

Réchauffement climatique et transition agro-écologique : travaux en cours et résultats de programmes récents notamment SMARTER (et ARDI)

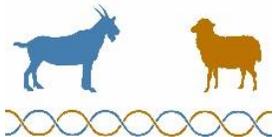
AG CDEO

15 avril 2022

Ordiarp

J.M. Astruc / G. Lagriffoul

UMT GPR
Génétique pour un élevage durable
des Petits Ruminants

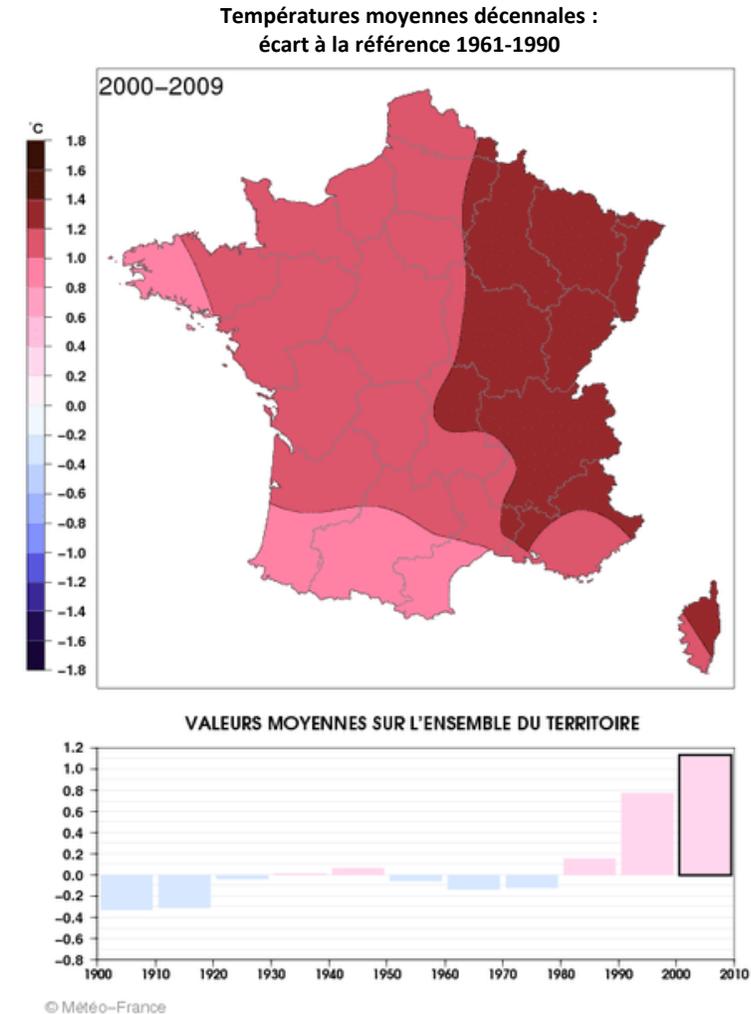


Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



Observation du changement climatique à l'échelle de la France

- + 1,7°C en France depuis 1900
- + 0,9 °C en moyenne à l'échelle du globe sur la période 1901-2012
- Accélération depuis les années 1980



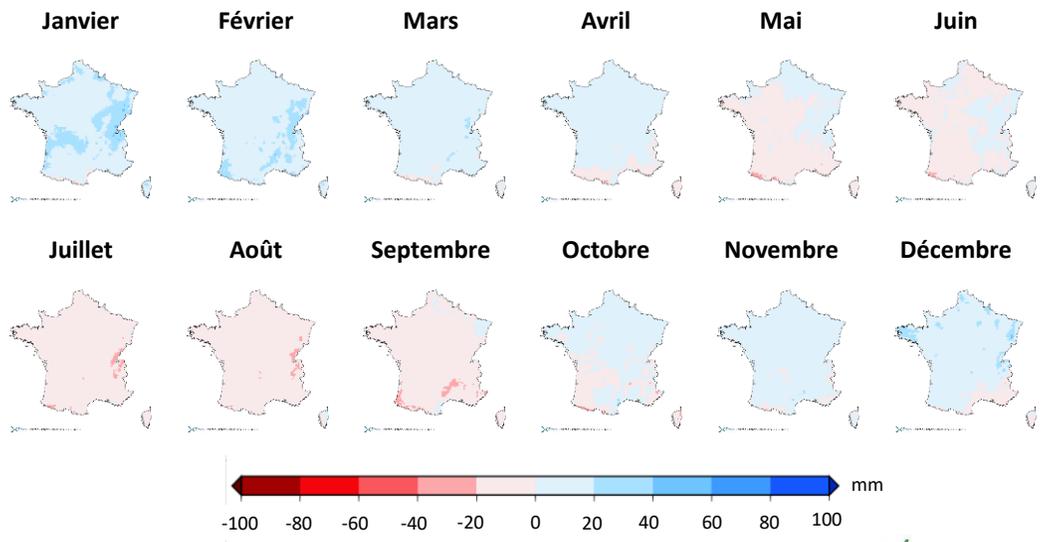
Source : Météo France, Climat-HD - <https://meteofrance.com/climathd>

Si on se projette dans le futur

1. Augmentation moyenne des **températures**
2. Augmentation du nombre de **jours chauds** par an
3. **Pluviométrie annuelle** qui reste variable suivant les années.... mais

20

... mais une répartition différente dans l'année (en moyenne)

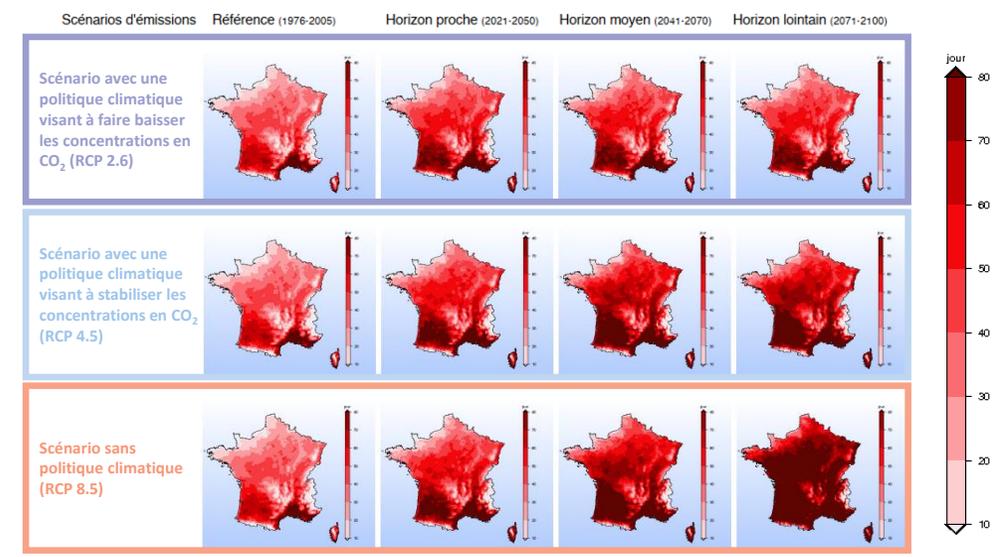


Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble. Horizon moyen (2041-2070). Scénario RCP 8.5



Nombre de jours chauds par an

Nombre de journées chaudes (température maximale > 25°C) par an, selon les scénarios climatiques.



Source : Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble ; drias-climat.fr



Au-delà des évolutions moyennes une grande variabilité



Dans ce contexte, quels apports possibles de la génétique ?

Atténuation du changement climatique

Limiter les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

Améliorer l'efficacité de production à l'échelle de l'animal et du système

Développer la robustesse, la capacité d'adaptation
Adapter les animaux à la variabilité des ressources, à la valorisation des ressources fourragères notamment le pâturage mais aussi des ressources ligneuses (cf. contribution à l'entretien des milieux)

Adaptation au changement climatique

Améliorer la résilience des animaux : longévité, reproduction, résistance aux maladies en lien avec l'évolution des conditions sanitaires (extension maladie, parasitisme, maladies métaboliques/canicule...)

Améliorer la thermo-tolérance, l'efficacité d'utilisation de l'eau

Éléments clés des dispositifs génétiques

1. Une **diversité de races** et de milieux de production
2. Les performances qui servent au choix des reproducteurs sont mesurées en **fermes dans les conditions réelles de production**
5. Des bases de données de grande taille contribuant à caractériser les relations entre production et changement climatique
3. Des dispositifs génétiques performants permettant aux Organismes de Sélection (OS) de définir des objectifs de sélection intégrant une part de plus en plus importante de caractères fonctionnels et d'adaptation en lien avec les futurs enjeux
4. Des outils génomiques largement diffusés facilitant la prise en compte de ces nouveaux phénotypes
5. Des travaux de R&D en cours conduits notamment dans le cadre des Unités Mixte de Technologie (UMT GPR) en lien avec des collaborations internationales

La génétique : un levier très efficace

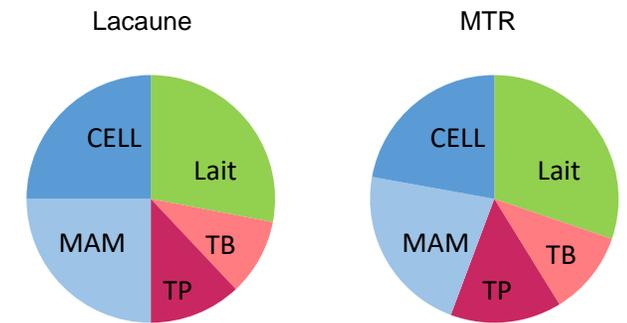
1. Objectif de sélection => pilotage de l'orientation de la race

Prise en compte des caractères de production, fonctionnel, résilience, adaptation, atténuation...

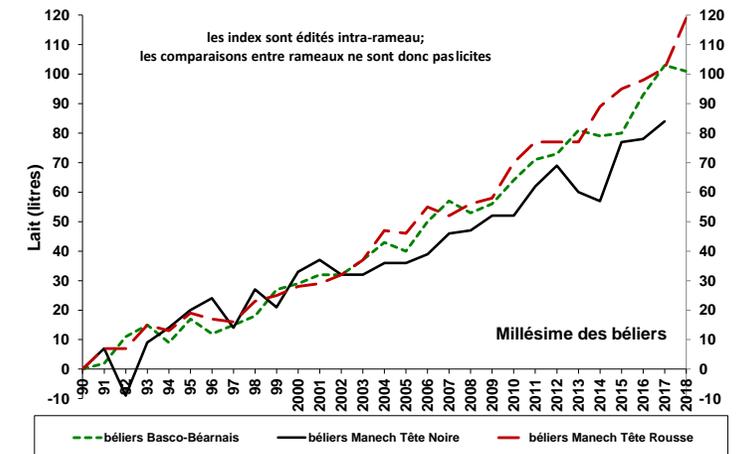
Pilotage via l'index de synthèse

2. Amélioration génétique => une évolution

« lente » (échelle de temps : 5-10 ans) mais **pérenne et cumulative**

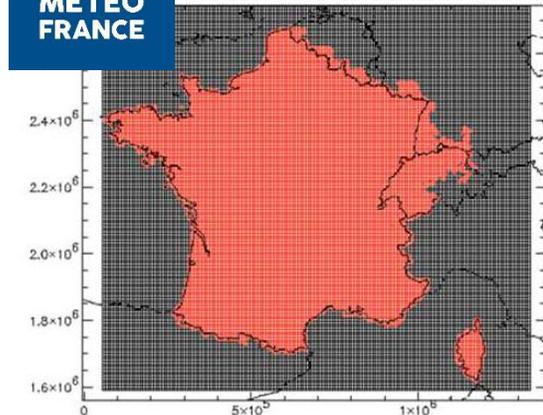


ROLP : évolution index PRODUCTION BELIERS
(moyenne des index génomiques 2021)



Quelle thermo-tolérance de nos races ?

