Tolérance des vaches laitières à la chaleur : présentation des travaux conduits dans le cadre des projets CAICalor et Rumigen

GEDIL

22 septembre 2022

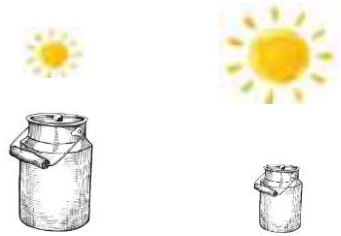
Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : deux projets complémentaires

Programme	CAICalor	Rumigen
Durée	48 mois (09/2020)	48 mois (07/2021)
Financement	APIS-GENE 177 K € (total 597 K €)	H2020 7 M €
Partenaires	UMT eBIS + DATA'STAT IDELE	18 partenaires européens
Axes de recherche	Génétique quantitative, épigénétique Déterminisme génétique de la thermo-tolérance Analyses trans-générationnelles ➢ Adaptation au changement climatique chez les bovins (vaches laitières en production et reproducteurs d'élite)	Génétique : quantitative, épigénétique et édition du génome Sciences sociales : acceptabilité sociétale des techniques développées et des programmes de sélection ➢ Développement de programmes de sélection pour un élevage bovin adapté au changement climatique
Populations étudiées	Vaches laitières (HOL, MON, NOR) Reproducteurs laitiers et allaitants	Vaches laitières (HOL, MON)
Pour plus d'informations	http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/caicalor-etude-de-ladaptation-des-bovins-au-changement-climatique.html	• https://rumigen.eu/ • https://www6.inrae.fr/saps-paris/RECHERCHES/Europe-et-international/Projet-H2020-RUMIGEN

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : enjeux et objectifs

Mieux appréhender les effets du réchauffement climatique sur l'efficience des élevages

- Hausse globale des températures
- Evénements extrêmes plus fréquents



- ➢ Identifier les conditions climatiques les plus critiques (critère, durée)
- ➢ Evaluer les conséquences de l'augmentation des températures sur différents caractères de production et de reproduction (vaches laitières et reproducteurs)
- ➢ Estimer l'impact d'un stress thermique subi par les parents sur les performances de leurs descendants
- ➢ Améliorer le conseil quant aux mesures à prendre pour atténuer l'impact des canicules

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : enjeux et objectifs

Acquérir une meilleure compréhension du déterminisme génétique de la thermo-tolérance pour en déduire les adaptations nécessaires dans l'orientation de la sélection

- Identifier des reproducteurs résistants à la chaleur
- Intégrer la résistance à la chaleur dans les objectifs de sélection futurs

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : axes de travail

Conséquences du stress climatique sur la production et la reproduction des vaches laitières (HOL, MON, NOR)

- **Etudes phénotypiques**
  - Etat des lieux de l'impact des canicules récentes sur les performances
- **Etudes génétiques**
  - Paramètres génétiques & premiers modèles d'évaluation génétique de la tolérance à la chaleur
  - Evolution des corrélations génétiques entre caractères selon les conditions climatiques
  - Cartographie des régions du génome impliquées & premiers modèles d'évaluation génomique de la tolérance à la chaleur

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : axes de travail

Conséquences du stress climatique sur la production de semences et d'embryons sur les reproducteurs élite

Partenariat avec entreprises de sélection (données des centres de collectes et de stations de donneuses)

- Evaluation des conséquences des canicules récentes sur la fertilité des éjaculats, le taux d'implantation des embryons et le taux d'anomalies chromosomiques sur les embryons produits lors d'un stress climatique
- Constitution d'une bio-banque d'éjaculats produits avant, pendant et après un épisode de stress climatique
- Identification des marques épigénétiques portées par le spermatozoïde et modifiées sous l'effet de vagues de chaleur
- Modèles et paramètres génétiques de la thermo-tolérance dans le cadre de la production spermatique et la production d'embryons + recherche de régions du génome influençant le caractère
- Lien entre thermo-tolérance en tant qu'animal élite et en tant qu'animal en élevage

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : axes de travail

Analyses trans-générationnelles des effets des stress de chaleur

- Mesure de l'effet d'un stress thermique ayant eu lieu à différents stades de la gestation sur les performances (production, reproduction) des génisses
- Identification d'un lien entre de la semence produite sous vague de chaleur et les performances de production des descendants
- Préconisation aux professionnels quant à l'utilisation des semences produites durant des vagues de chaleur / insémination en période de stress thermique

Etude de l'adaptation des bovins au changement climatique : axes de travail

Diffusion des résultats des programmes de recherche

Enjeux forts : Remise en question profonde des orientations de la sélection compte tenu des fortes oppositions attendues entre la productivité et la résistance à la chaleur

- **Aux entreprises de sélection**
  - Recommandations quant à la période de collecte ou solutions palliatives en centre de collecte et stations de donneuses pour garantir la qualité des gamètes produits
- **A l'ensemble du dispositif génétique français**
  - Evolutions des niveaux génétiques sur les différents caractères
  - Simulations des évolutions génétiques à venir (sélection des reproducteurs avec les index de synthèse actuels/nouveaux index de synthèse)
  - Poids à donner aux caractères de tolérance à la chaleur afin d'améliorer le niveau génétique de ces caractères

Premiers résultats

Niveau populationnel

Impact de la météo sur les performances des vaches laitières ?

Niveau individuel

Variabilité individuelle dans la réponse au stress de chaleur ?

= Etudes des interactions entre génotypes et l'environnement climatique (GxE)

Données

Production

Performances de contrôles élémentaires (2016-2020)

- Quantité de lait (Lait)
- Quantités et taux de matières grasses et protéiques (MG, MP, TB, TP)
- Score de cellules somatiques (SCS)

1ères et 2èmes lactations analysées séparément

Météo

Température et humidité quotidiennes estimées sur une grille de 9892 carrés de 8x8km

THI_3j = THI moyen sur une période de 3 jours (2 jours avant le jour de contrôle + le jour de contrôle)

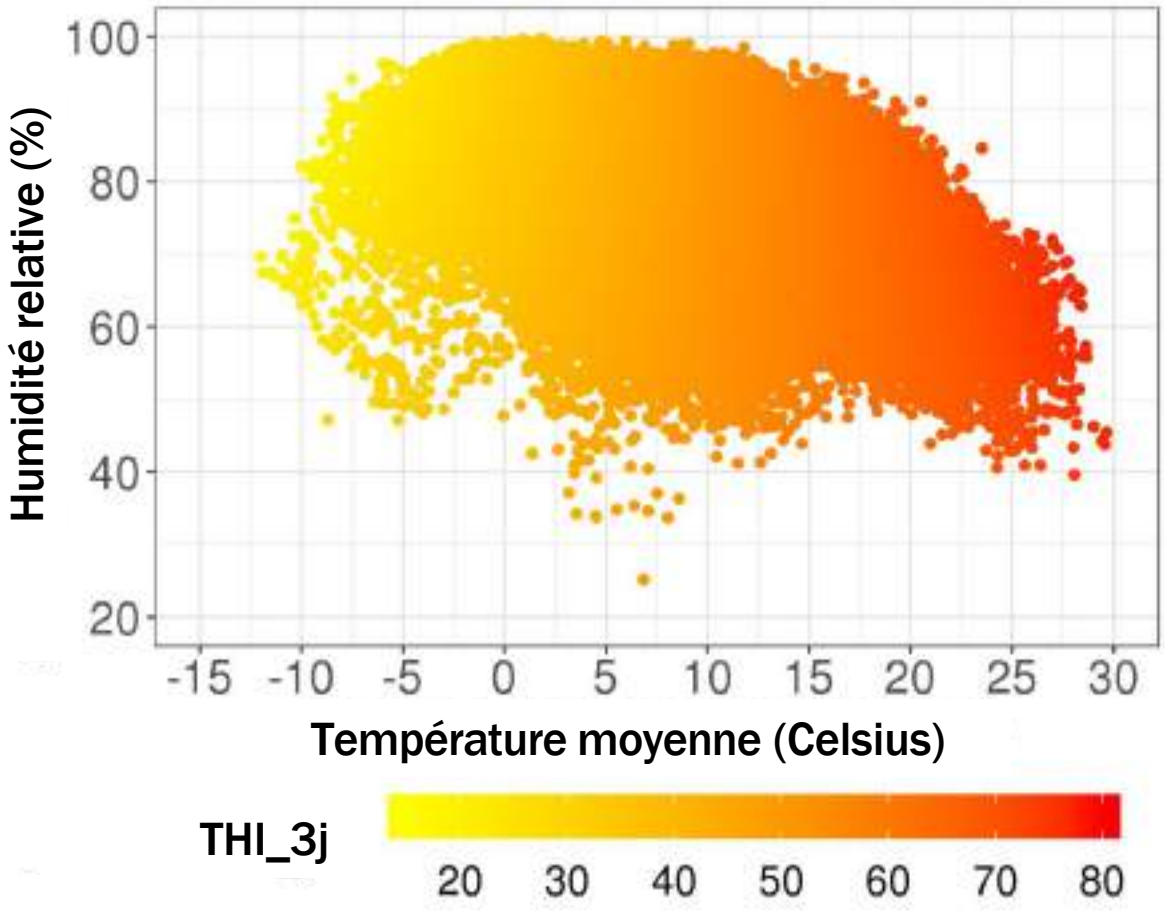
$$THI=(1.8\times T+32)-(0.55-0.0055\times HR)\times(1.8\times T-26)$$

