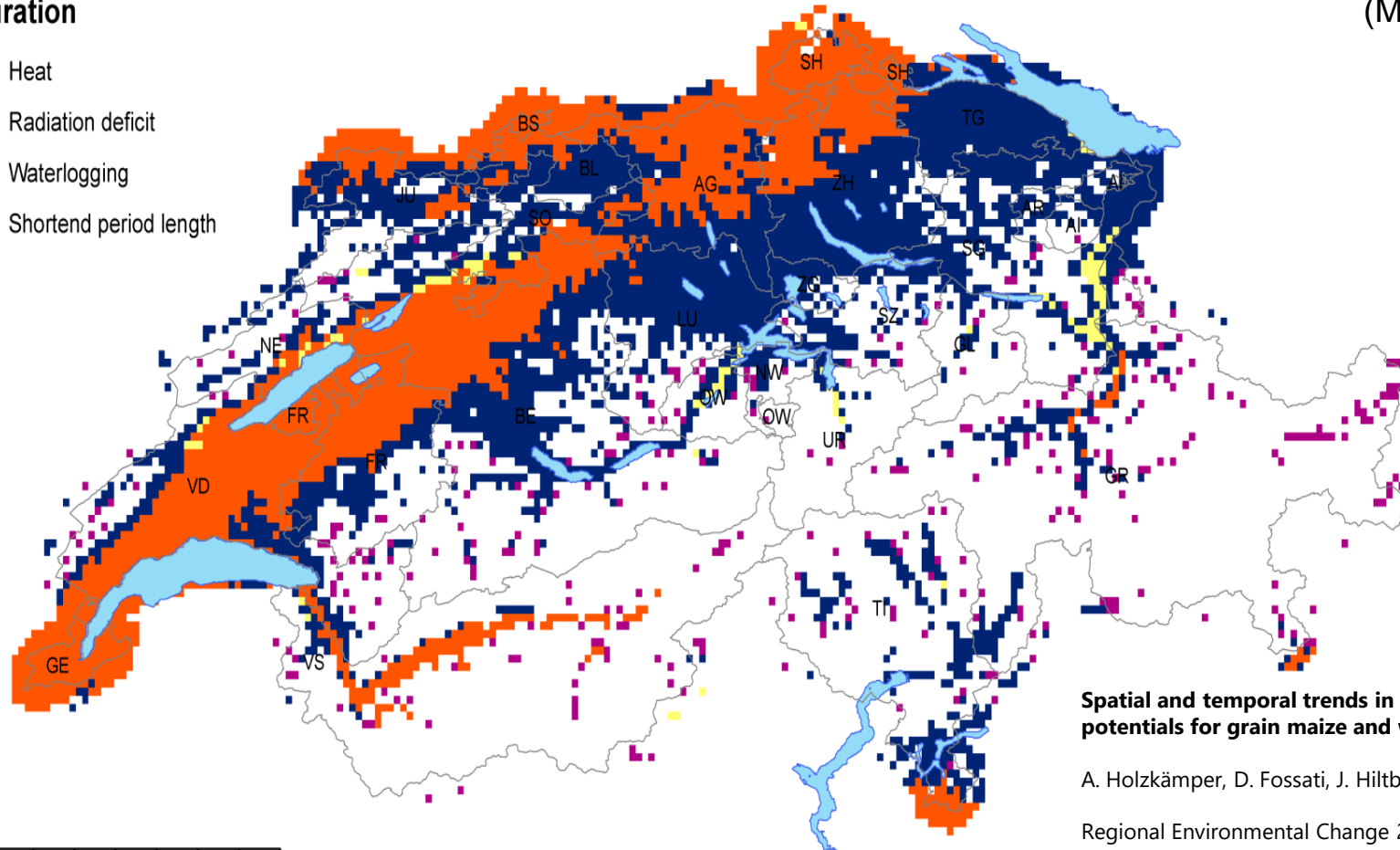
...pendant la phase de maturité

Legend

Maturation

- Heat
- Radiation deficit
- Waterlogging
- Shortend period length

Berechnung basierend auf interpolierten Tagestemperaturen (MeteoSchweiz 2012)



Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland

A. Holzkämper, D. Fossati, J. Hiltbrunner and J. Fuhrer

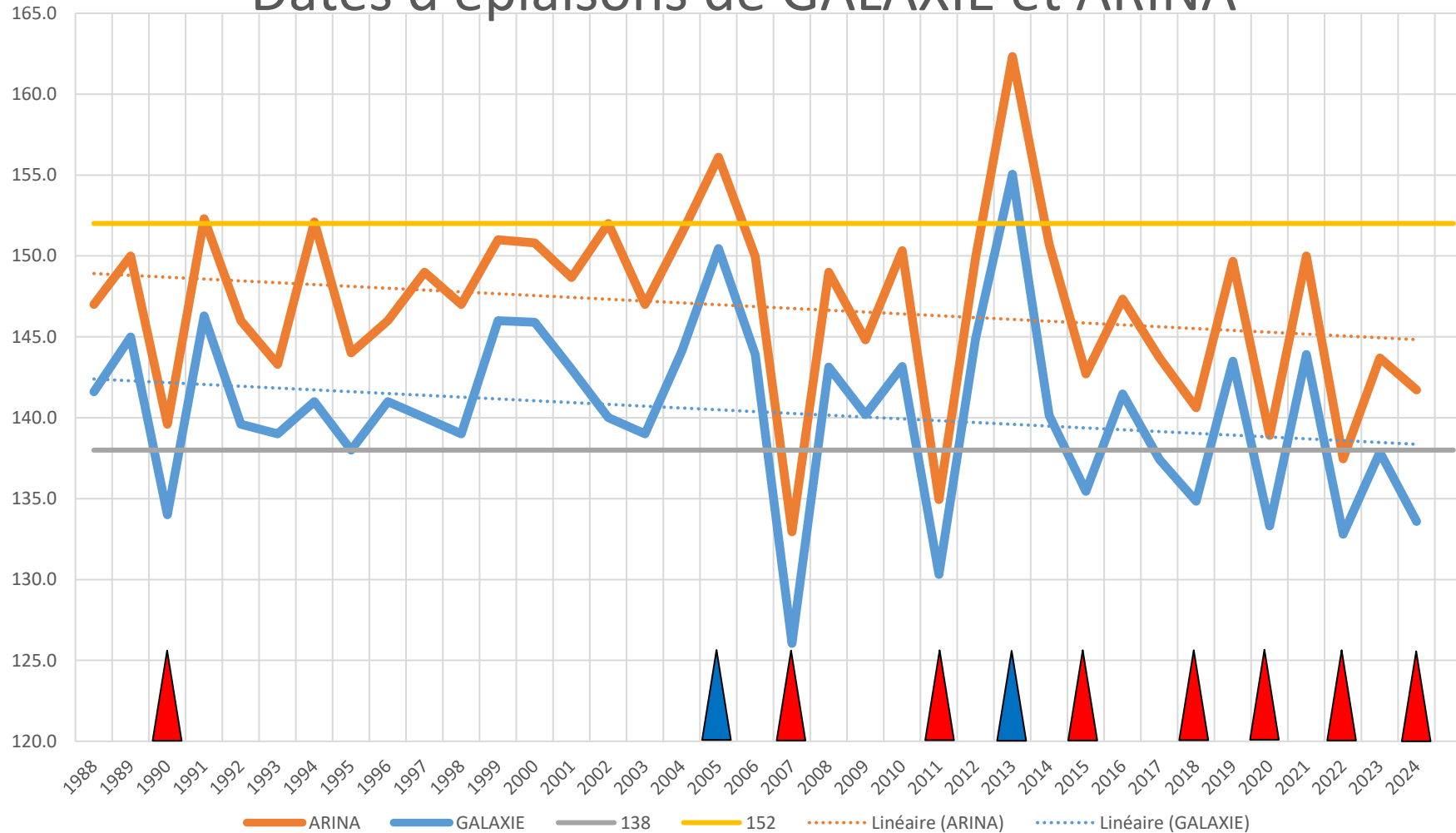
Regional Environmental Change 2015 Vol. 15 Issue 1 Pages 109-122

DOI: 10.1007/s10113-014-0627-7



Evolution climatique

Dates d'épiaisons de GALAXIE et ARINA



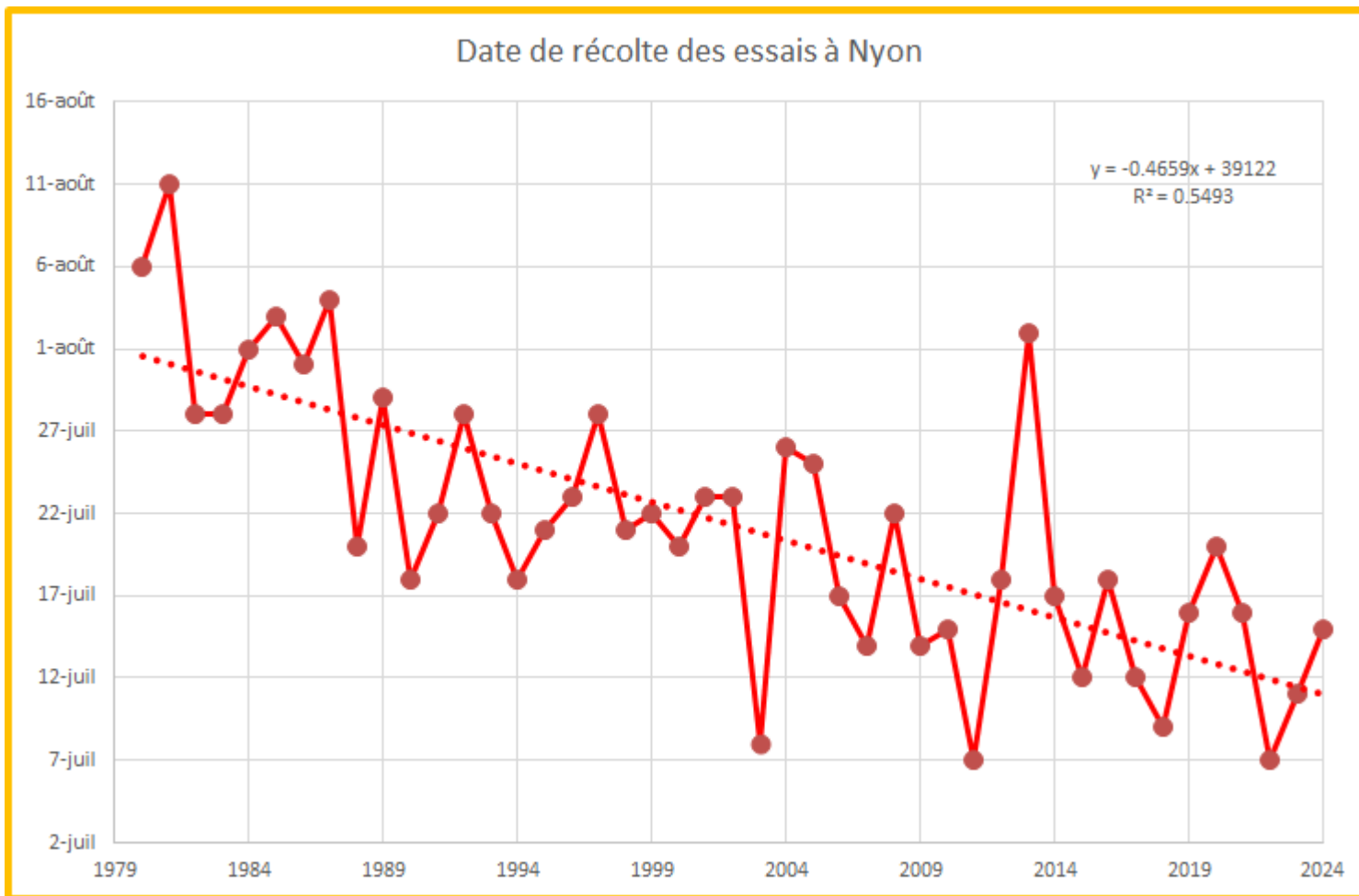
En moyenne les dates d'épiaison sont 4 jours plus précoces qu'en 1988