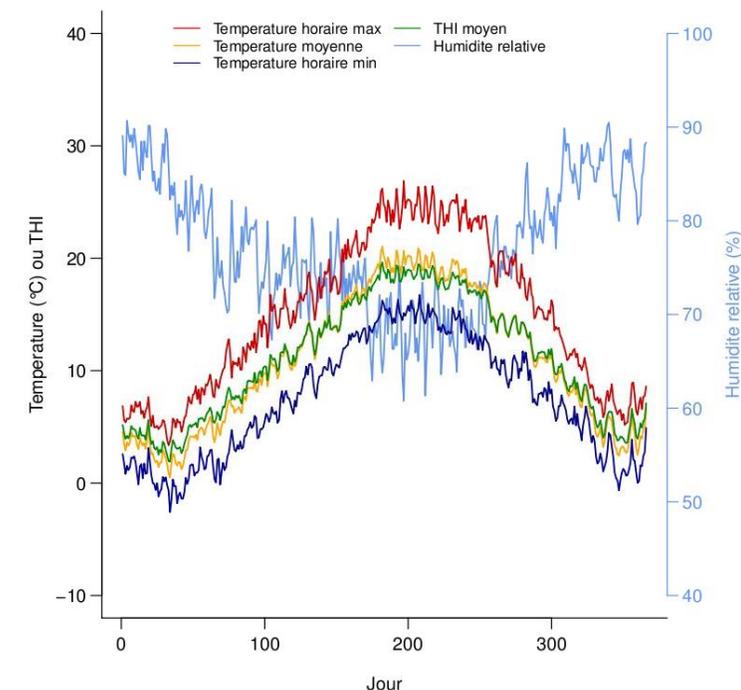
Données météorologiques Grille SAFRAN 8x8 km



Les cheptels peuvent être rattachés à une maille de la grille SAFRAN de Météo France

Permet d'associer des données météorologiques de Météo France aux données de performances

Evolution des données météo au cours de l'année



Caractère étudié [LAIT, TB, TP, REPRODUCTION....) = effets d'environnement + effets génétiques + ε

Effets « classiques » de l'évaluation
+ météo (THI)

THI : Temperature Hygrometry Index
Combinaison entre la T° et l'humidité de l'air

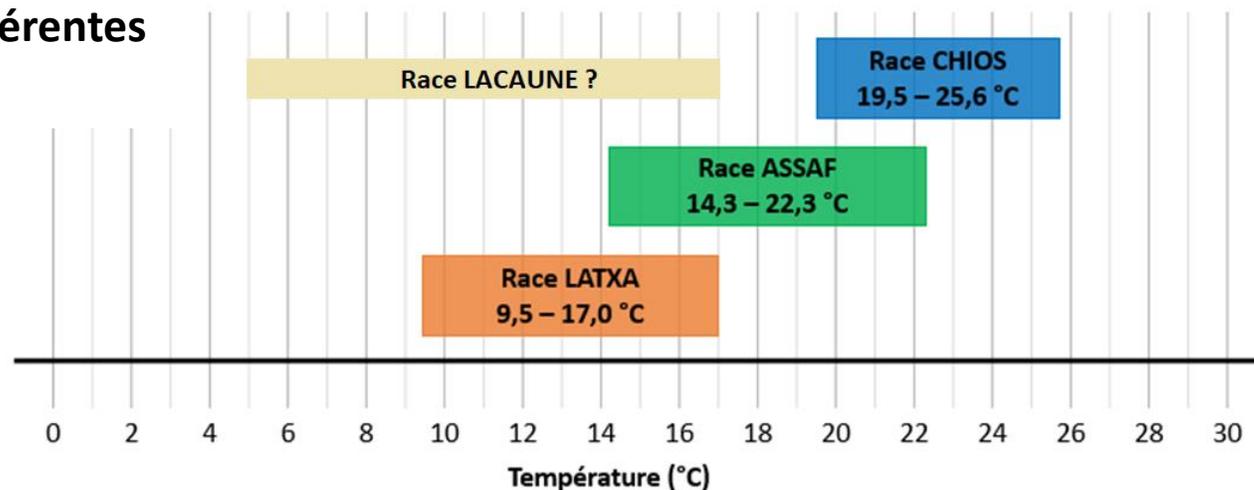


A l'échelle de la population : identification des températures de confort

Zones de confort pour la quantité de lait pour différentes races **ovines laitières** européennes

(Sources : Diane Buisson et al. H2020 iSAGE)

Etude des zones de confort pour la quantité de lait dans différentes races ovines laitières européennes



Effet de l'âge et du stade physiologique sur les températures critiques pour les **bovins laitiers** (HOL)

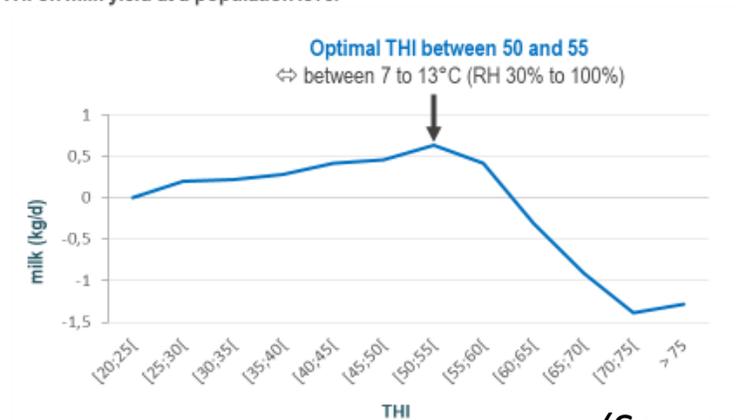
Physiological status	Critical temperatures	
	Lower (°C)	Upper (°C)
Calf (4 liters milk daily)	13	26
Calf (50–200 kg, growing)	-5	26
Cow (dry and pregnant)	-14	25
Cow (peak lactation)	-25	25

Adapted from Collier et al. (1982).

Context Objective Data Population level GxE Conclusion

> Results

Effect of the THI on milk yield at a population level

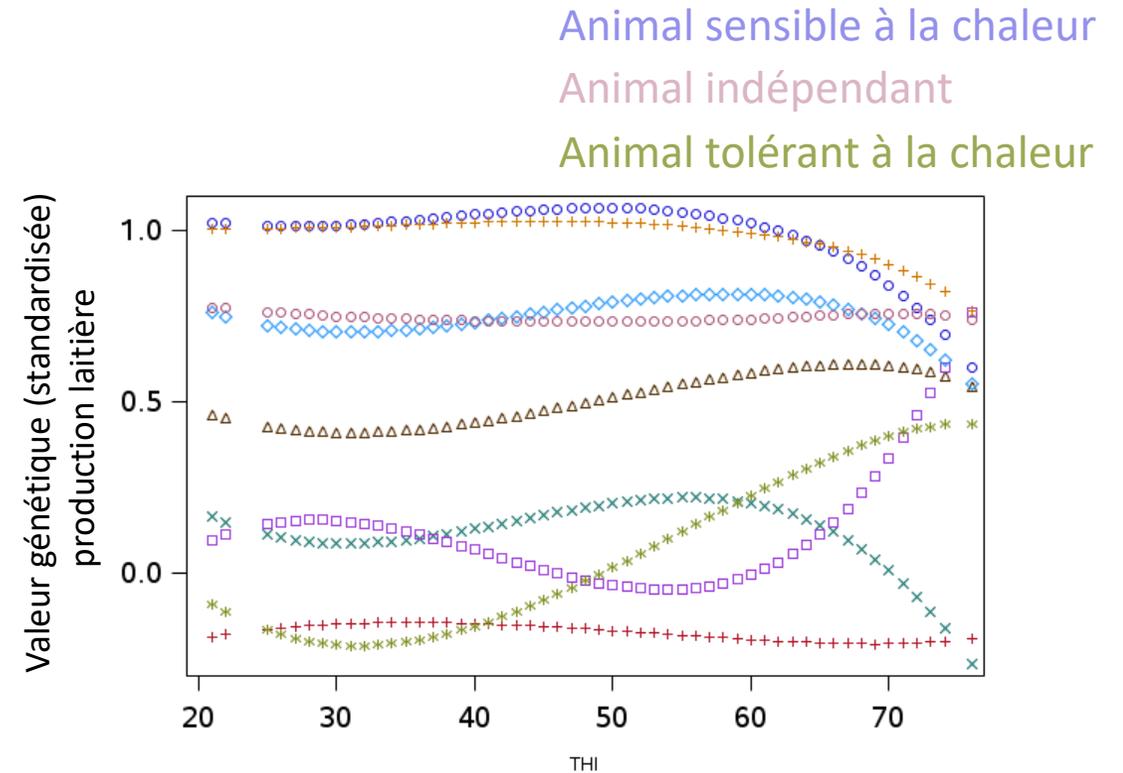
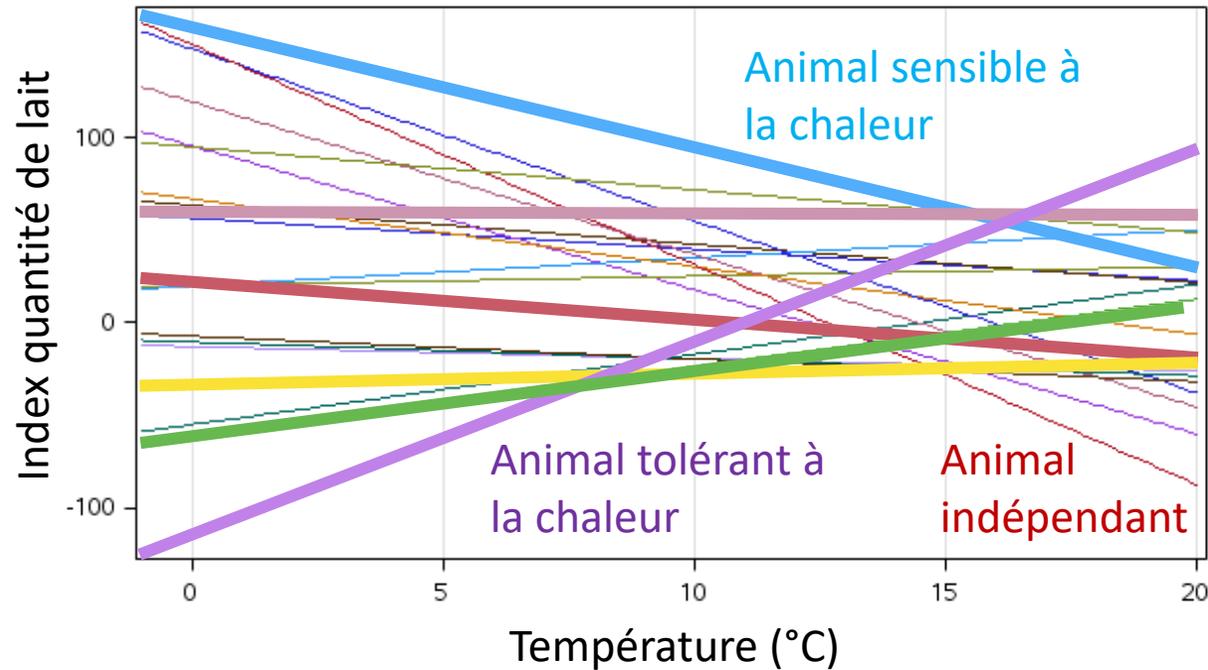