Correspondance avec le code postal de chaque ferme

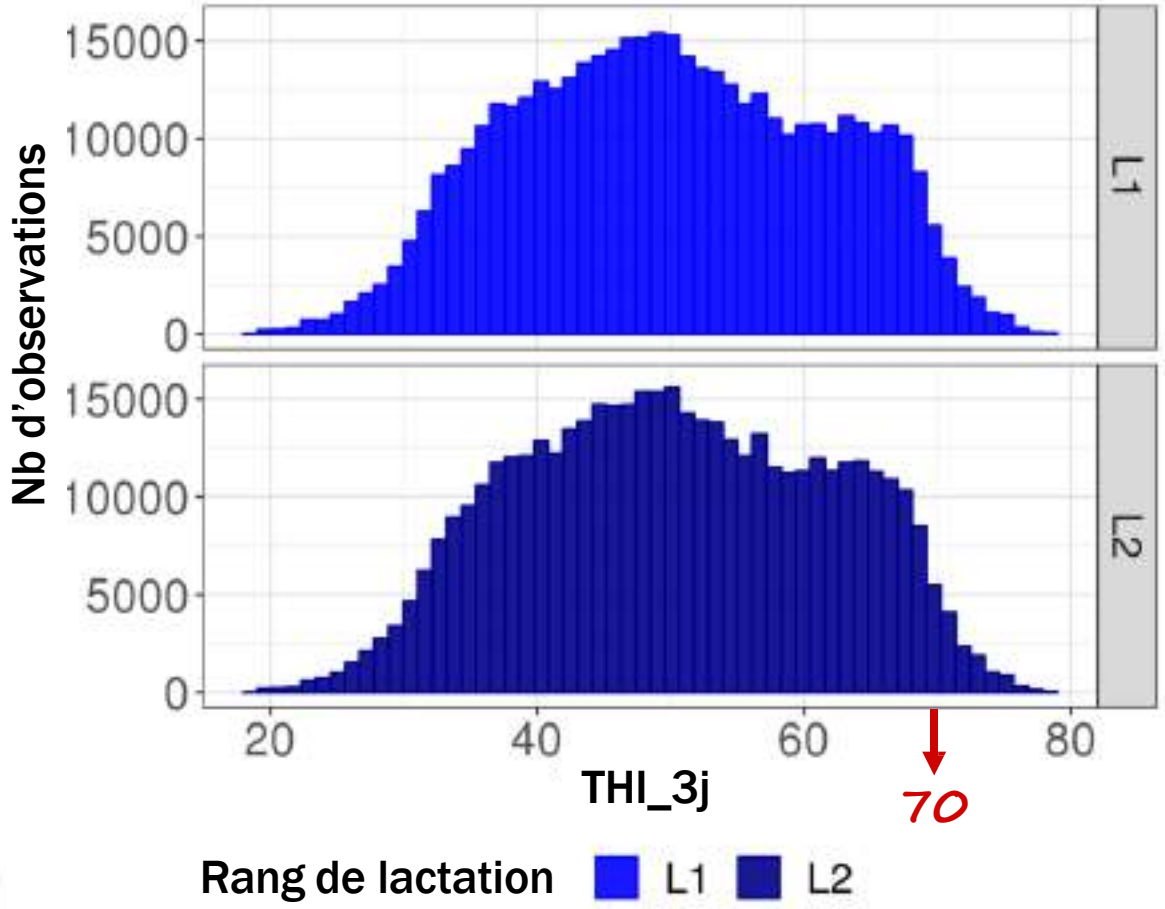
Jeu de données complet

Données

Environ 450 000 contrôles élémentaires et 55 000 vaches par rang de lactation



Distribution des THI moyens sur la période des 3 jours précédents le jour de contrôle



THI = 70 ⇔ 22-24°C

Premiers résultats

Niveau populationnel

Impact de la météo sur les performances des vaches laitières ?

Niveau individuel

Variabilité individuelle dans la réponse au stress de chaleur ?

= Etudes des interactions entre génotypes et l'environnement climatique (GxE)

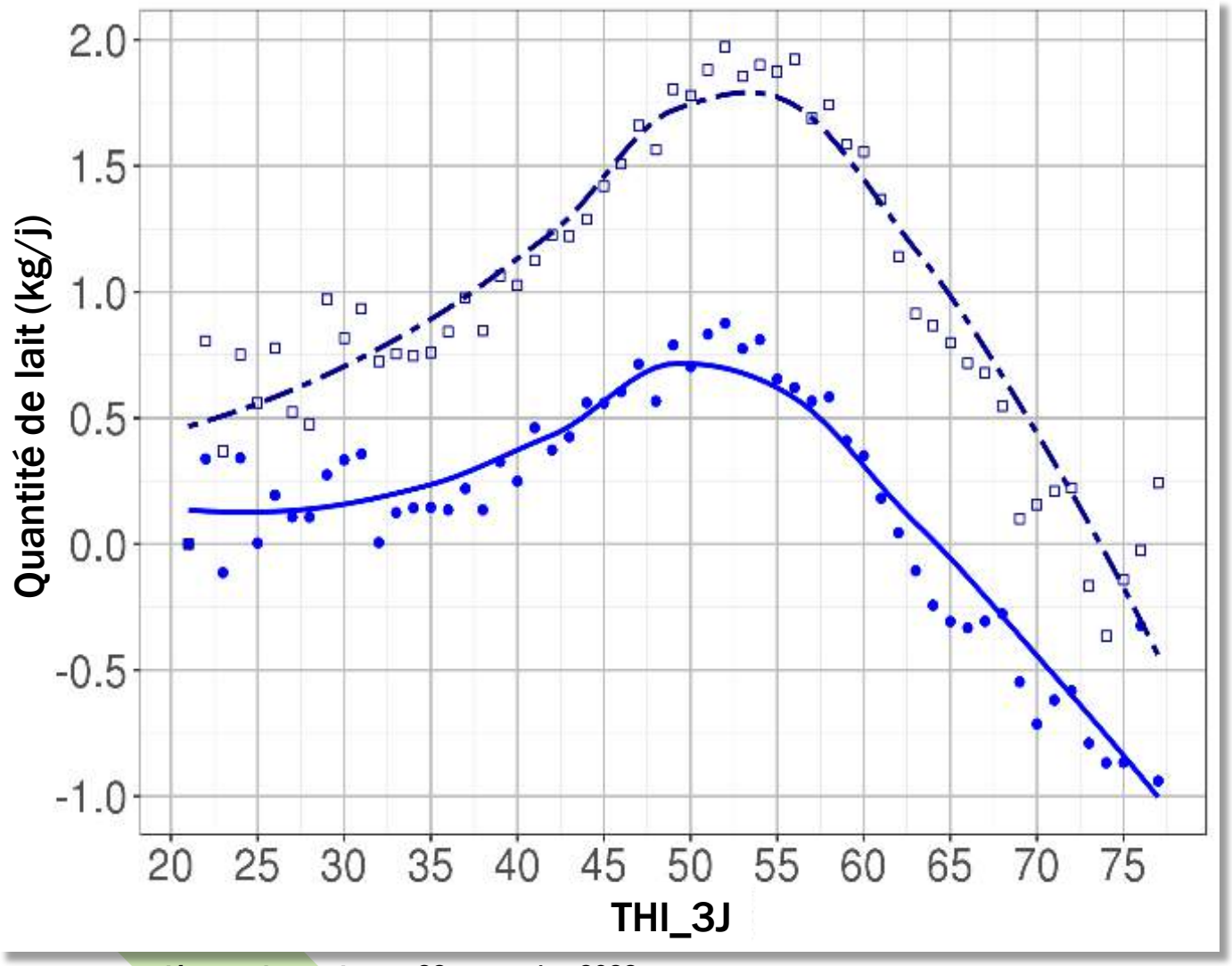
Niveau pop : modèle statistique

$$y_{hjklmnip} = \mathrm{TA_h} + \mathrm{STLAC_j} + \mathrm{AGE_VEL_k} + \mathrm{GEST_l} + \mathrm{SAIS_VEL_m} + \mathbf{THI_n} + \boldsymbol{g_i} + \boldsymbol{pe_p} + e_{hjklmnip}$$

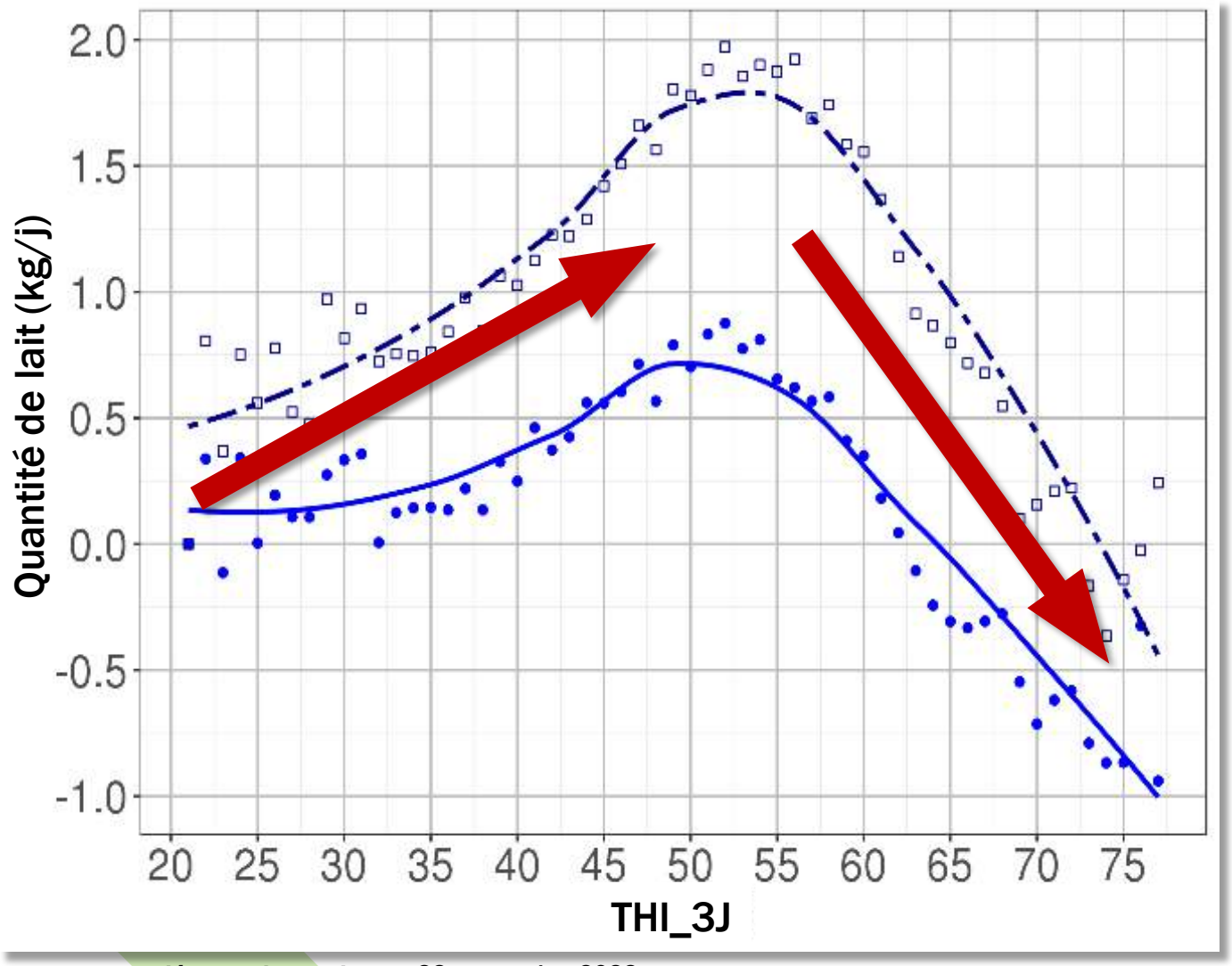
Le THI est considéré comme un effet fixe