Evolution climatique

Récoltes plus précoces
d'environ :
Env. - 1/2 jour par an (0.47j) !!!

soit - 21 jours en 45 ans



Evolution climatique

Malgré des arrivées aux stades bien plus précoces, la fréquence de jours de stress thermiques ($T_{max} \geq 30\text{ °C}$) entre floraison et fin remplissage du grain passera de :

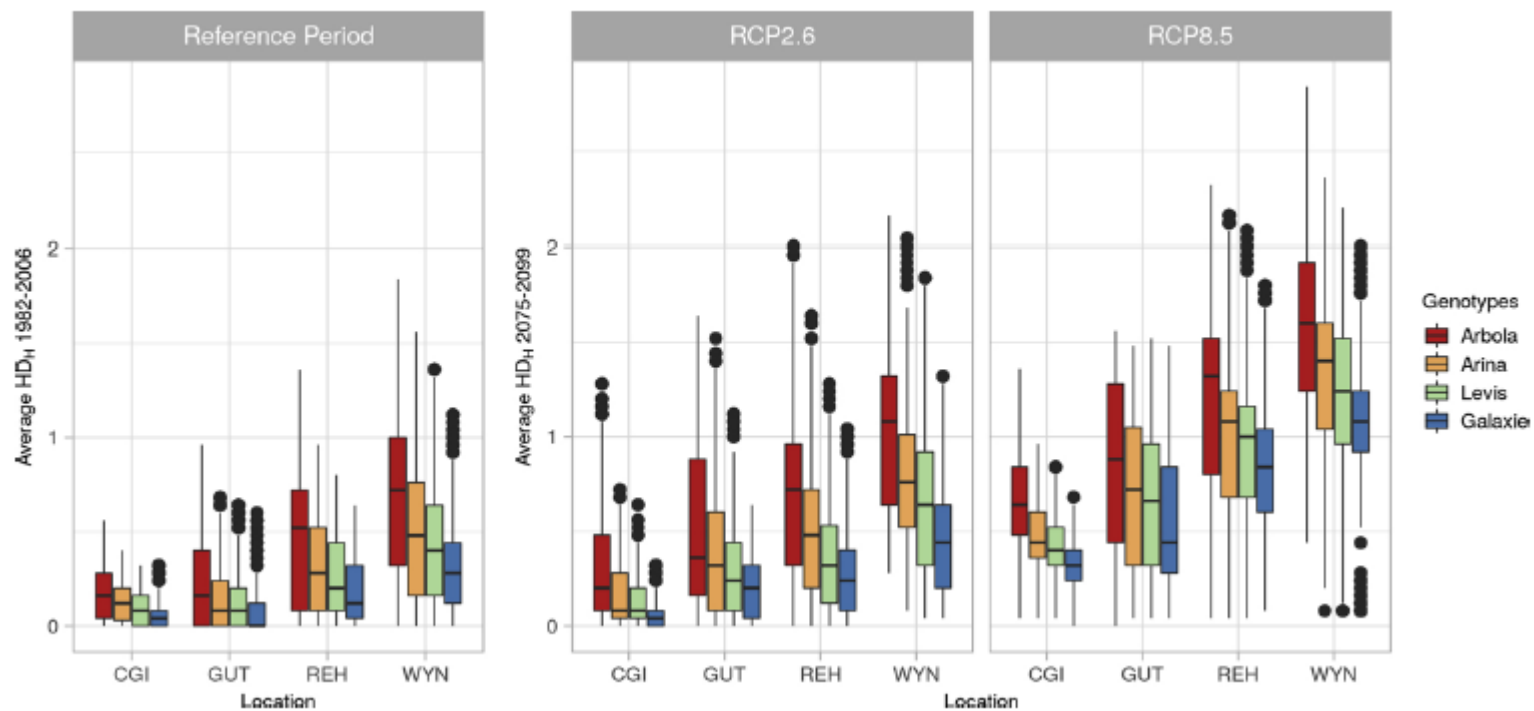
1.5 jours (1982–2006) à

2.1 (2075–2099), scénario RCP2.6 (“with climate change mitigation”) ou même

3.6 jours (scénario RCP8.5, “without climate change mitigation”).

Même les variétés les plus précoces seront davantage exposées que ne le sont actuellement les variétés tardives.

Ceci en particulier dans les lieux les plus frais et les plus tardifs.



Can Swiss wheat varieties escape future heat stress?

J. Rogger, A. Hund, D. Fossati and A. Holzkämper
European Journal of Agronomy 2021 Vol. 131 Pages 126394

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126394>



Evolution climatique

- 2012 hiver froid, dégâts de gel
- 2013 très peu de lumière pendant la méiose, pertes de fertilité (cv Suretta)
- 2014 hiver très doux, records de température, de manque de soleil au milieu de l'été, de précipitations en juillet
- 2015 nouveau record de chaleur en été, forte précipitations en mai
- 2016 premier semestre très pluvieux,
- 2017 orages violents, gelées nocturnes record en avril,
- 2018 automne (2017) très doux, record de chaleur, été caniculaire, sécheresse
- 2019 automne (2018) très doux, record de chaleur en juin,
- 2020 tempêtes hivernales, sécheresse en avril, pluies en juin
- 2021 intempéries en fin août et octobre (2020), hiver doux, fortes pluies, printemps froid, été humide, grêle
- 2022 très chaud et sec, année record, hiver doux, 4ème printemps le plus chaud, 2ème été le plus chaud, une des 10 années les moins pluvieuses
- 2023 Pluies abondantes en automne (2022) à l'ouest, très sec et chaud en été
- 2024 Pluies abondant dès fin octobre (beaucoup de semis tardifs, très tardifs), brève période chaude suivie de frais (gel d'épis) et de pluies incessantes, très peu de lumière en particulier les mois de mai et juin



Evolution climatique

- Une augmentation très rapide de la température et du CO₂
- → **Des années très variables**
- → **Des précipitations plus variables, plus fortes**
- → **Des événements extrêmes plus fréquents**

- → Périodes de végétation plus courtes,
- → Des stades plus précoces

Quel est la phénologie la plus adaptées ?