Optimal THI : 7 to 13 °C

(Sources : Aurélie Vinet, EAAP2021)

A l'échelle individuelle : variabilité génétique de la thermo tolérance

Exemple en **ovin laitier** (race Lacaune) : potentiel génétique en fonction de la température à laquelle le phénotype s'exprime
(source : H2020 ISAGE)



Exemple en **bovin laitier** (race Montbéliarde) : évolution du potentiel génétique de production laitière (à 150 jours de lactation) de 9 mâles avec de plus de 500 filles avec performances en fonction du THI (source : CAICalor)

Limiter les émissions de GES

Grass To Gas – H2020 et ANR

Solutions appliquées pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre chez les ovins

Phénotypage fin (lignées divergentes sélection sur l'ingestion résiduelle en concentrés, race Romane, UE P3R Bourges)
Consommation d'aliments concentrés (DAC), puis de ration mélangée (DAF)
émission de GES (CH_4 , CO_2) GreenFeed



OVIN ALLAITANT

Recherche de prédicteurs: SPIR sur fèces, métabolites sanguins, imagerie pour volume ruminal

Fèces: *ingéré prédit/observé : 0,68 (sur les 2 périodes) moyen sur RTM, faible sur CC*

Métabolomique du tissu sanguin : *premières analyses: il y a des différences sur des métabolites*

entre lignées RFI: 2 au DAC, 2 au DAF.

+ Phénotypage sur ingestion d'herbe (prévu)

=> Projets en construction en ovin lait pour aborder cette question en lien avec les spectres MIR du lait



Mieux exploiter les ressources

SMARTER : premiers travaux en matière **d'efficacité alimentaire**

Comment la quantifier dans un contexte d'alimentation collective en lots, avec du pâturage ?
Quels paramètres génétiques ?

Objectif à termes :

1. Développer des indicateurs notamment en utilisant les spectres MIR et la composition fine du lait
2. Aboutir à des évaluations génétiques ou des équations génomiques adaptées à différents systèmes fourragers et pastoraux
3. Trouver les **compromis avec les autres fonctions** (production, NEC, reproduction, santé) et rejet de CH₄ dans un contexte d'alimentation à l'herbe

Estimation de l'efficacité alimentaire

Plusieurs méthodes



WP1 - EFFICIENCE ALIMENTAIRE EN BREBIS LAITIÈRES

Validation et analyse génétique de critères d'efficacité alimentaire

Coralie MACHEFERT (INRAE)

H. LARROQUE (INRAE), C. ROBERT-GRANIE (INRAE), G. LAGRIFFOUL (Idele), P. HASSOUN (INRAE)



Séminaire SMARTER France
5-6 avril 2022, Sèvremont, France

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Grant Agreement n°772787

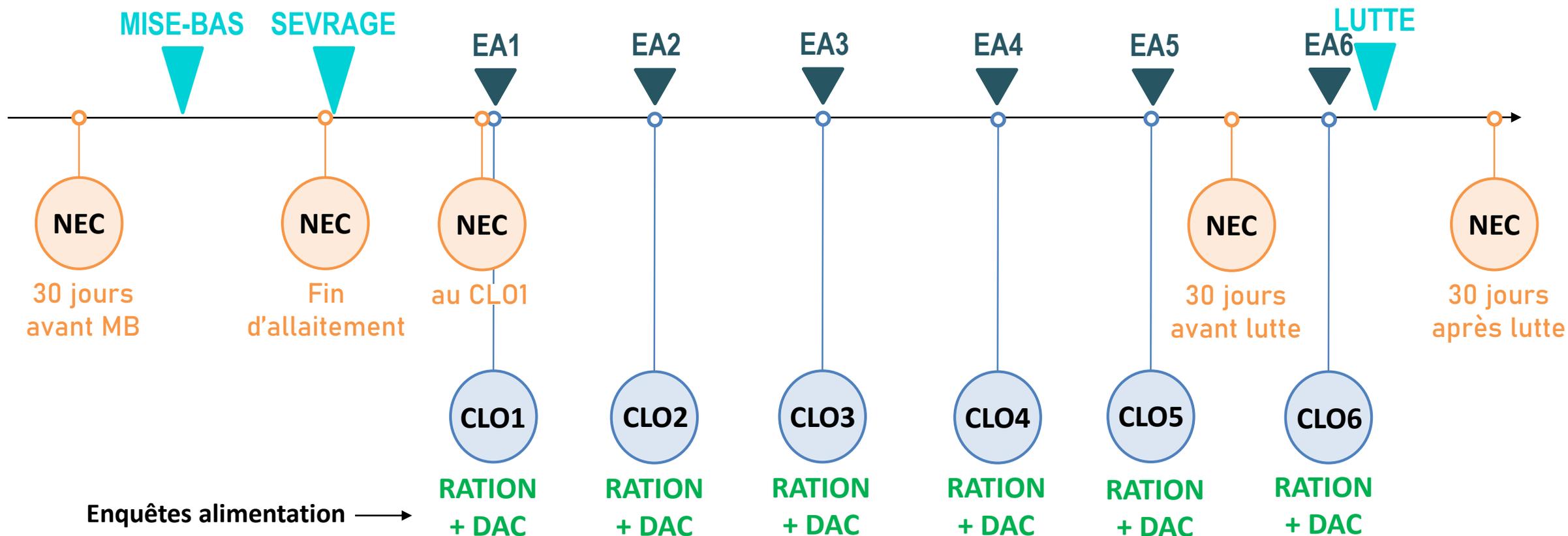
RATIO



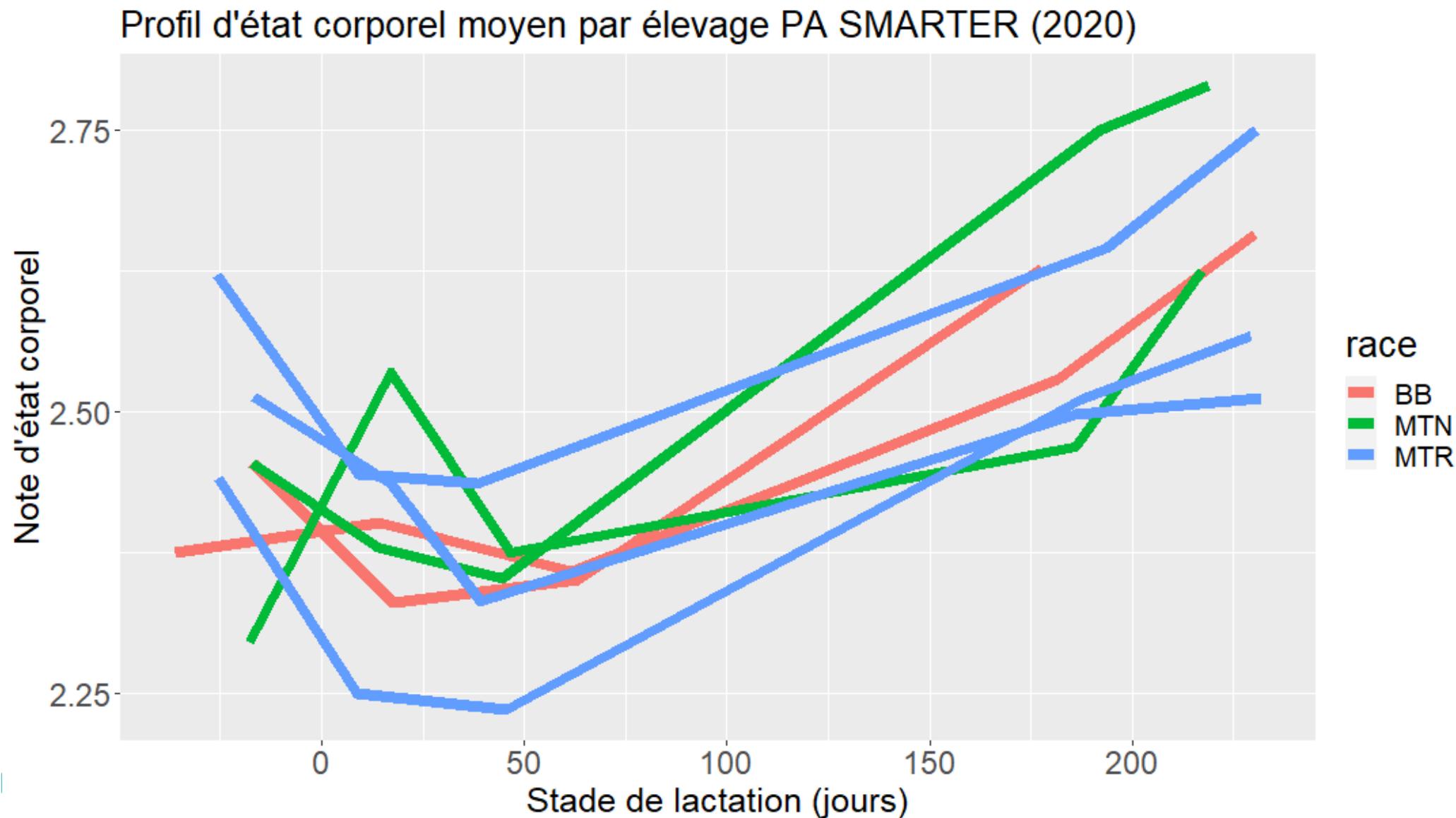
REI = différence entre la consommation ingérée et la consommation prédite compte tenu de la production de la brebis