Effet estimé = *Effet moyen du THI sur les performances de toutes les femelles*

Niveau pop : résultats / LAIT



Niveau pop : résultats / LAIT

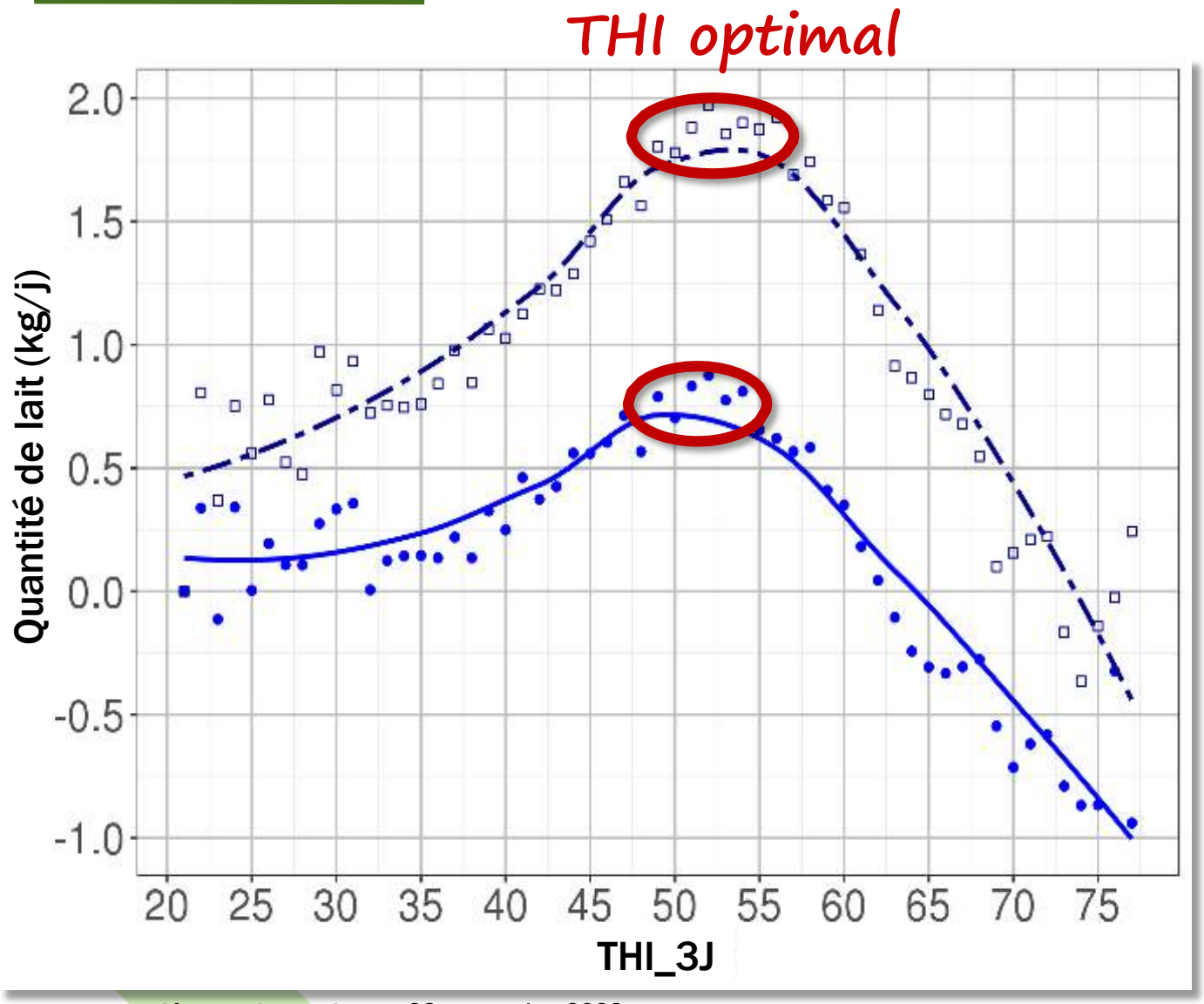


Quantité de lait :

Stress de chaleur
Stress de froid de moindre intensité

THI optimal : 47-55 (5 à 13 °C)

Niveau pop : résultats / LAIT

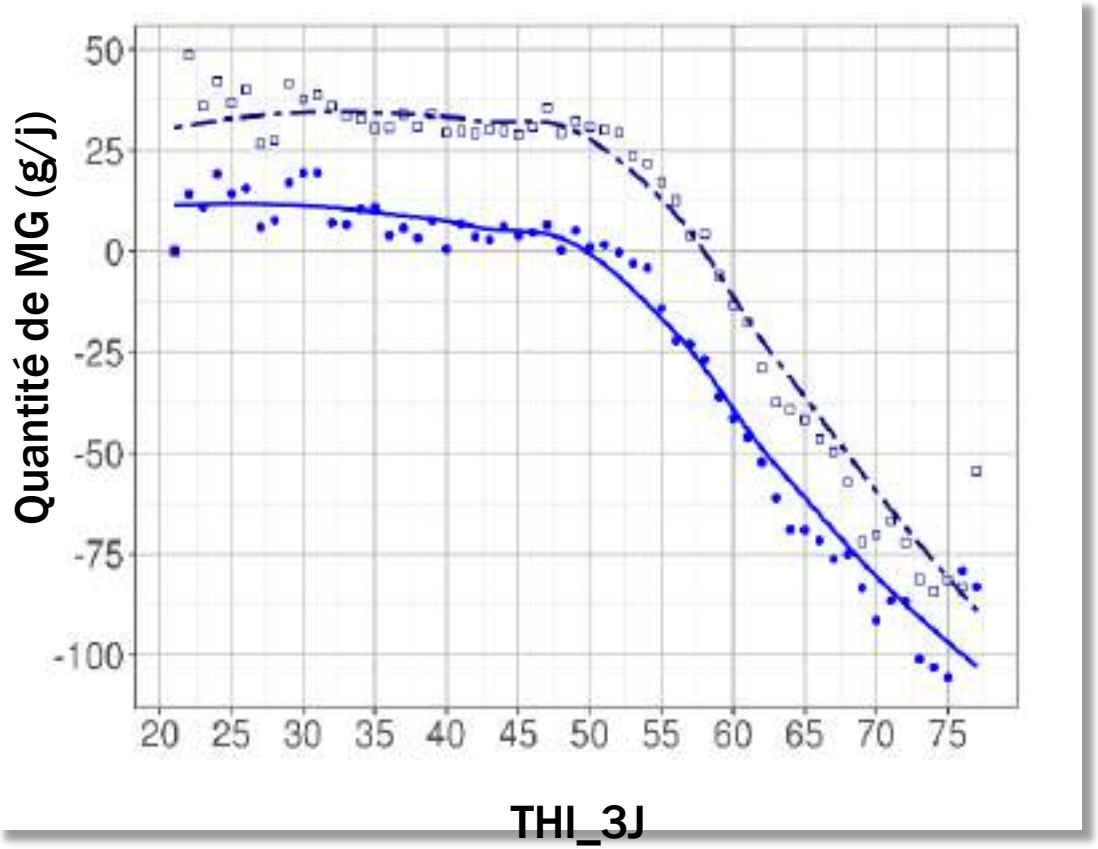


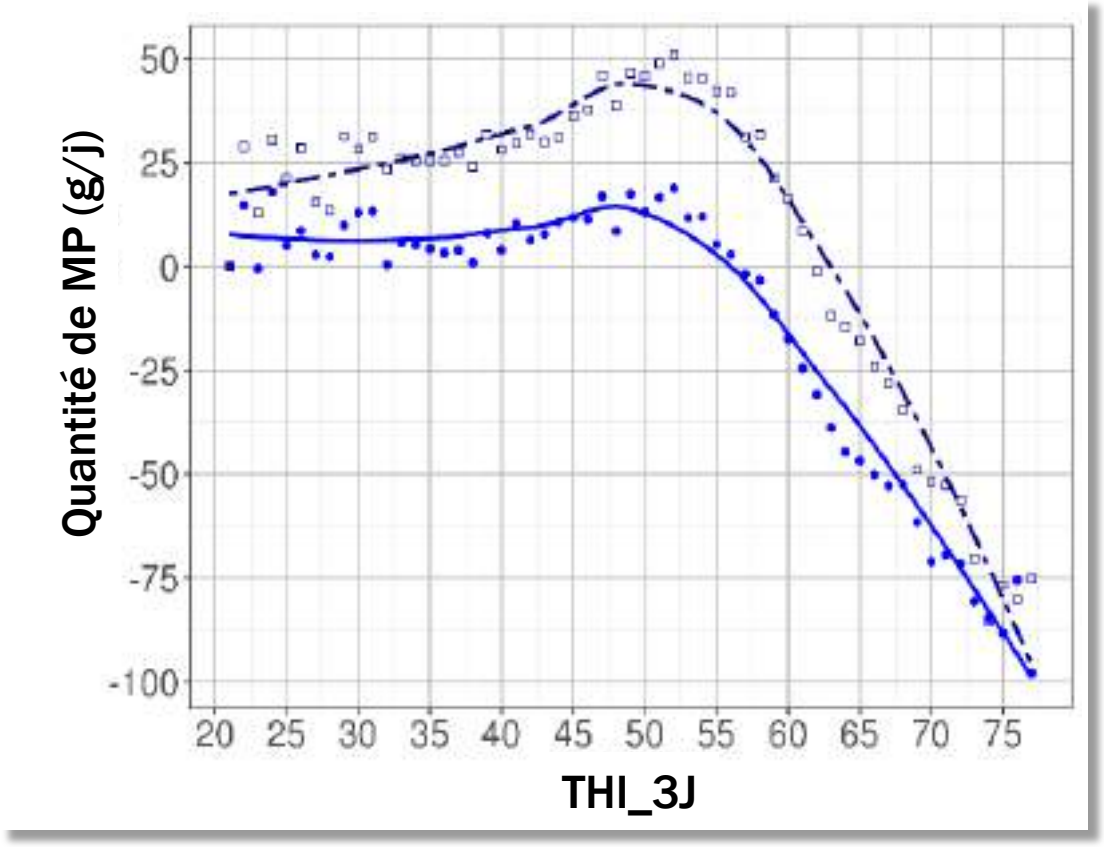
Quantité de lait :

Stress de chaleur
Stress de froid de moindre intensité

THI optimal : 47-55 (5 à 13 °C)