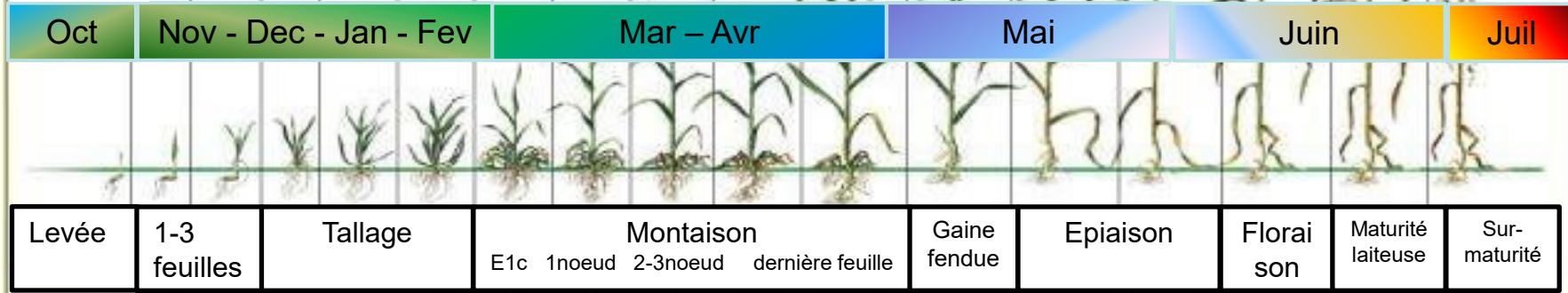
Quelle résistance aux stress abiotiques est prioritaire ?



Risques climatiques



Gel



1956
1976
2012

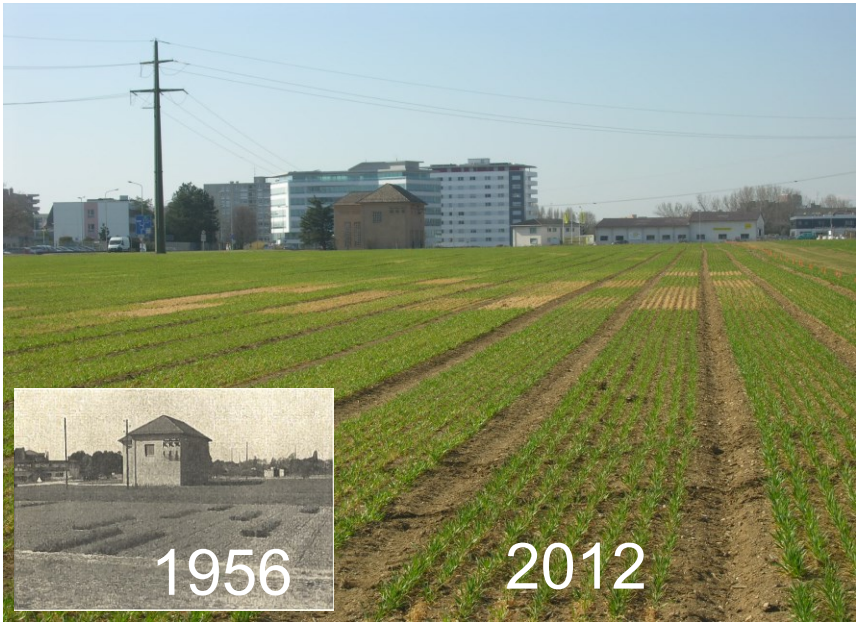
<-8°C ~ Minima <-5°C

Endurcissement ~0°C (max),
f(variété, espèce)
p.ex. cv CHEYENNE
ou MIRONOVSKAYA 808
résistent à -30°C après
endurcissement



E1C Minima <-4°C







Appréciation	Note	Variétés			
		blé d'automne	blé de printemps	triticale	seigle
excellent	1	Cheyenne (STD), Mironovskaia 808		Lamberto, Triamant	Danko, Marder
très bon	2 & 3	Delloro, Muveran, Muretto, Rigi, CH Combin , CH Camedo, Cambrena , Tamaro		Timbo, Dagro, Prader, Trialdo, Bedretto, Tarzan , Lasko, Trimarar	
bon	4	Molinera, CH Claro , Tanelin, Forel, Mayen, Dufour		Cosinus	
moyen	5	Fluela, Suretta, Arina , Segor, Logia, Orzival, Levis, Siala, Runal , Forno, Greif		Brio	
médiocre	6	Zinal , Campioni, Titlis	Aletsch, Campanin, Lona , Tirone		
faible	7	CH Nara, Vanilnoir, Lona, Simano, Fiorina , Magno, Galaxie	Carasso, Corbetta, Casana, Toronit , Cervino, CH Matro, Trovat, Chasseral, Altare , Prosa, Fiorina , Digana, Sella	Larossa	
très faible	8	Chaumont, Jazzi, Lorenzo, Sertori	Chaumont, Camadra, Terri, CH Rubli, Soliat, CH Campala, Sertori, Greina	Tridel	
mauvais	9	Champlein (STD)	Gorda, Medola, Stanga, Vully		





Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance au gel ?