Si REI < 0 : EFFICIENTE

Le protocole de phénotypage SMARTER

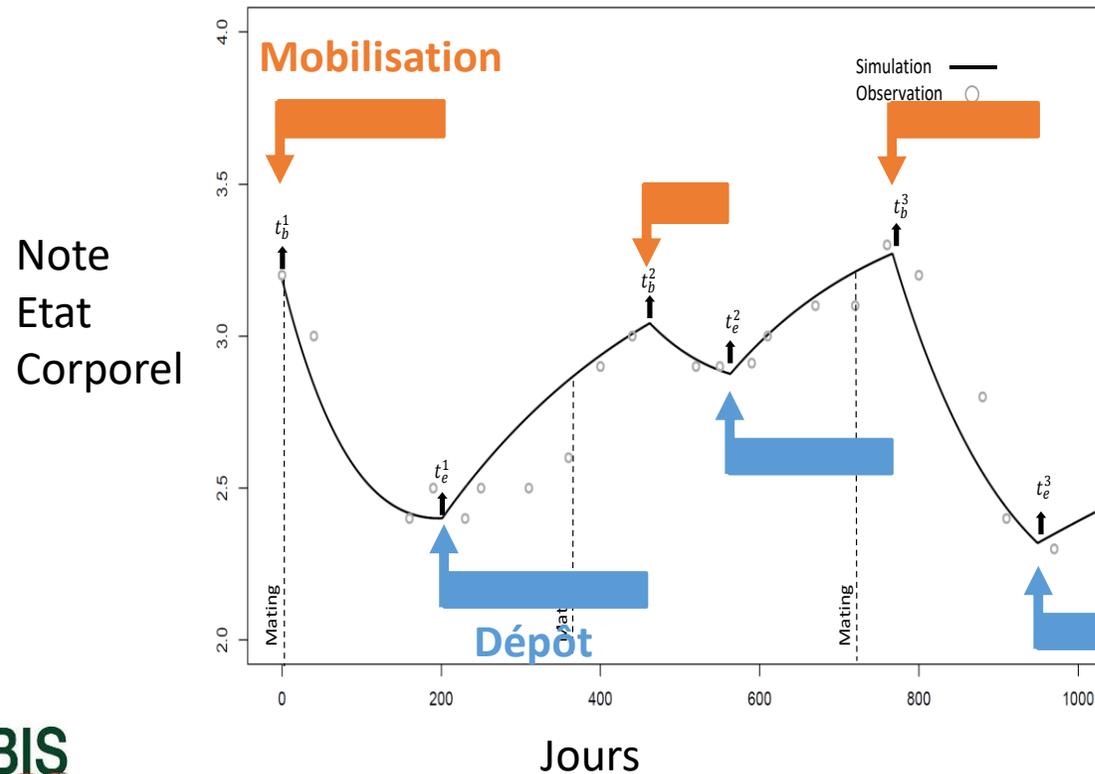


➤ Profils d'état corporel moyen par élevage SMARTER



Paramètres génétiques de la capacité de mobilisation/dépôt des réserve corporelle

Exemple des travaux conduits en **ovin allaitant (race Romane)**– Troupeau INRAE de La Fage conduit en plein air intégral sur le Causse du Larzac



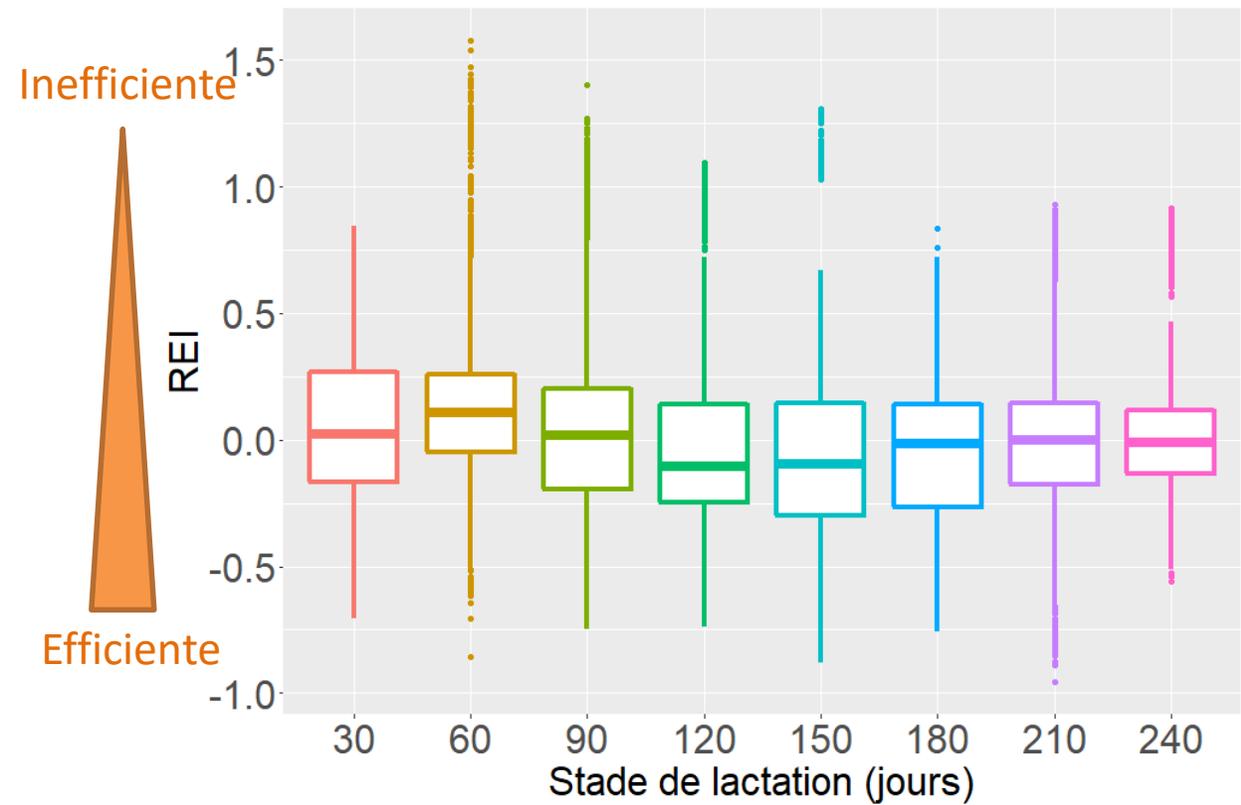
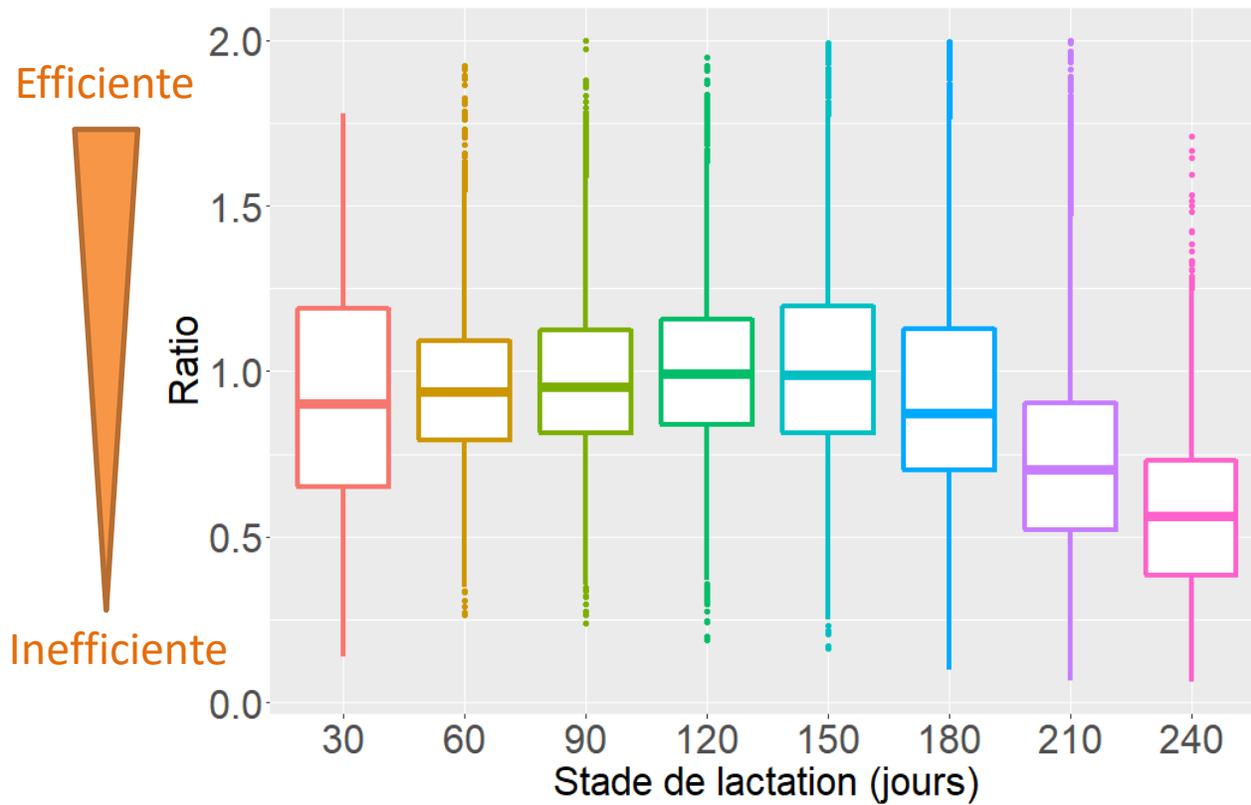
	Mobilisation	Dépôt
Mobilisation	0,16 ± 0,03	0,75 ± 0,14
Dépôt		0,10 ± 0,04

Diagonale: hérabilité
 Au dessus : corrélation génétique

➤ Variabilité de l'efficacité alimentaire au cours de la lactation



LACAUNE



➤ Premières estimations de paramètres génétiques

Sur toute la lactation

Smarter



LACAUNE

	LAIT	RATIO	REI
Répétabilité (r)	0.54	0.40	0.36
Héritabilité ($h^2 \pm SE$)	0.20 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.19 ± 0.02

h^2 REI (caprins SMARTER) = $0.18 (\pm 0.08)$ à $0.20 (\pm 0.07)$

h^2 LAIT (caprins SMARTER) = $0.19 (\pm 0.09)$ à $0.20 (\pm 0.07)$

h^2 RFI (bovins lait) = $0.04 (\pm 0.08)$ à $0,36 (\pm 0.17)$ → Brito et al., 2020

Améliorer la résilience des ROLP



*INRA Prod. Anim.,
2010, 23 (1), 5-10*

**Robustesse, rusticité, flexibilité,
plasticité... les nouveaux critères
de qualité des animaux
et des systèmes d'élevage :
définitions systémique et biologique
des différents concepts**

**Inra Productions
Animales**

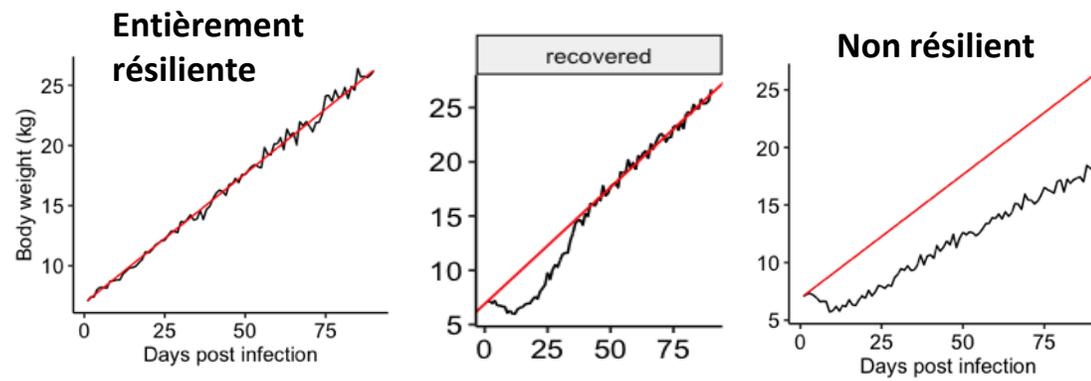


**On a beaucoup parlé
de RUSTICITE**

Améliorer la résilience des ROLP

RESILIENCE dans SMARTER

Aptitude d'un animal/système à se **maintenir** ou à **retrouver l'état initial de production et de santé après un exposition à une épreuve** (nutritionnelle et/ou infectieuse). La résilience est la trajectoire qui capture la déviation de l'état non soumis à l'épreuve.