Niveau pop : résultats / MG et MP

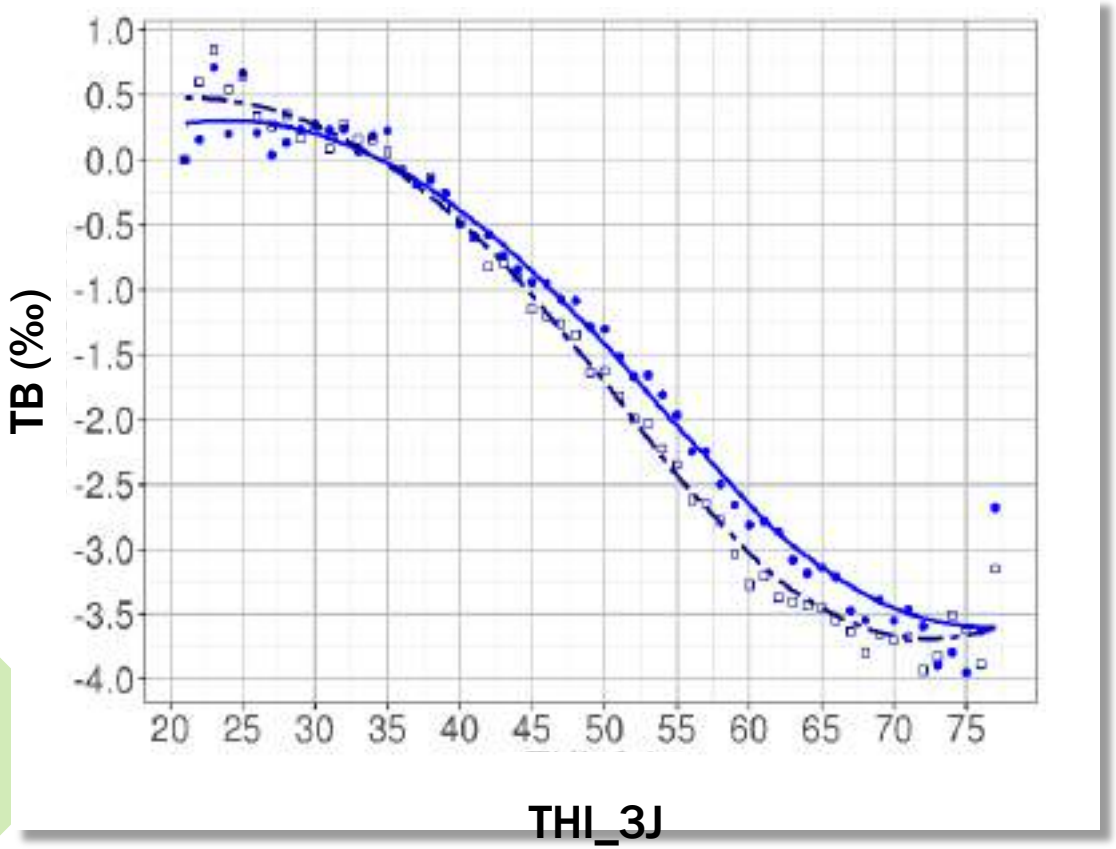


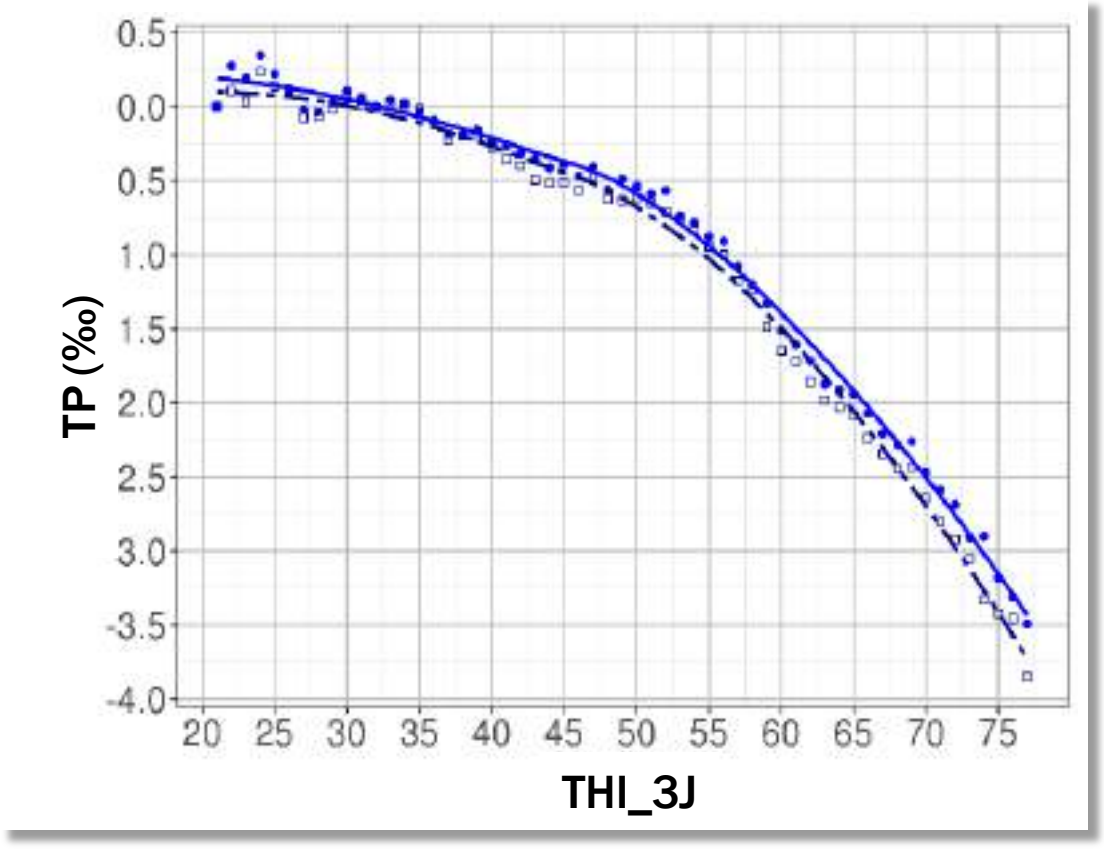


Quantités de matières : stress de chaleur à partir de THI 50-55

1ère lactation 2ème lactation

Niveau pop : résultats / TB et TP

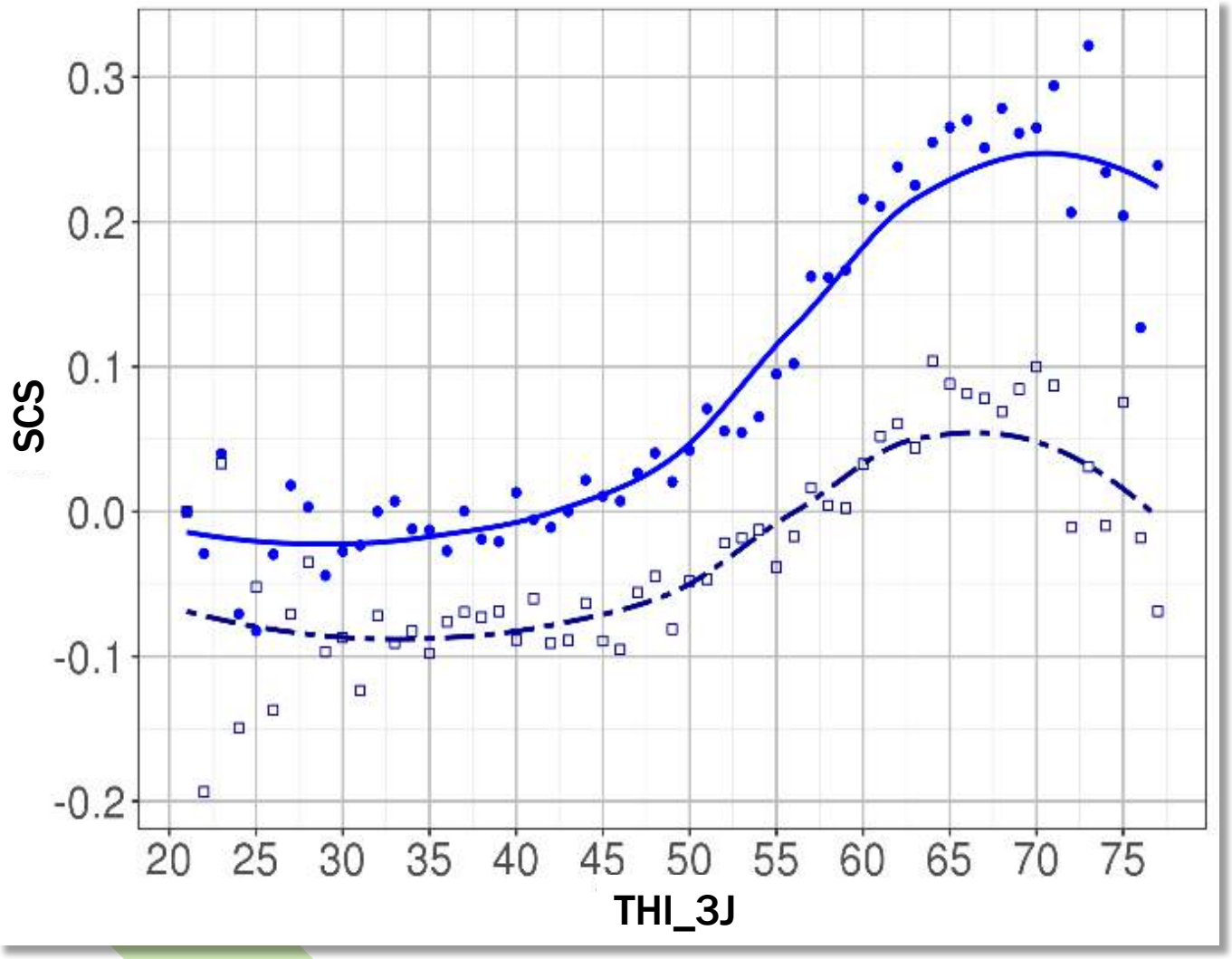




Taux : optimum à THI faible (≤ 35) en raison de l'effet cumulé du THI sur la quantité de lait (stress de froid) et sur les quantités de matières (peu d'effet des THI < 50) ➔ à THI faible les MB et MP sont diluées dans une moins grande quantité de lait

1ère lactation 2ème lactation

Niveau pop : résultats / Cellules



SCS :

Stress de chaleur uniquement

THI optimal ≤ 45 (≤ 7 °C)

1ère lactation — 2ème lactation

Niveau pop : résultats

Differences entre les moyennes des performances à **THI optimal** et les moyennes des performances en **condition de stress de chaleur élevé** (THI ≥ 70) (L1: 1ère lactation; L2: 2ème lactation)

		LAIT	MG	MP	TB	TP	SCS
THI optimal	L1	47-55	≤ 50	45-55	≤ 35	≤ 35	≤ 45
	L2	47-55	≤ 50	45-55	≤ 35	≤ 35	≤ 45
≠ de perf entre les THI optimal et THI ≥ 70	L1	-1,49 kg/j	-100,4 g/j	-92,9 g/j	-3,82 ‰	-3,04 ‰	+0,25
	L2	-1,86 kg/j	-107,8 g/j	-112,5 g/j	-4,00 ‰	-3,23 ‰	+0,11
≠ de perf entre les THI optimal et THI ≥ 70, en % de la moyenne	L1	-7,0	-12,4	-13,2	-9,9	-9,1	+10,3
	L2	-7,4	-11,5	-13,8	-10,3	-9,6	+4,8

- Le *THI optimal* varie entre caractères mais est toujours *≤ THI 55* (⇔ 12 to 13°C)
- Intra-caractère, un même optimum en 1ère et 2ème lactation
- Une baisse de 5 à 14% des performances entre le THI optimal et THI>70

Premiers résultats

Niveau populationnel

Impact de la météo sur les performances des vaches laitières ?