Variabilité:

OUI, forte

la variété suisse actuelle la plus résistante: CH Combin,
les blés de printemps / alternatifs sont sensibles

Sélection:

Tests de résistance au froid nu des lignées en parallèle des essais
en Allemagne (caissettes), autrefois en France à la Chaux des Prés,
aussi en Tchéquie (Selgen)

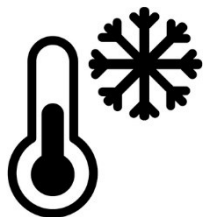
*MAIS c'est la résistance au FROID NU après endurcissement et pas après
dés endurcissement*

Recherche: croisement CH Nara x **Mironowskaya 808** et x Cheyenne pour
études, recherche de marqueurs de résistance au froid (et au virus WDV)

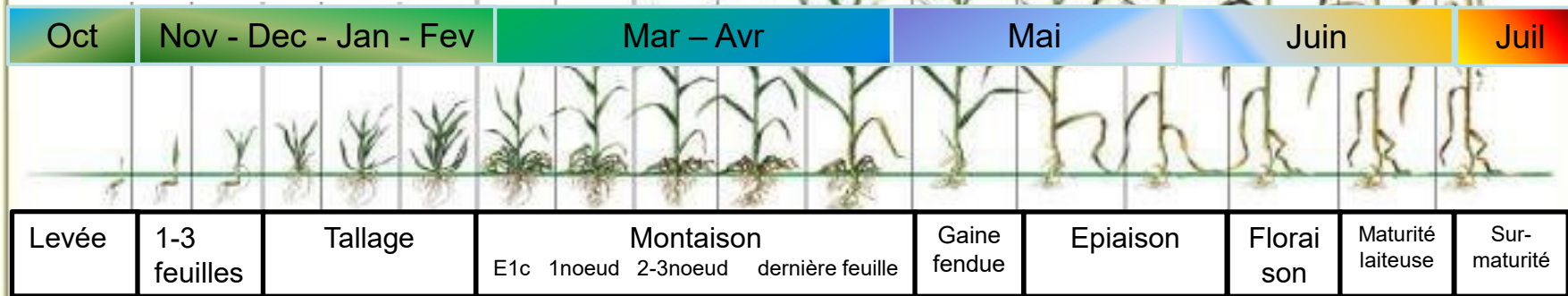
2024 : que 10j <0°C, au pire -2.3°C entre décembre et fin janvier,
2 jours avec des minima <-5°C → probablement pas de pertes



Risques climatiques



Froid tardifs



2024



Epis mal dégagés (<math>< 5^{\circ}\text{C}</math>)
 Impact sur la longueur des plantes
 (Tendance plantes plus longues)
 Epillets «surnuméraires»
 Segments manquants





Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance au gel d'épi ?



Variabilité: Au stade «épi1cm» ?, au stades «fin montaison-épiaison» ?
plutôt résistance d'évitement !

Sélection: -

Recherche: -

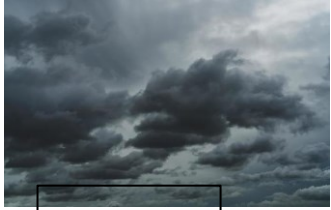
→ choix des dates de semis

→ choix des variétés (alternativité), combinaison des besoins de vernalisation (gènes Vrn), de sensibilité à la photopériode (gènes Ppd) et de la précocité «per se»

2024 : minima < -4°C les plus tardifs que les 20-21-22 janvier (Payerne)
minima < 0°C après février, les 8,9 et 25 mars (à Changins), les 7
au 11, 25 au 28 mars, **18-24 avril** (à Payerne),
Epis avec symptômes de gel d'épis !

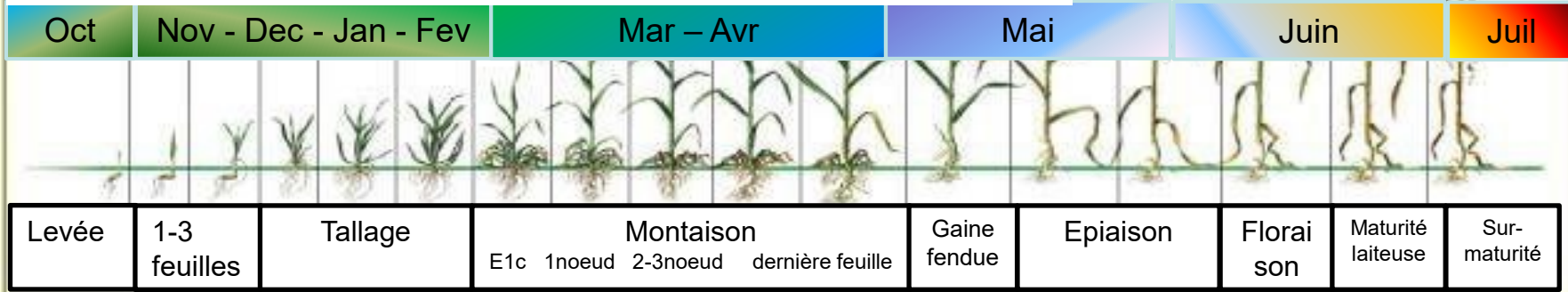


Risques climatiques



1987
1997
2013
2024

Manque de lumière (rayonnement)



La feuille étendard est le panneau solaire du blé

À la méiose, f(variété),
Stérilité du pollen ($\leq 4^{\circ}\text{C}$)
Moins de tiges,
Epillets avortés à la base de la tige

Plus tard :
Manque d'énergie !!





Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance au manque de lumière (à la méiose) ?



Variabilité: OUI

Pernel, Suretta, Moulin sont très sensibles

Sélection: possible si des marqueurs sont identifiés

Recherche: Projet PESUMO depuis 2018

développement de la méthode de test

screening de variétés

phénotypage & génotypage

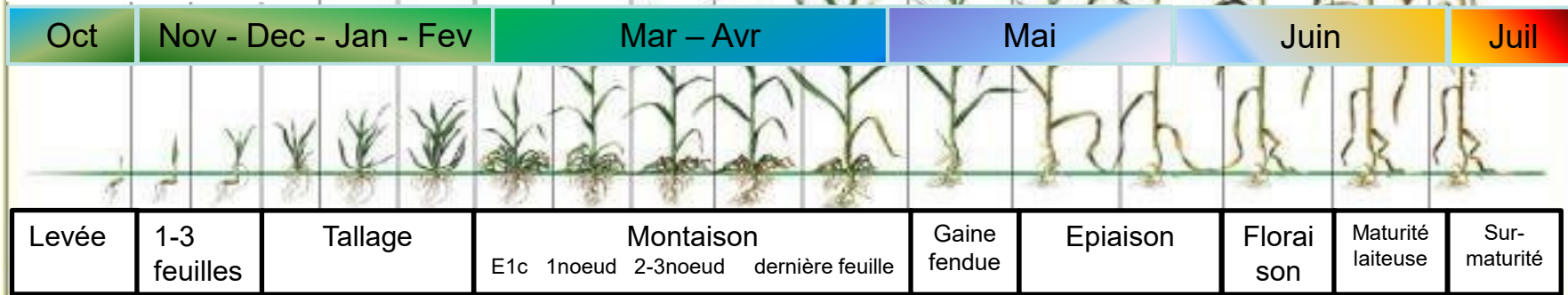
→ recherche des marqueurs diagnostiques

2024 : Manque de lumière en général et à la méiose. De plus, la septoriose a endommagé très vite le «capteur». «Source» insuffisante !
Stérilités probables mais parfois sous estimées