La sélection des ROLP dans leur systèmes de production

Sélection [laitière](#) dans un milieu à « faibles contraintes »

Gènes de production laitière

Gènes
d'adaptation

Sélection [laitière](#) dans un milieu à « fortes contraintes »

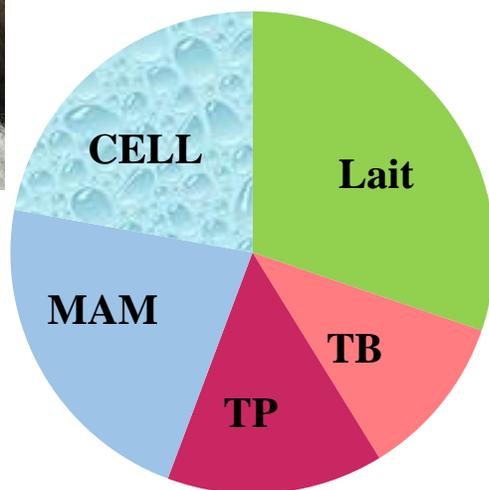
Gènes de production laitière

Gènes d'adaptation

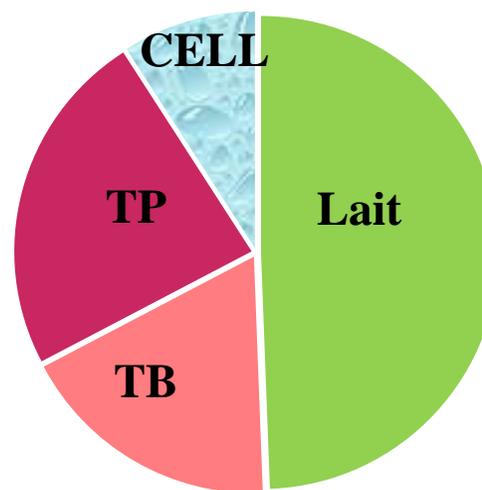
Des objectifs de sélection qui prennent déjà en compte explicitement la résilience (résistance aux maladies)



ISOL MTR / BB



ISOL MTN



PrP et résistance à la tremblante

Résistance au parasitisme gastro-intestinal

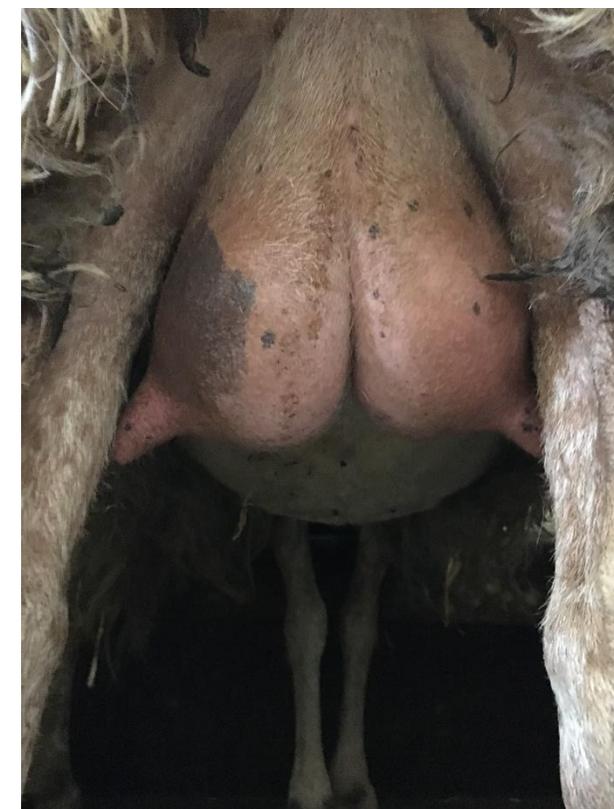


La résistance aux mammites



- Héritabilité : entre 0.10 et 0.14
- Corrélation génétique défavorable avec le lait : ~ 0.20 (plus faible en BB : ~ 0.05)
- En synergie avec la morphologie de la mamelle
- Sélection depuis 2016

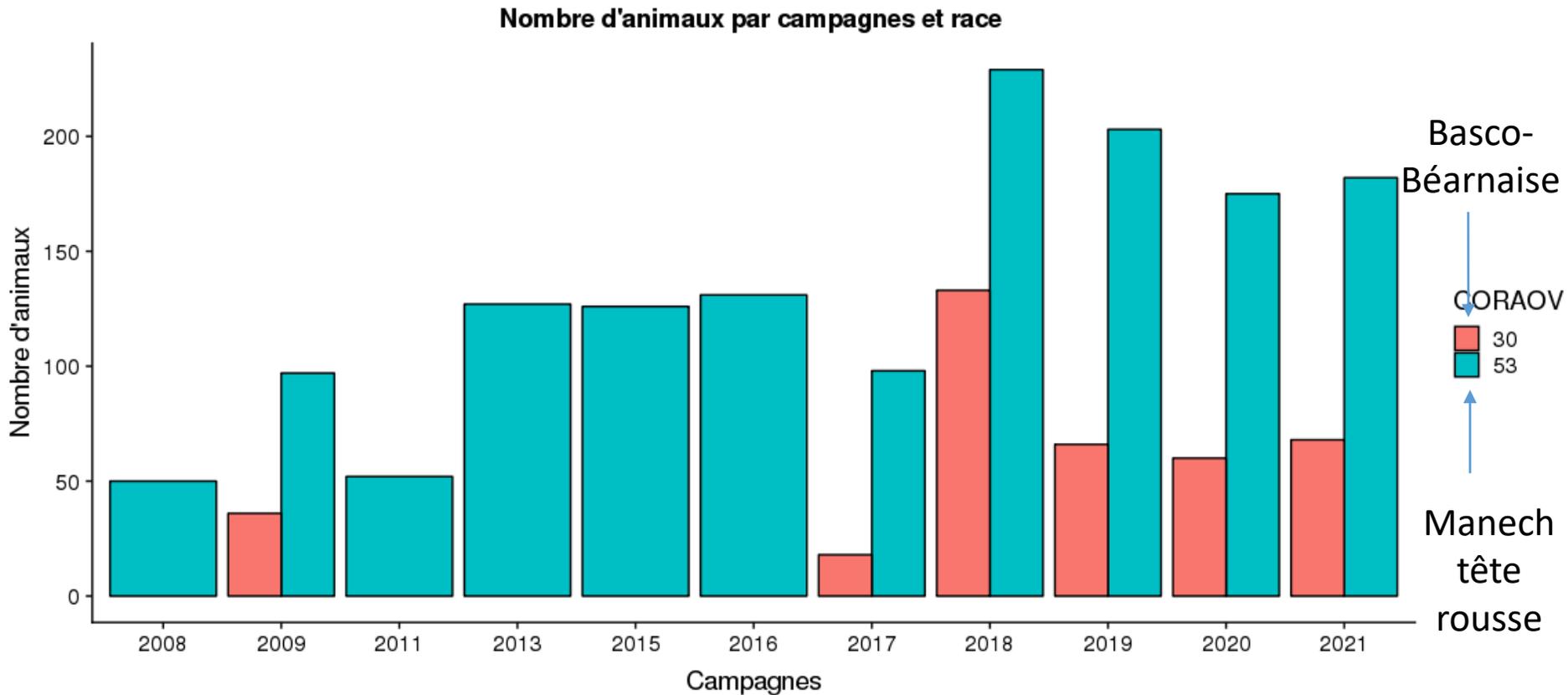
- Travaux La Fage : liens clairs entre niveau de cellules et mammites cliniques ou chroniques (abcès mammaires)
- Attention :
 - Génétique = long terme. Mais on observe déjà une stabilisation (notamment MTR)
 - À court terme : des mesures efficaces pour faire baisser les cellules (réforme ciblée, traite)



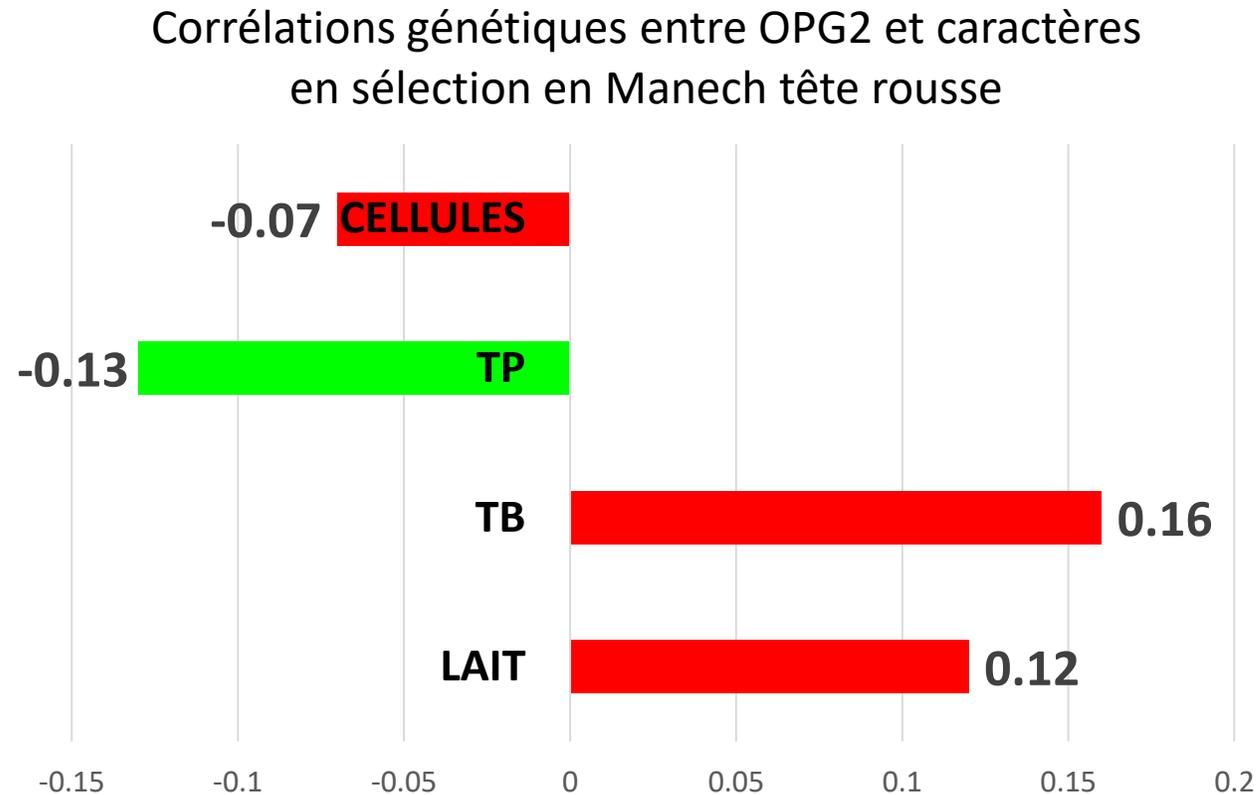
La résistance au parasitisme : le phénotype est roi