Niveau individuel

Variabilité individuelle dans la réponse au stress de chaleur ?

= Etudes des interactions entre génotypes et l'environnement climatique (GxE)

Niveau individuel (GxE) : modèle statistique

Modèle avec régressions aléatoires

La valeur génétique n'est plus supposée constante, *elle peut varier selon l'environnement (THI)*

A chaque valeur de THI correspond un caractère différent, avec sa variabilité propre et son héritabilité

$$y_{hjkli_td} = \mathrm{TJC_h} + \mathrm{STLAC_j} + \mathrm{AGE_VEL_k} + \mathrm{GEST_l} + \sum_{r=0}^{5} Z_r(\boldsymbol{t})(\boldsymbol{d})\boldsymbol{g_{ir}} + \sum_{m=0}^{5} W_m(\boldsymbol{t})(\boldsymbol{d})\boldsymbol{pe_{im}} + e_{hjkli_td}$$

Fonctions de régression dépendantes du THI (ou du STLAC)

⇨ **Pour chaque fonction un coefficient de régression génétique est estimé pour chaque animal**

Fonction d'ordre 0 (constante, indépendante du THI et du STLAC)	⇨ Niveau génétique quel que soit le THI ou le STLAC
Fonctions d'ordre 1, 2 et 3 dépendantes du THI	⇨ Réponse du génotype aux variations de THI
Fonctions d'ordre 1 et 2 dépendantes STLAC	⇨ Réponse du génotype aux variations de STLAC

Niveau individuel (GxE) : modèle statistique

Modèle avec régressions aléatoires

La valeur génétique n'est plus supposée constante, *elle peut varier selon l'environnement (THI)*

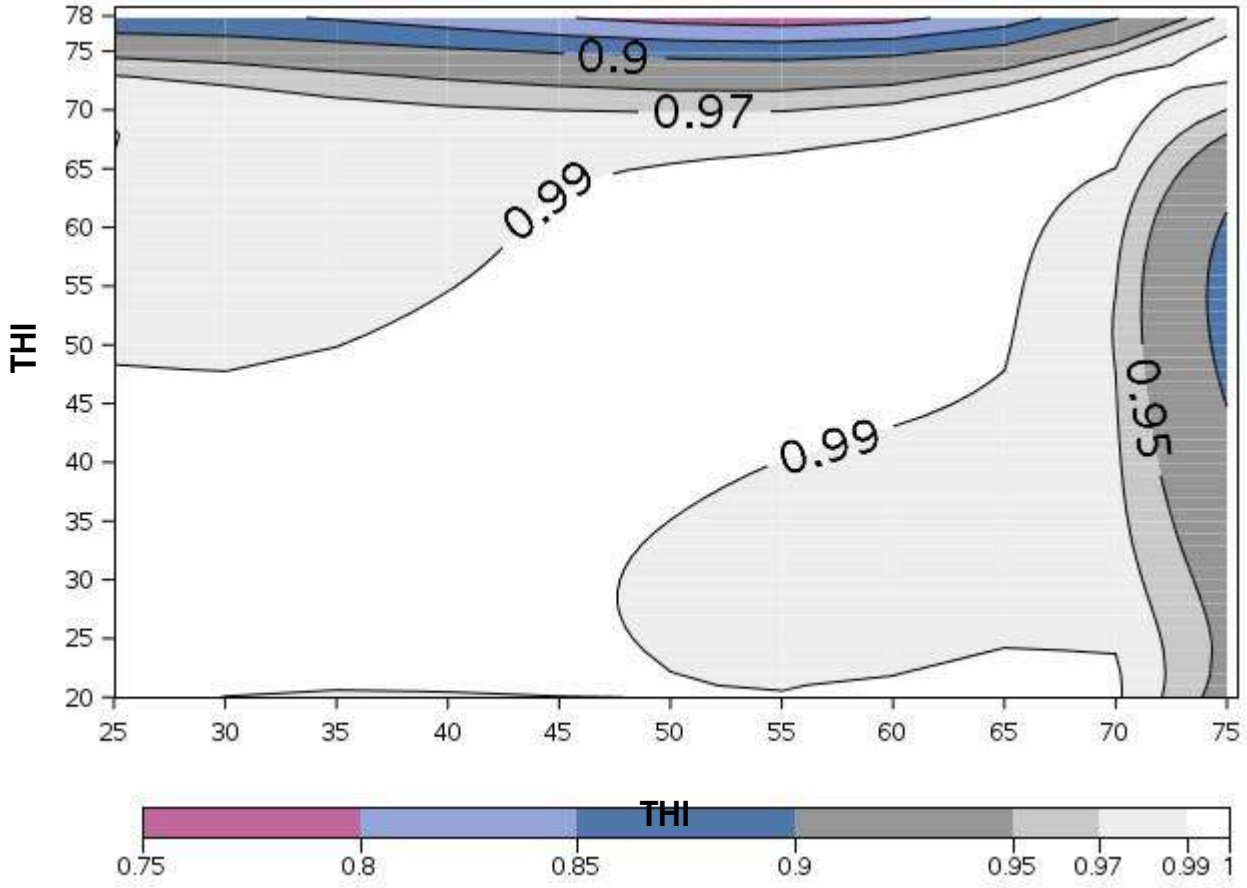
A chaque valeur de THI correspond un caractère différent, avec sa variabilité propre et son héritabilité

Corrélations génétiques pour un même caractère à des THI différents

	Corrélations génétiques	
	faibles	fortes (> 0,80)
Régions du génome impliquées (localisation, expression)	≠	≡
Valeurs génétiques	*reclassements possibles*	*pas ou peu de reclassements*

Niveau individuel (GxE) : corrélations génétiques

Corrélations génétiques : MP en 1ère lactation à différents THI (stade = 150 jours de lactation)



Quel que soit le caractère :

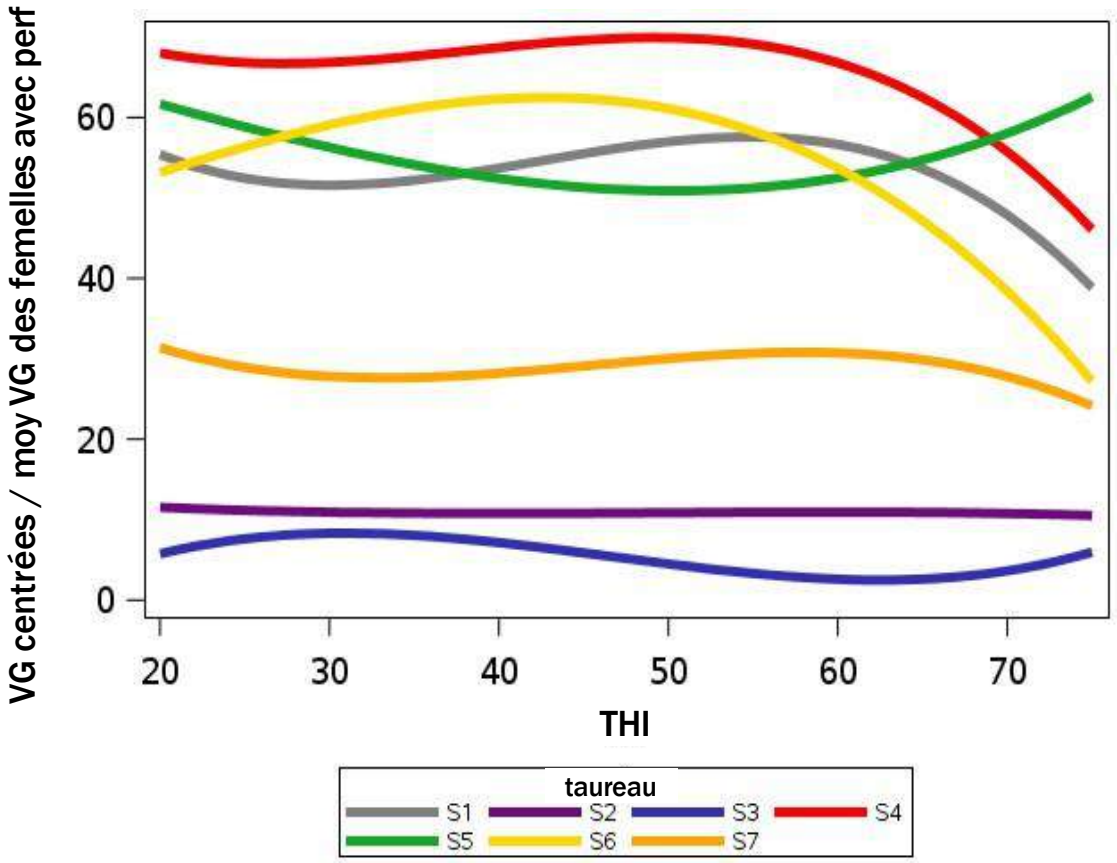
Aucune correlation < 0,80

La plupart > 0,90

Pas (peu) d'interaction GxE identifiées avec ces données

Niveau individuel (GxE) : valeurs génétiques

Trajectoires des valeurs génétiques : MP en 1ère lactation (taureaux avec au moins 500 filles avec perf, à 150j lact)



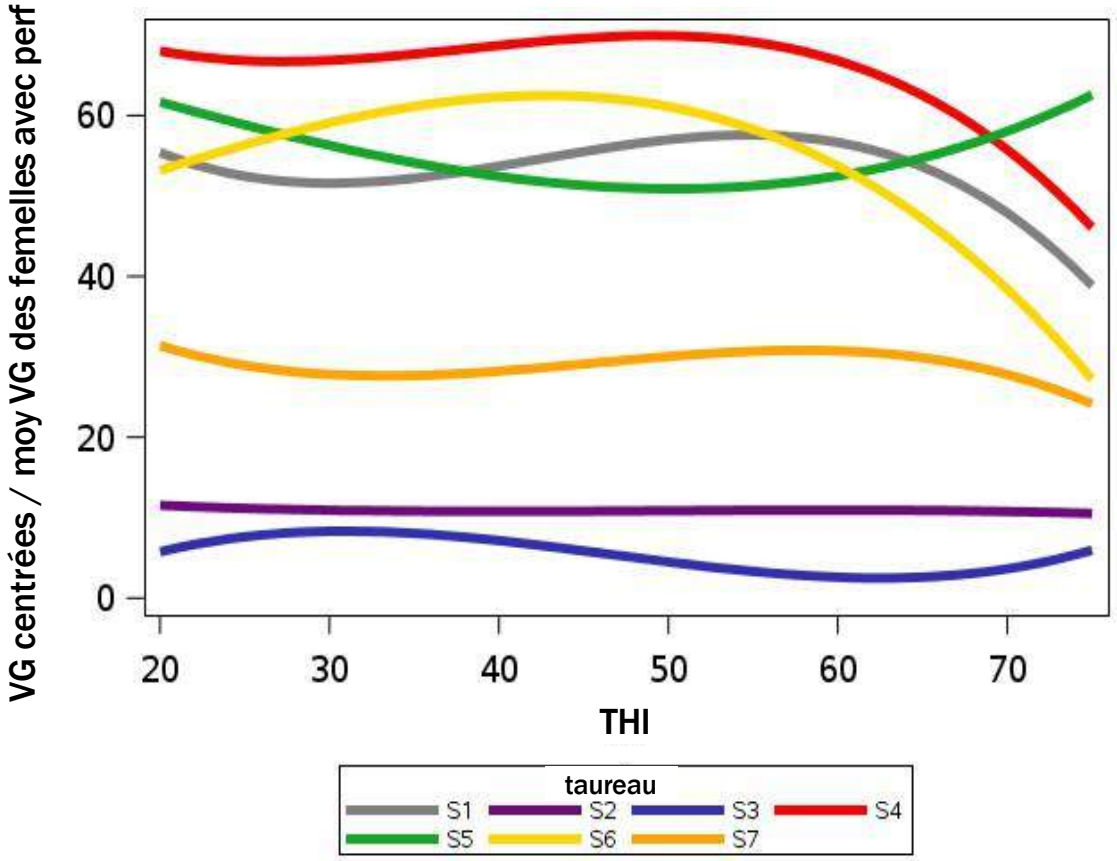
De manière générale, intra-caractère, les meilleurs taureaux sont toujours les mêmes