Risques climatiques

Chaleur



2015

2018

2019

2022

2023

favorable

Lié à la sécheresse

Moins de tiges
Moins
d'épillets à la
base de l'épi

Méiose: → moins de
fécondation
3j. >30°C → -50% de grains
3j. >35°C → -90% de grains

Pendant la croissance du grain :

Avortements. Dès >15°C → diminution du PMG

Stress avant maturité laiteuse → grain petit, lisses

Stress après maturité laiteuse → grains échaudés

Pertes de PMG (g) = $0.78 * (\text{nb jours } >25^{\circ}\text{C entre épiaison et épiaison} + 750^{\circ}\text{Cj})$

Attention: la température nocturne est très importante: +1°C → -7% Rdt, -6% Nb grains/m²



Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance au chaud



Variabilité: oui, mais limitée, diffère selon les stades

Sélection: **sélection in-situ dans un lieu chaud (Changins / Vouvry)**
échange avec des sélectionneurs de régions «prédisant le climat futur Suisse» (Croatie, ...)
palette de variétés (hiver, printemps, alternatif)
la chaleur nocturne est un facteur très important

Recherche: projet Morocco – Agroscope Changins (2024-2027)

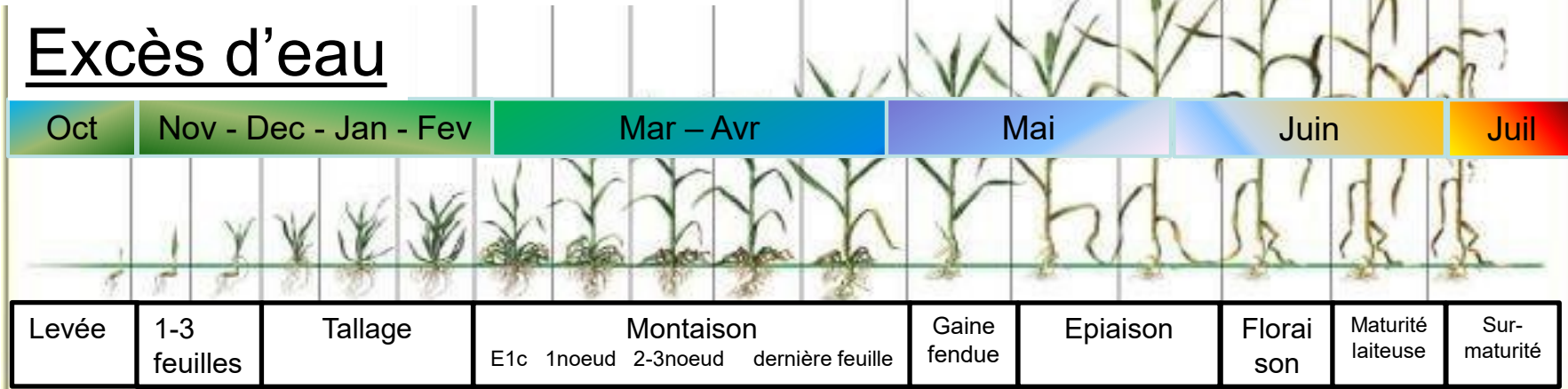
2024 : pas de température excessives pendant la croissance du grain
aucun jours $> 25^{\circ}\text{C}$



Risques climatiques

Excès d'eau

2003
2007
2014
2020
2022
2023



Anoxia → pertes à la levée



Anoxia - flétrissement
Manque (K)
Réduction du nombre d'épillets

Anoxia
Carences (N)
Réduction du nombre d'épis/m²

Germination sur pied

Effets liés : manque de lumière, température basse, maladies fongiques (Septorioses, Fusarioses, Piétin-verse)



Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance aux excès d'eau

Anoxie après semis

Variabilité : oui, entre espèces (épeautre > blé), dans le blé ?

Sélection: -

Recherche: projet rejeté, ...



2024 : report des semis !!!,
pertes si la pluie est arrivée avant les stades «levée + 3 feuilles»

Germination sur pied

Variabilité: oui

Sélection: screening des lignées,
introgression d'un gène de résistance (QTL) en cours

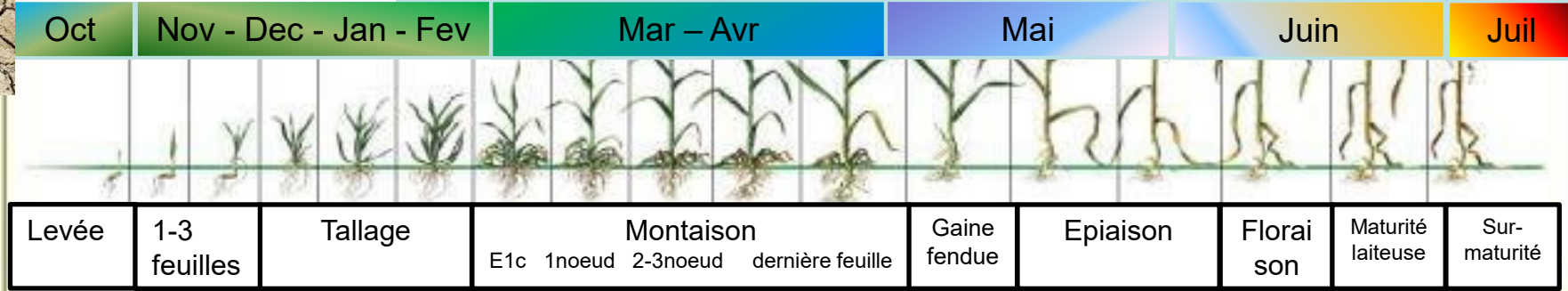
Recherche: projet de GS (en attente), ...