En 1 an : 23000 phénotypes cellules vs 200-250 phénotypes parasitisme

11 protocoles (~1 par an) d'infestation expérimentale depuis 2008



La résistance au parasitisme : faibles corrélations avec les caractères sélectionnés



Des corrélations génétiques plutôt faibles, mais qui ont tendance à être défavorables

La sélection de la résistance au parasitisme ne constituera pas un prix trop lourd à payer

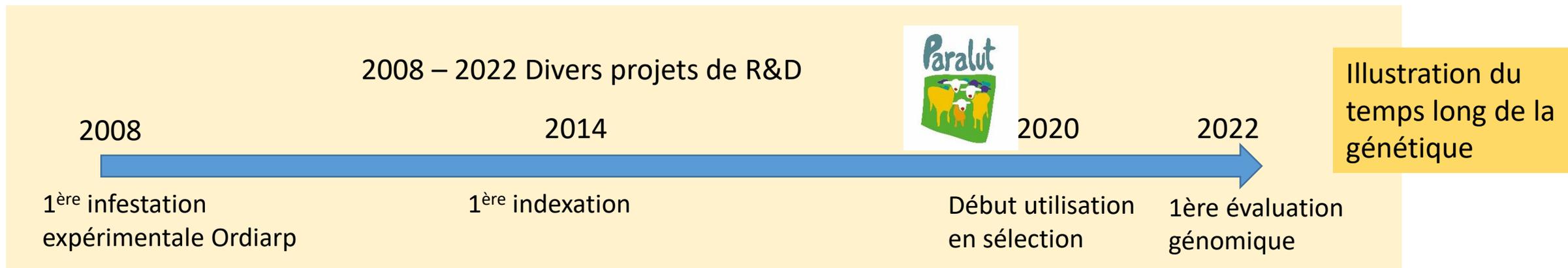
La résistance au parasitisme : ce que peut apporter la génomique

2022 : développement d'une indexation génomique

=> Sélectionner les jeunes agneaux sur la résistance au parasitisme (comme le lait, les taux, les cellules, la mamelle).

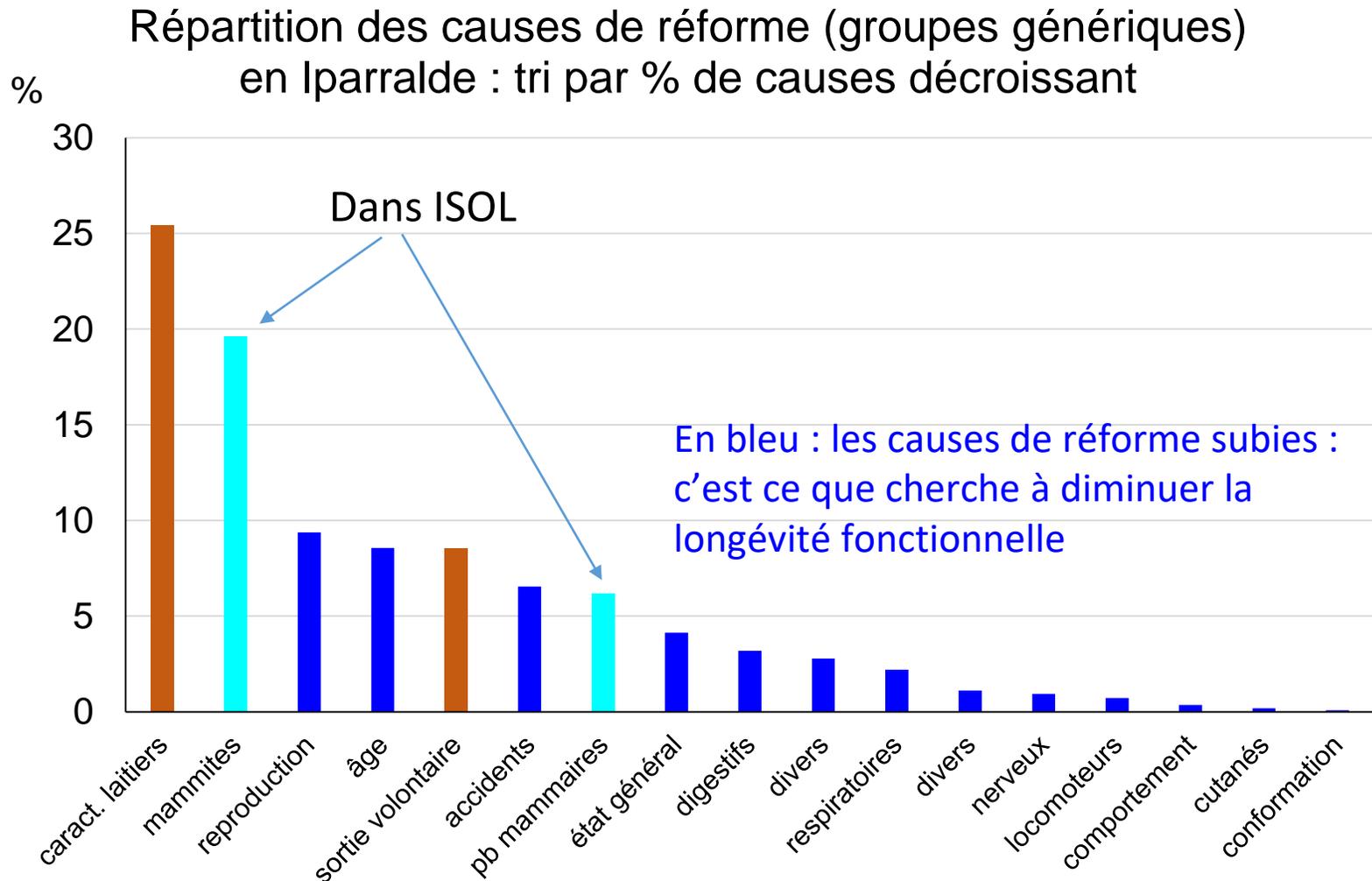
Le phénotypage à 1 an reste indispensable (entretenir population de référence + augmenter précision des index)

Bonne solution pour une sélection collective, cumulative sur le long terme



La longévité fonctionnelle

Hiérarchisation des causes de réforme



La longévité fonctionnelle

- Critère : Durée de Vie Productive = nb de jours entre la 1^{ère} MB et la réforme
- Volonté d'aller vers une indexation en routine en ovin lait et caprins

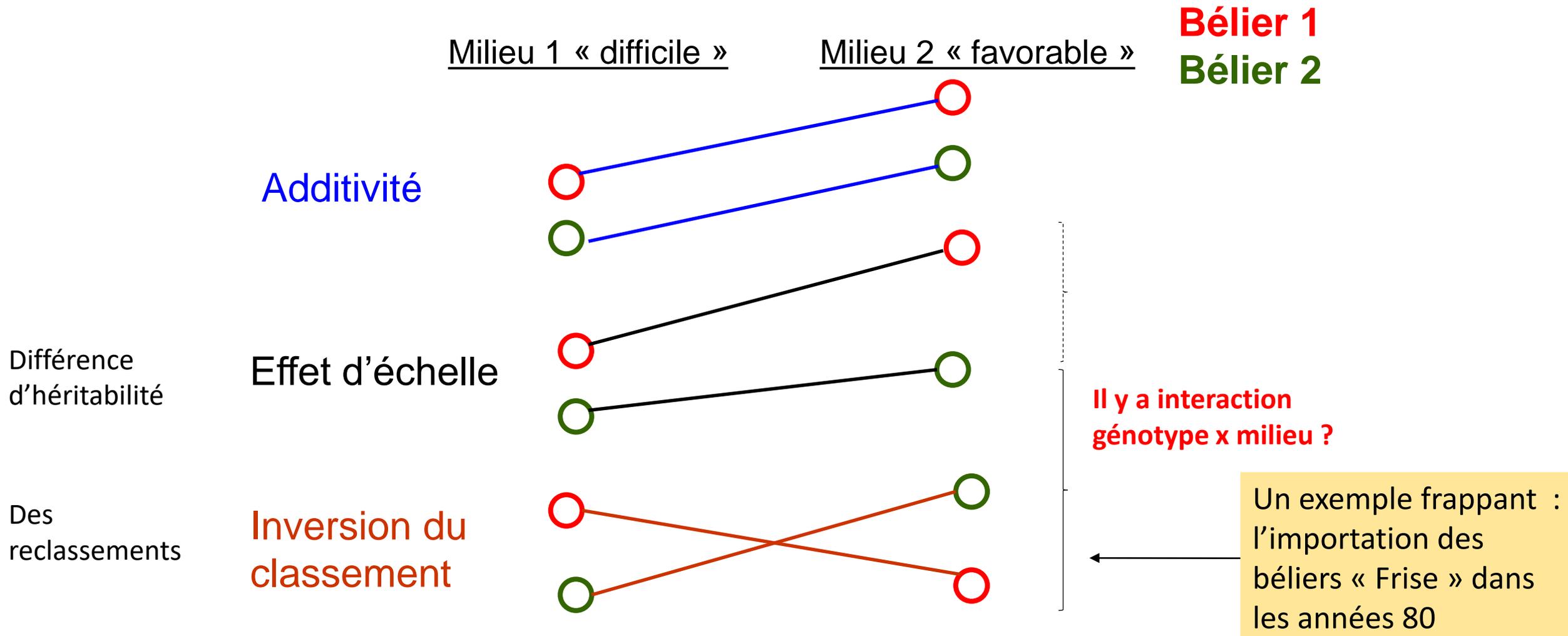
- Dans l'analyse génétique, on corrige pour la production laitière
- Héritabilité plutôt faible