Quelques reclassements et de la variabilité dans les pentes à un THI donné

Certains taureaux semblent plus tolérants au stress de chaleur

Niveau individuel (GxE) : valeurs génétiques

Trajectoires des valeurs génétiques : MP en 1ère lactation (taureaux avec au moins 500 filles avec perf, à 150j lact)



De manière générale, intra-caractère, les meilleurs taureaux sont toujours les mêmes

Quelques reclassements et de la variabilité dans les pentes à un THI donné

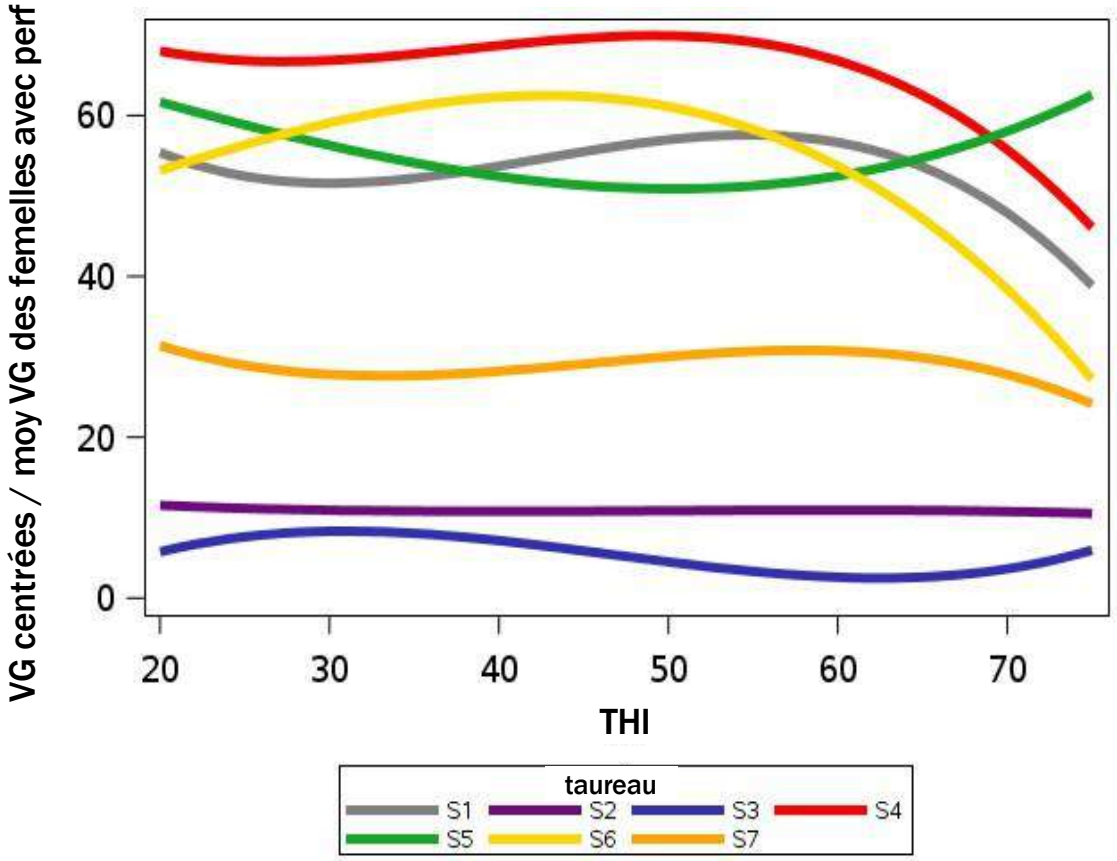
Certains taureaux semblent plus tolérants au stress de chaleur

*VG indiquent le **classement** entre animaux **à un THI donné**, pas la prédiction de production*

Toutes les familles voient leur production diminuer lorsque le THI augmente

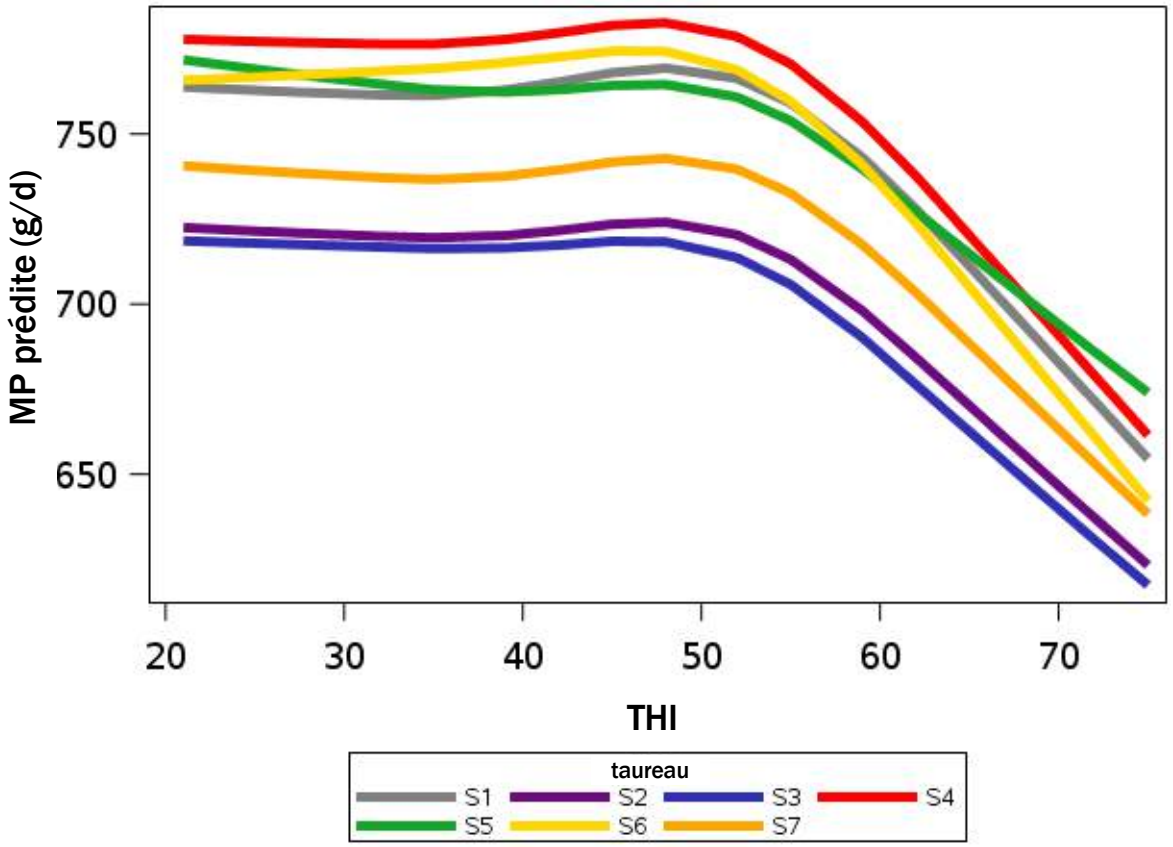
Niveau individuel (GxE) : valeurs génétiques

Trajectoires des valeurs génétiques : MP en 1ère lactation (taureaux avec au moins 500 filles avec perf, à 150j lact)



MP en 1ère lactation : production prédite

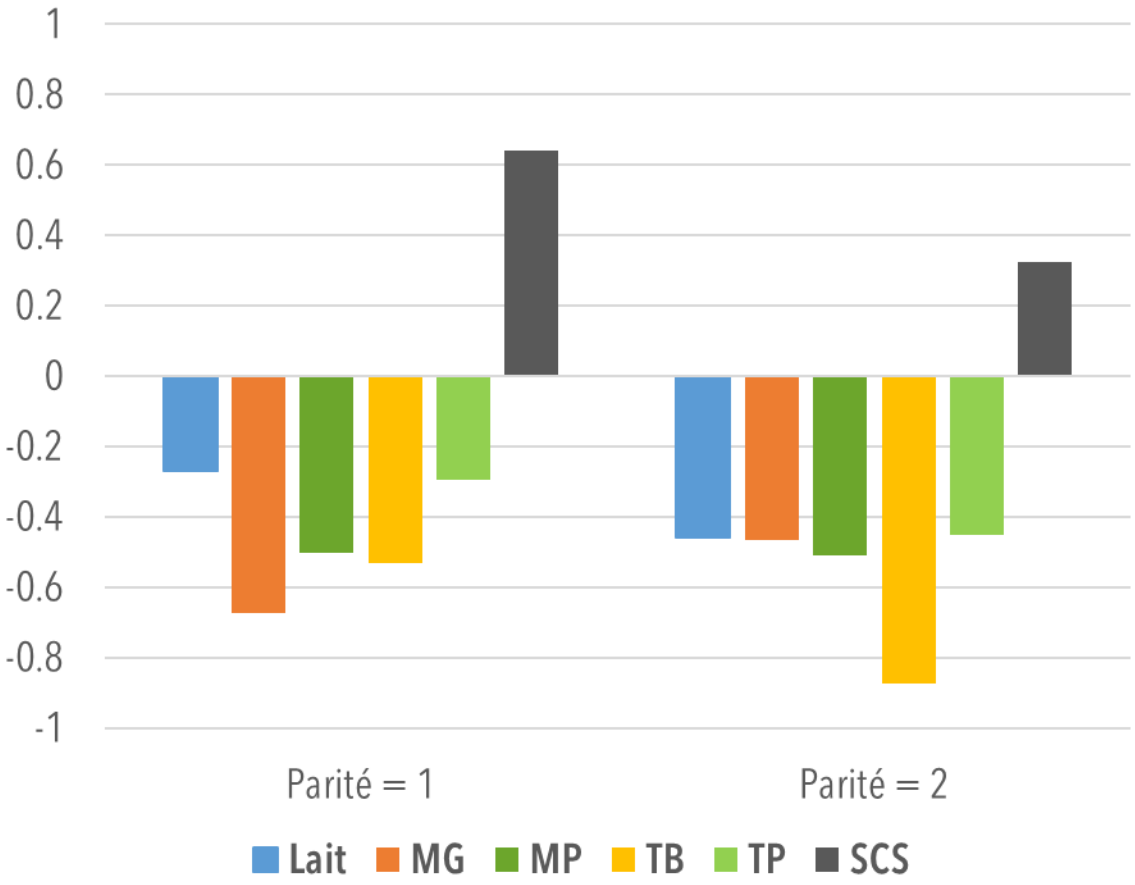
production moyenne à chaque THI + VG au THI et 150j lact)