2024 : pas de levée de dormance, mais de la verse et de la grêle



Risques climatiques

Sécheresse



2003
2020
2022
2023

Pertes de plantes

Effet lié :
température plus élevée (du sol en particulier)

Longueur de feuille réduite
Feuilles enroulées
Longueur réduite de la plante (dernier entrenœud fortement réduit)
Pointe d'épi stérile





Variabilité ?

→ Sélection pour la résistance au sec



Variabilité: oui, modérée
mais à quelle type de sécheresse ?
à quel stade ?, par quel mécanisme ?, rôle des stomates ?
moins de pertes est-ce suffisant ?

Sélection: sélection in-situ dans un lieu (relativement) sec (Changins)
marqueurs de résistance ?
test en lieux extrêmes (Espagne, Maroc, Mexique, ...)
blé synthétiques (cv Voroney)
blé OGM (gène issu du tournesol, cv HB4, Argentine, Brésil, Australie)

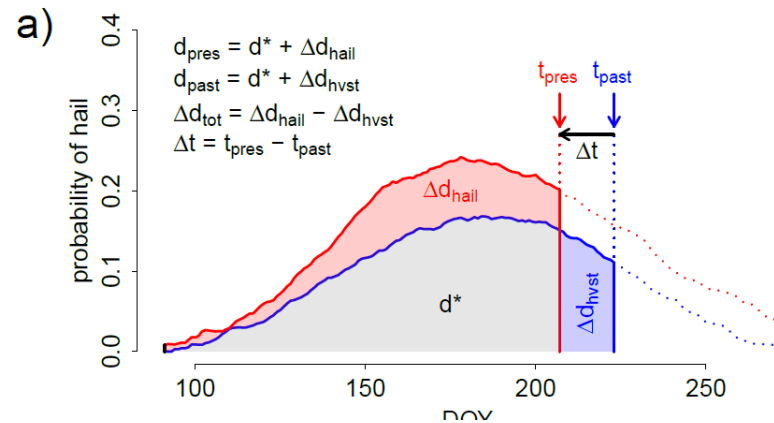
Recherche: projet Maroc – Agroscope Changins, ~~WHEATDROP~~ rejeté, ...

2024 : pas de sévères phases de sec



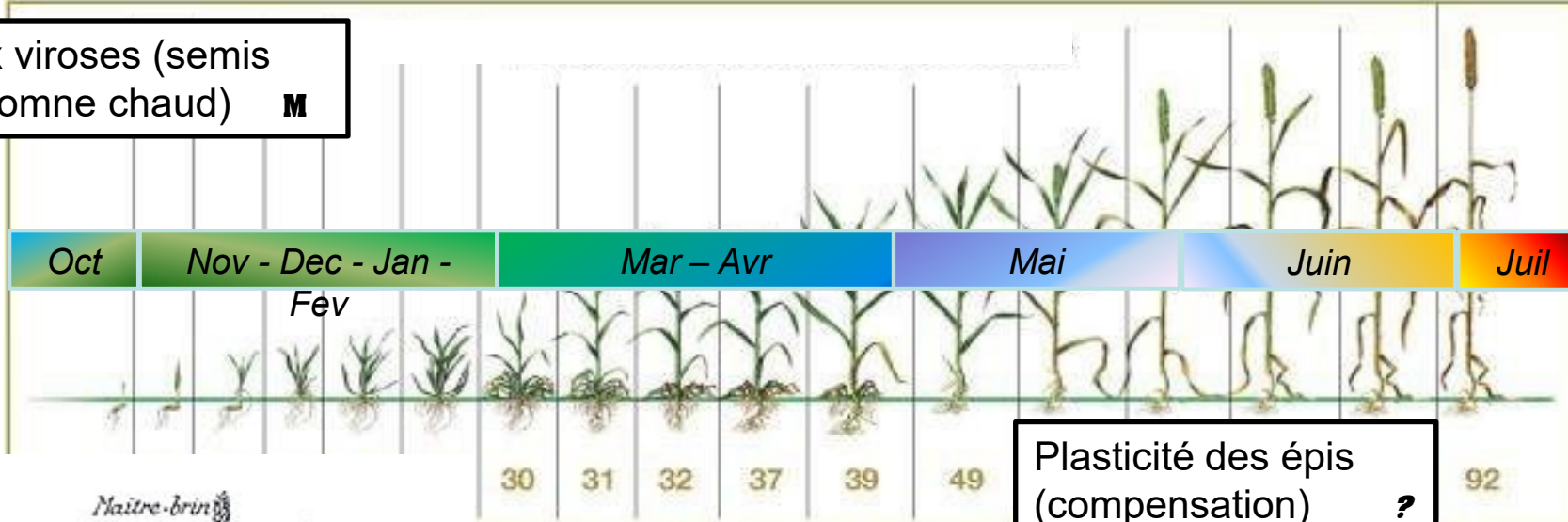
Accidents climatiques: Grêle

- Effets directs et indirects (Germination sur pied)
- Etude sur l'augmentation du risques de grêle vs précocité de récolte. Article soumis: Earlier harvest but more hail - Hail risk to winter wheat in Switzerland since 1972, RAPHAEL PORTMANN, LUKAS VALENTIN GRAF, LENA WILHELM, DARIO FOSSATI, TIMO SCHMID, LEONIE VILLIGER, PIERLUIGI CALANCA



2024 : localisé

Résistance aux viroses (semis précoces & automne chaud) **M**



Résistance à la germination sur pied (QTL dormance) **M & GS**

Gros grains <> fertilité d'épi et Nombre de grains/m² élevé **M & GS**

Plasticité des épis (compensation) **?**

Résistance au froid après dés endurcissement **M & GS**

corrélé avec la résistance au froid nu ?