	BB	MTN	MTR	LL
Héritabilité (h^2)	0,142	0,066	0,112	0,175

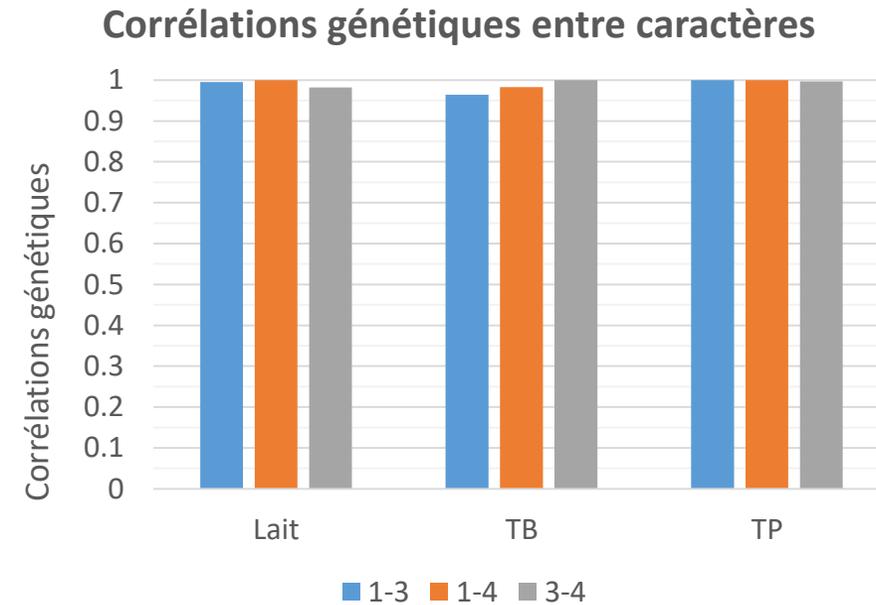
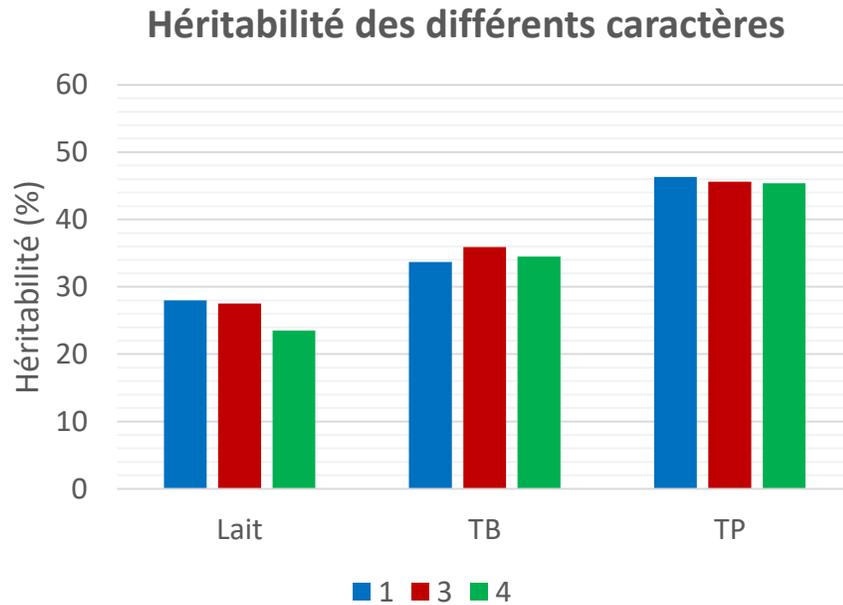
- Caractère composite (avantage et inconvénient)
- Le phénotype est connu tardivement
- Les relations avec le lait sont légèrement défavorables

La question des interactions génotype x milieu

C'est quoi une interaction génotype x milieu ?



Existe-t-il des interactions génotype x milieu dans le contexte ROLP ?



Des héritabilités qui varient légèrement selon les clusters

→ *léger effet d'échelle*

Des corrélations génétiques très fortes

→ *très peu de reclassements entre clusters*



Il n'y a pas d'interaction génotype x milieu en ROLP dans les Pyrénées-Atlantiques

- Élevages du noyau de sélection représentatifs des systèmes/milieu d'élevage
- Milieu homogène (systèmes à l'herbe, homogénéité géographique) au-delà de la diversité (transhumance ou non)
- Les béliers du noyau ont des fils/filles dans presque tous les élevages du noyau => un bon bélier doit être bon dans des milieux variés



Détection de la résilience quand mesures répétées

Source : Legarra, Garcia-Baccino



Sélection pour la résilience:

Il faut qu'il y ait des stress et il faut qu'on voit le stress.

Il est rare que l'on voit le stress sauf conditions météo extrêmes (rares donc pas utiles).

Pour des fermes avec un suivi en continu (croissance en station, compteurs à lait en ferme ...), dans SMARTER, on a mis au point une méthode pour repérer les stress

- Les jours ou il y a un stress, il y a des animaux plus et moins sensibles
- Cette différente sensibilité se voit dans des performances *de ce jour* plus variables entre les animaux
- si on regarde la variabilité journalière, on "voit" les jours de stress

Détection de la résilience quand mesures répétées

Source : Legarra, Garcia-Baccino



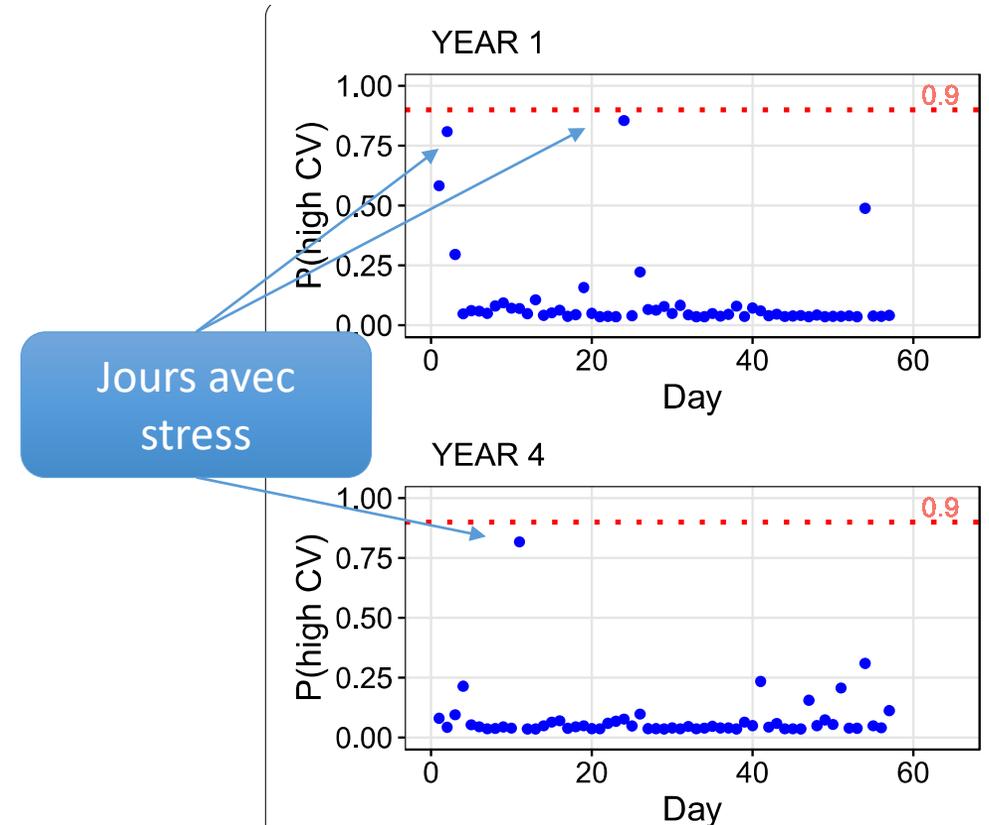
Détection du stress:

Unité INRAE de La Sapinière, consommation journalière

Notre méthode a bien identifié des jours où il y a eu des évènements stressantes (renouvellement du sol, réparations du bâtiment...)

Ensuite on peut calculer des index pour la résilience à ces jours de stress

On pourrait extrapoler cette situation si on dispose de compteurs à lait en ferme avec la production quotidienne.



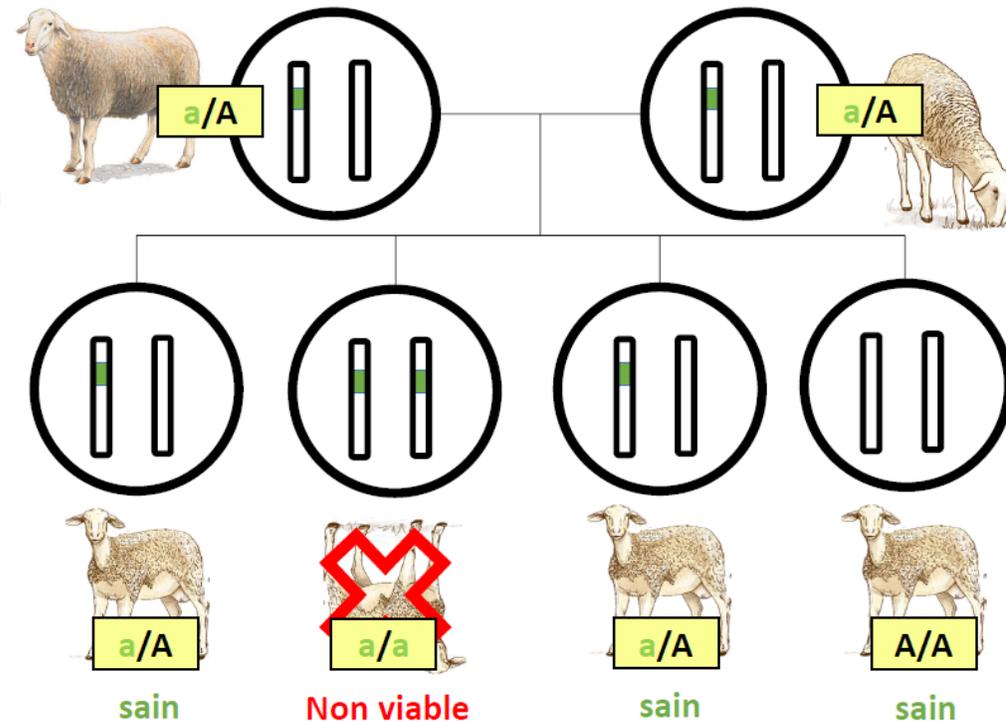
Mutations létales

Définition : mutation létale ?