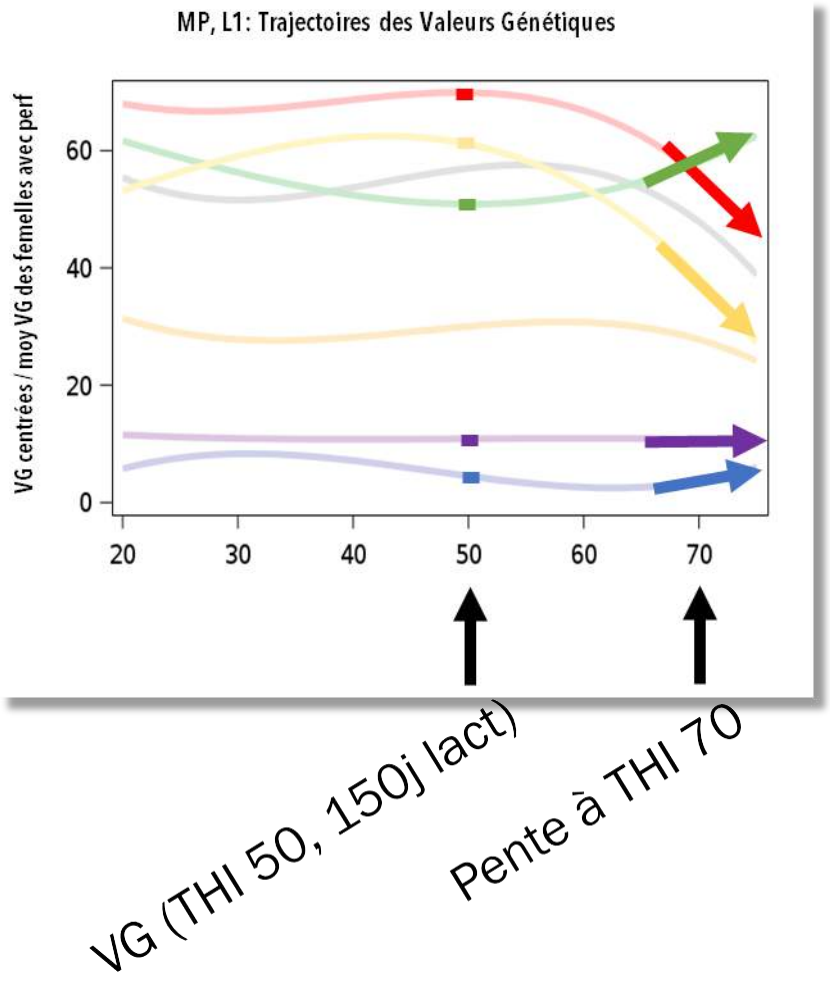


Niveau individuel (GxE) : Pentes à THI élevé

Corrélations Génétiques entre

pente à THI 70 et VG à THI 50 (150j de lactation)

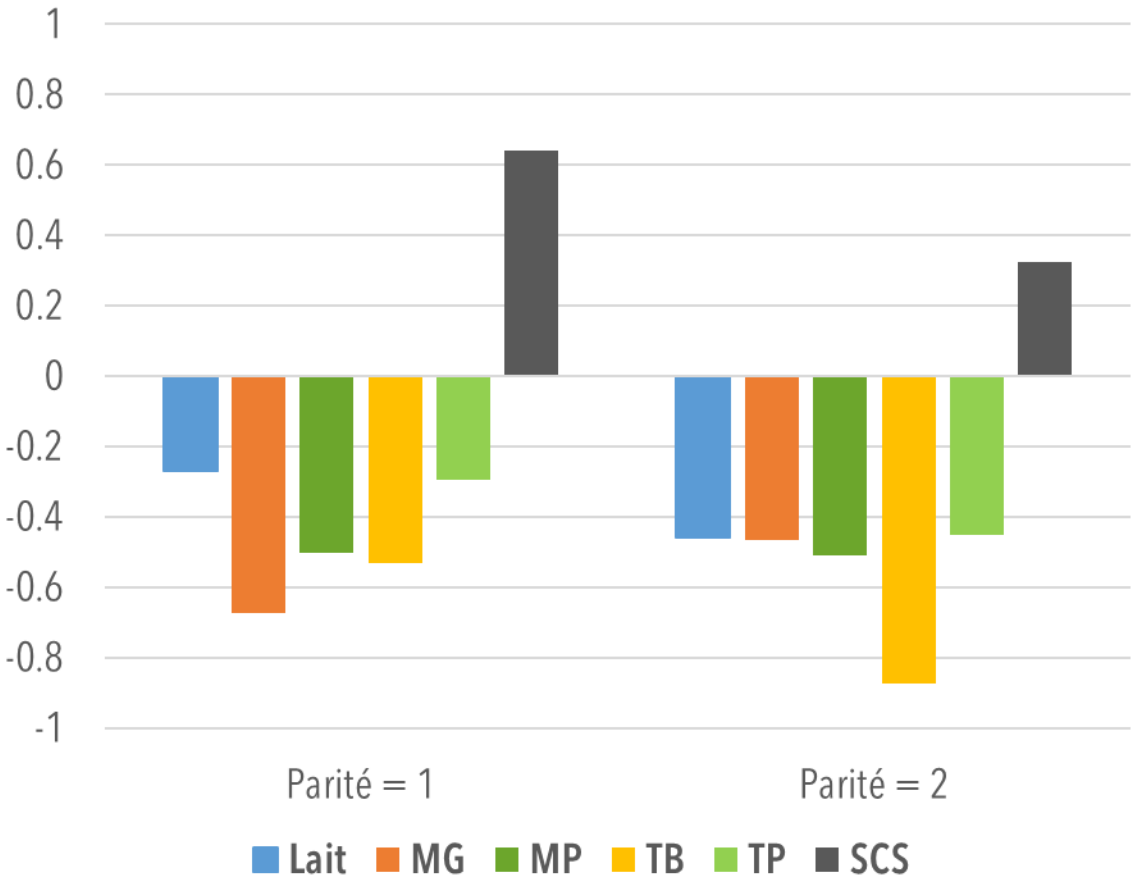




Niveau individuel (GxE) : Pentes à THI élevé

Corrélations Génétiques entre

pente à THI 70 et **VG** à THI 50 (150j de lactation)



Pour tous les caractères de production :

Corrélations génétiques *défavorables*

= VG élevées à THI modéré ⇔ pentes négatives (↘ VG) à THI élevé

Pour SCS :

Les animaux les plus sensibles à THI moyen sont encore *plus sensibles à THI élevé*

= VG élevées à THI modéré (= + de cellules) ⇔ pentes positives (↗ VG) à THI élevé

Premiers résultats : en résumé…

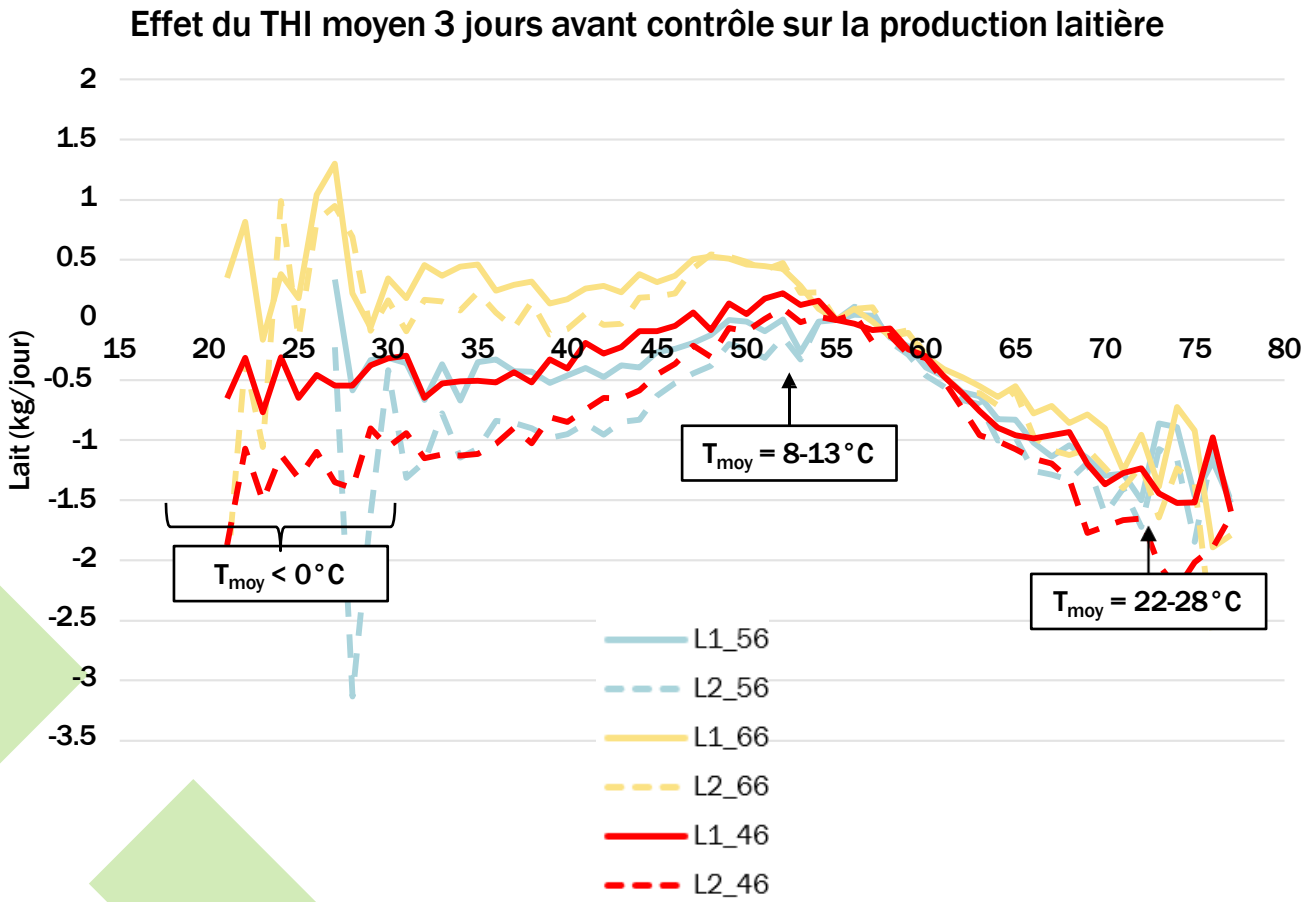
Niveau populationnel

- La **température optimale** pour les Montbéliardes élevées en France est actuellement ≤ 13°C pour les caractères de production et les cellules somatiques
- L'augmentation des températures va conduire à une **baisse des performances**