Faible sensibilité au manque de lumière à la méiose **M & GS**

Résistance au chaud et au sec **M & GS ?**

Sélection de l'efficacité des stomates ?

Bon potentiel de tallage (compensation), <> avortement rapide des talles superflues ! **?**

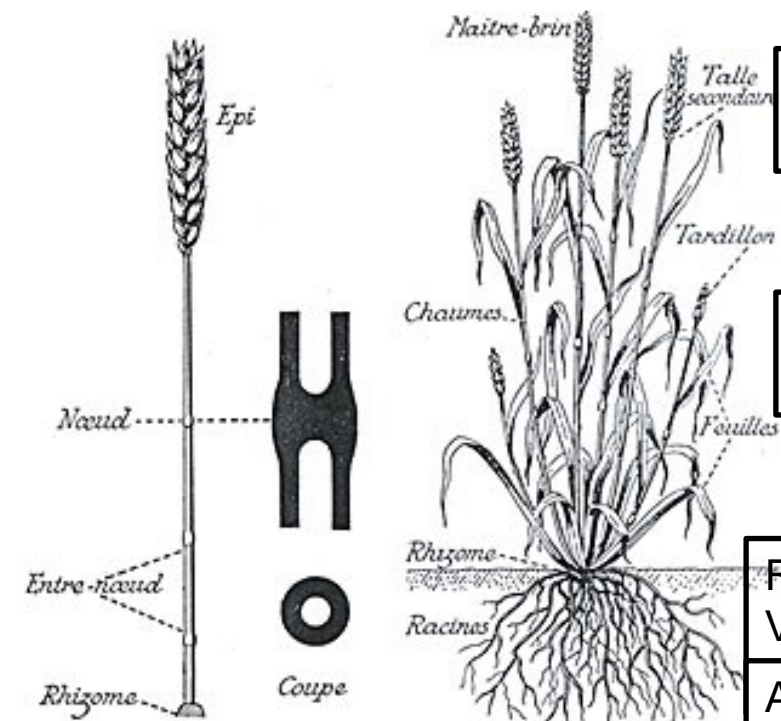
Type hiver – printemps, sensibilité à la photopériode, précoce à l'épiaison **M**

Résistance à l'anoxie **?**
Vigueur de levée (gros grains **M**)

Semis plus profond ? Coléoptile long ?
Plateau de tallage plus profond ?

Angle racinaire étroit **M** (blé printemps)
Quels stress hydrique ?

Racines efficaces (absorption H₂O efficace) **?**



Résistance à la verse, tige pleine, gènes de nanismes autres que Rht1 et 2, rigidité ou souplesse ? **M & GS**



En conclusion

- La sélection pour la résistance aux stress abiotiques a toujours été une tâche permanente
..... mais qui prend plus d'importance actuellement
- Il faut prioriser les buts de sélection
- Lever les doutes, éclaircir les hypothèses
- Développer les outils efficaces d'aides à la sélection
- La sélection est un des levier mais pas le seul



Merci pour votre attention

Dario Fossati

dario.fossati@agroscope.admin.ch

Agroscope good food, healthy environment

www.agroscope.admin.ch



Tendances futures (prévisions)

- Plus de risques de sec au début montaison → ↓ **Nombre de grains produits / m²**
- Plus de risques de chaleur pendant le remplissage du grain (malgré une précocité des stades). Problématique surtout après 2050.
- De 5 (à 11) jours → 8 (à 16) jours avec des températures >25°C → ↓ **du poids du grain**
- Plus de risques de sec après épiaison → ↓ **poids du grain**
 - -2 à -3g les bonnes années; -3 à -4g les mauvaises années; 1g = 1.5 à 2 dt/ha de pertes
- Plus de risque de verse
 - Plus de tallage, minéralisation plus rapide à la fin d'hiver, montaison sous des jour court et moins lumineux (étiolage)
- Plus de grêle
- Méiose plus précoce et donc avec moins de lumière



Tendances futures (prévisions)

- Moins de risques de gel au stade épi 1cm
 - →semis plus précoce possible, mais alors plus de maladies, virus (BYDV)
 - Moins de gel nu, mais endurcissement moins fort
- nouveau Idéotype (choix de variétés et but de sélection)
- Augmenter la fertilité (Nombre de grains produits au m²)
 - Poids du grain élevé (car c'est tendanciuellement plus stable)
 - Résistance contre les virose et les maladies qui se développe dès l'automne (2 projets en cours)
 - Epiaison précoce, mais types hiver (sensible à la photopériode) et/ou diversité de rythme de développement



Tendances futures (prévisions)

- Méthodes culturales
 - Economie d'eau (TCS), irrigation
 - Profondeur de semis, semis précoce
 - Intercultures (légumineuses) pour les semis de printemps
 - Fumure N plus précise en s'appuyant sur le climat et des prédictions de rendement ajustées en cours de croissance (plusieurs modèles sont en concurrence)

- Répartir les risques en utilisant plusieurs types de variétés (niveau exploitation)
- Mélanges avec des combinaisons qui visent la complémentarité «climatique» ? (niveau champ)
- Plusieurs espèces ...



Pour la sélection

Plus ou de nouvelles observations et outils

- Symptômes de stress du sec (enroulement des feuilles)
- Température foliaire
- Index foliaires pendant la croissance du grain, autres mesures multispectrales
- Utilisations plus large des marqueurs, **MAS et GS**
- Delta C¹³ (mesure de l'efficacité des stomates), ...
- Meilleure description des précocités et des sensibilités/résistances variétales (gel, chaud, sec, ...)

Choix judicieux des lieux de sélection

- Changins: chaud et sec, Vouvry : hiver froid, été chaud, sol humide (maladies), «Shuttle breeding» avec Zürich : humide en été, froid
- Sélection de blés de printemps, croisements entre blé d'automne & printemps, croisements «exotiques» de préparation (blés chinois, synthétiques,...), Test à l'étranger (p.ex. Croatie, ...)