Source : Ben Braiek

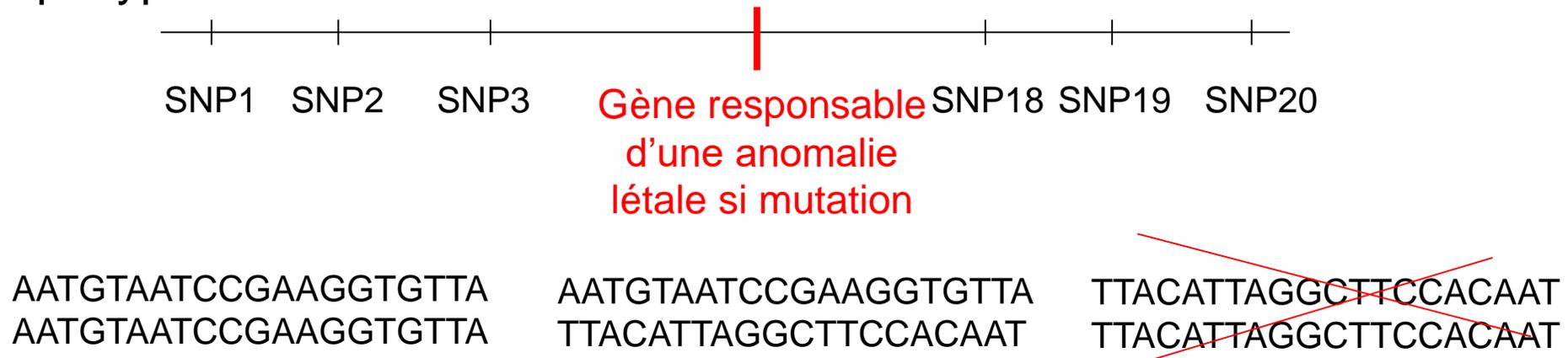


- **Anomalie** : phénotype déviant par rapport à la population
- **Mutation létale** : mutation grave entraînant la mort de l'embryon/foetus



La détection de mutations létales : un exemple d'utilisation des données génomiques

- Utilisation des génotypages existants (~40000 marqueurs SNP utiles - béliers)
- On étudie des combinaisons d'allèles de SNP successifs (haplotypes)
- On compare le nombre d'animaux homozygotes attendus et observés pour chaque haplotype.
- Hypothèse: si déficit d'homozygotes, il existe une mutation létale proche de la zone de l'haplotype



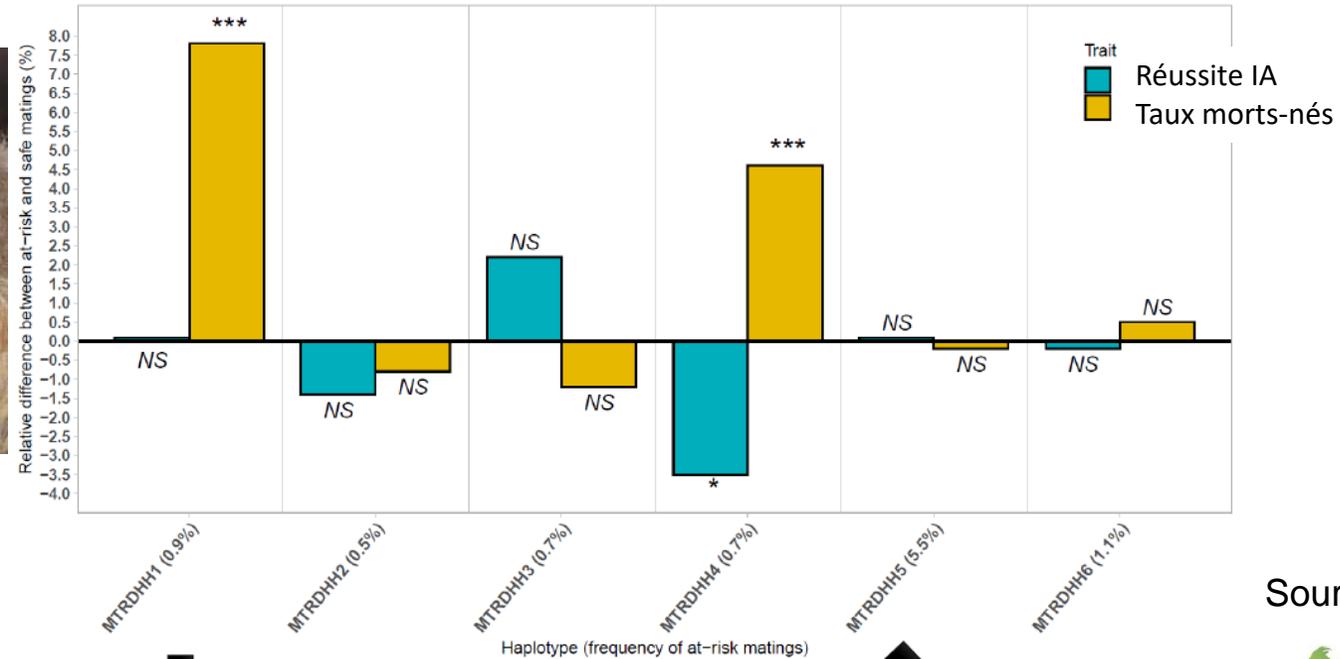
- On regarde si relation avec fertilité IA ou taux de mort-nés

La détection de mutations létales : un exemple d'utilisation des données génomiques

En Manech tête rousse



5567 animaux



Source : Ben Braiek



Étapes suivantes : (1) mettre un marqueur simple sur la puce ; (2) utiliser en sélection

Intérêt de la coopération internationale

Nouveaux caractères (efficacité et résilience) : difficiles à mesurer, moins de phénotypes disponibles => populations de référence plus petites

Intérêt de pooler les données entre pays pour tirer bénéfice d'une population de référence plus grande



- Projets internationaux pour estimer / améliorer la coopération internationale
 - Recommandations pour harmoniser la collecte des caractères
 - Outil pour l'implémentation d'une évaluation multi-pays
 - Promouvoir des programmes de sélection multi-pays
 - **Cf. Latxa x Manech**

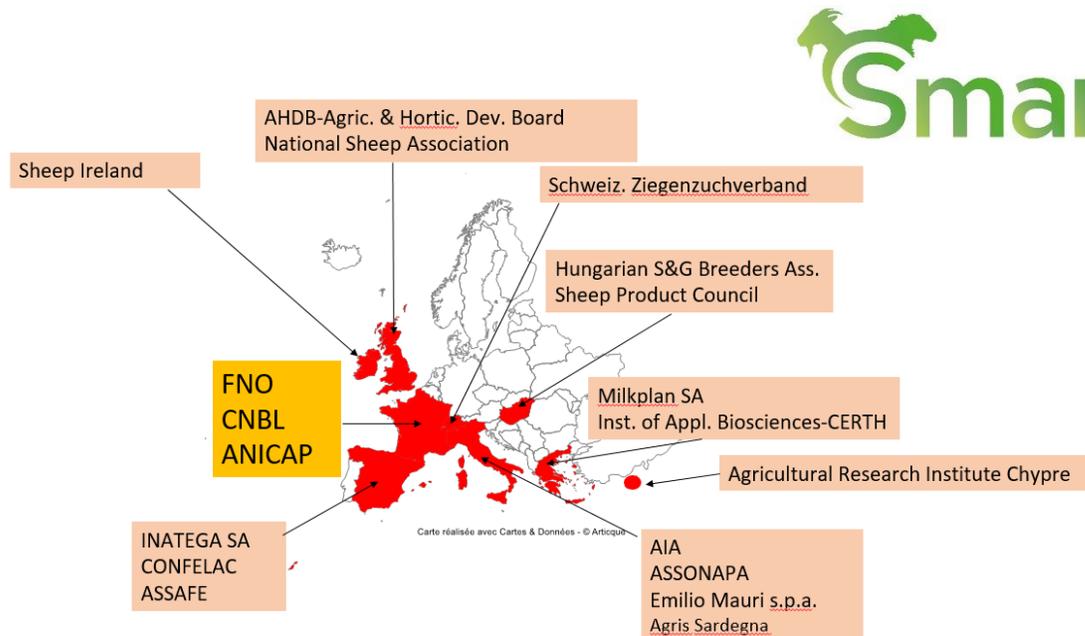


Beasain – GEIE ARTALDEAN



Intérêt de la coopération internationale

- SMARTER : création d'une plateforme de stakeholders (acteurs sélection / filière petits ruminants)
- Discuter / disséminer les travaux de SMARTER
- Instiller l'idée que la génétique peut être vertueuse (caractères en lien avec la transition agro-écologique, maintien de la diversité et de la variabilité génétique)



IGA-International Goat Association
FAO
FABRE-TP-Farm Animal Breeding & Reproduction TP
Global Agenda of Action in Support of Sustainable Livestock Platform
ILRI-International Livestock Res. Int.
SCAR-Standing Committee on Agricultural Research
Interbull Center
FACE Network
Illumina
AgResearch
AGBU

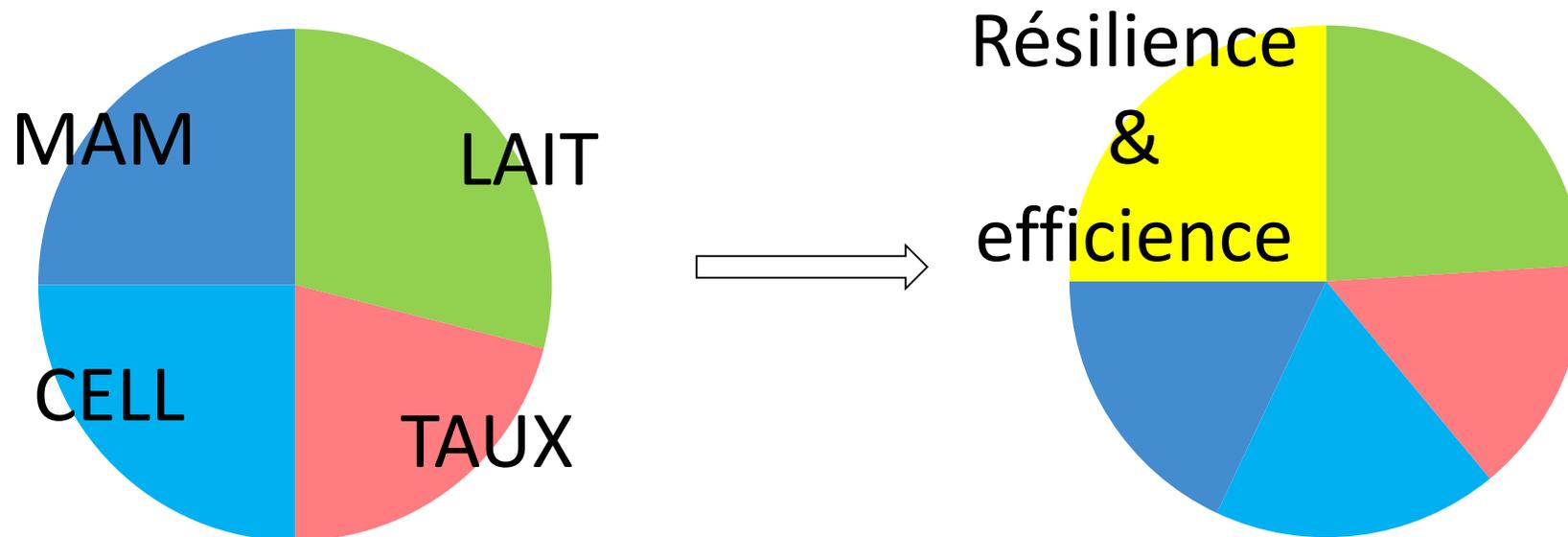


Expliciter la transition agro-écologique (dont la résilience) dans les objectifs de sélection = aller vers des objectifs de sélection plus équilibrés

C'est favorable à la variabilité génétique = au carburant de la sélection du futur.

Sélectionner de nouveaux caractères suppose de leur faire de la place

Gérer les compromis – Rôle de l'OS ROLP – la place du collectif vs l'individualisme





Conclusion et perspective

Oui, le phénotype est roi : la génomique peut être un booster, proposer des opportunités, mais la matière précieuse est le phénotype

Projet de la **plateforme de phénotypage au CDEO** (+ lien Fedatest, Neiker)

- Phénotypage du parasitisme
- Phénotypage d'autres caractères (efficacité, méthane, comportement au pâturage et en estive, résistance aux maladies, etc)

Réchauffement climatique et transition agro-écologique : travaux en cours et résultats de programmes récents notamment SMARTER (et ARDI)

AG CDEO

15 avril 2022

Ordiarp

J.M. Astruc / G. Lagriffoul

UMT GPR
Génétique pour un élevage durable
des Petits Ruminants