Niveau individuel

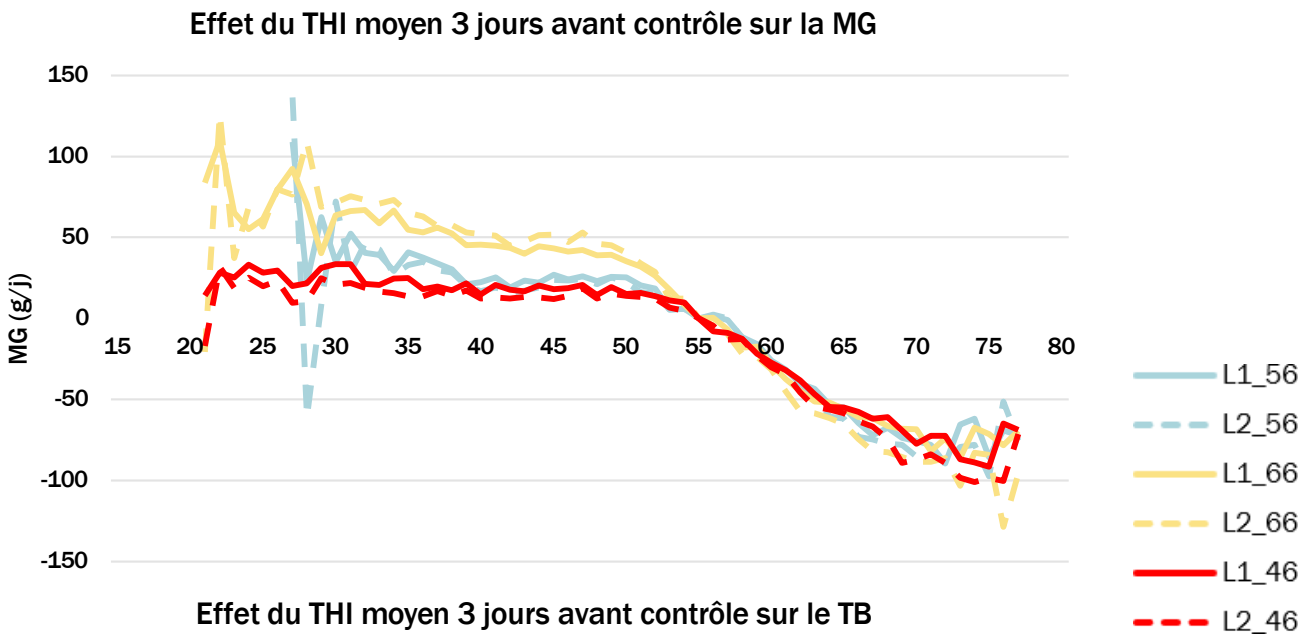
- Peu d'interactions G x THI mais les trajectoires des VG permettraient d'identifier des animaux plus *tolérants au stress de chaleur*
- Stress de chaleur ⇨ **sensibilité encore accrue** des animaux déjà sensibles aux mammites à THI modéré

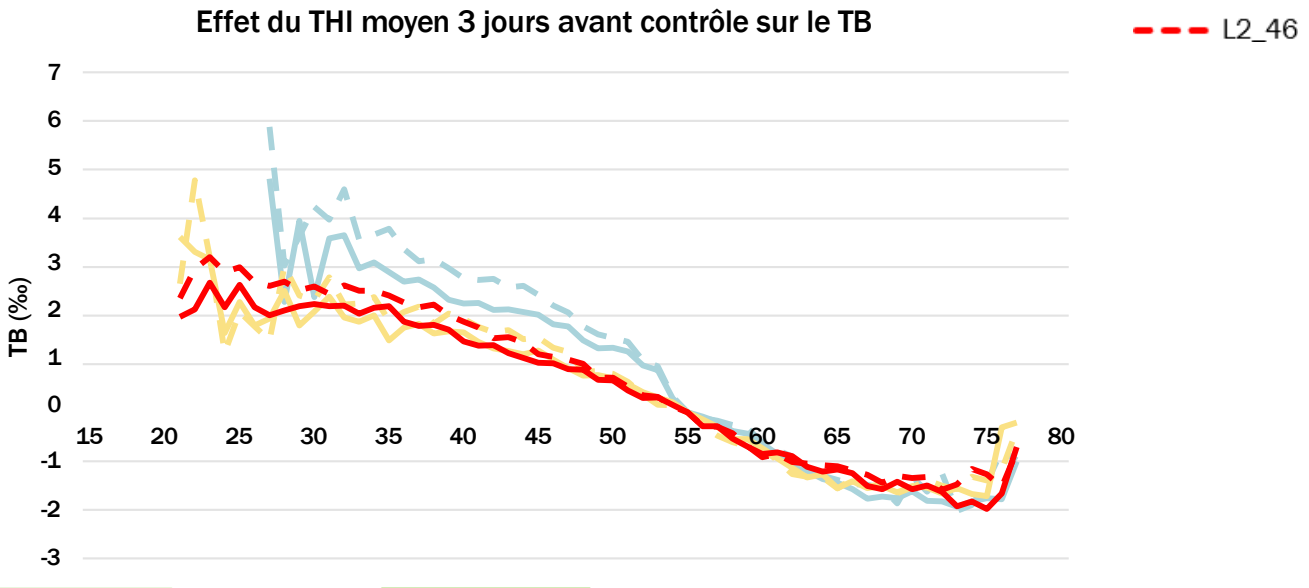
Dans les 3 grandes races françaises, des tendances similaires

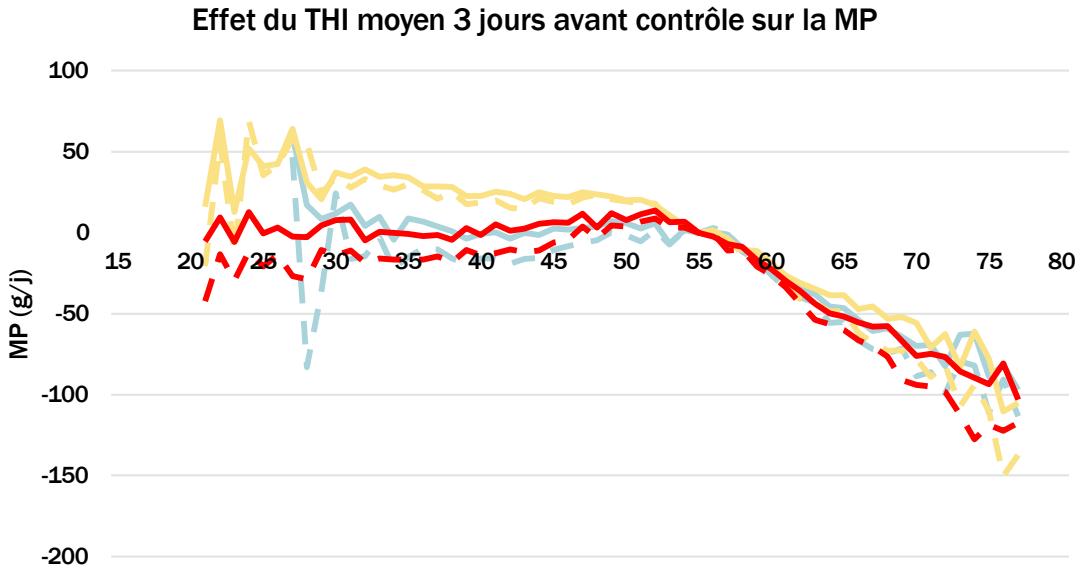


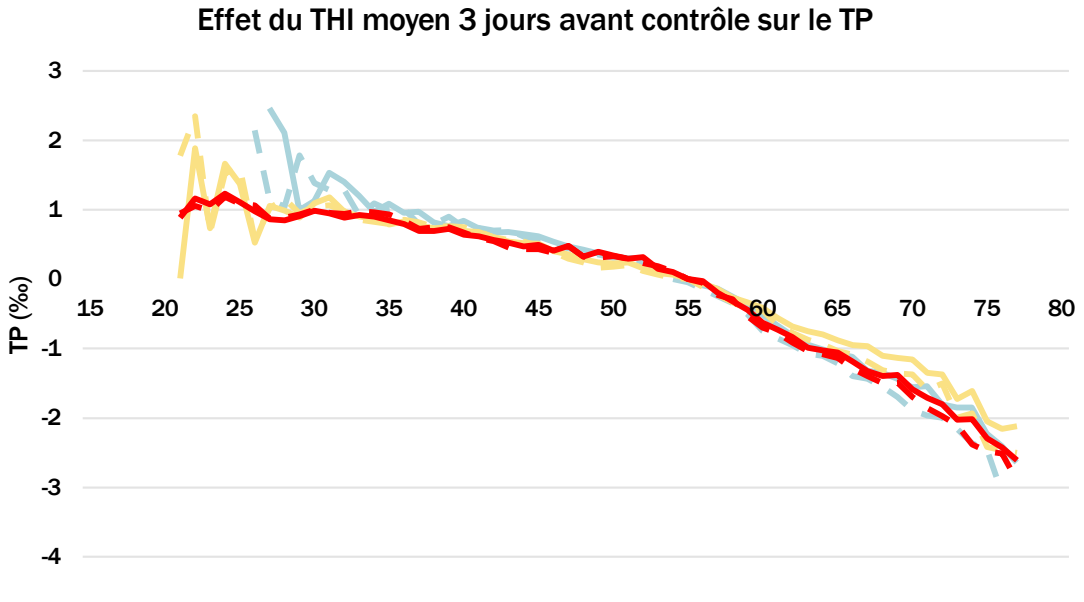
- Plage de confort à des températures basses (THI 50-55 = T_{moy} 8-13°C)
- Perte de 100-125g lait/jour/pt de THI au dessus du THI de confort
  Jusqu'à 3kg lait/jour non produit si stress important
- Production sub-optimale en dessous du THI de confort

Dans les 3 grandes races françaises, des tendances similaires



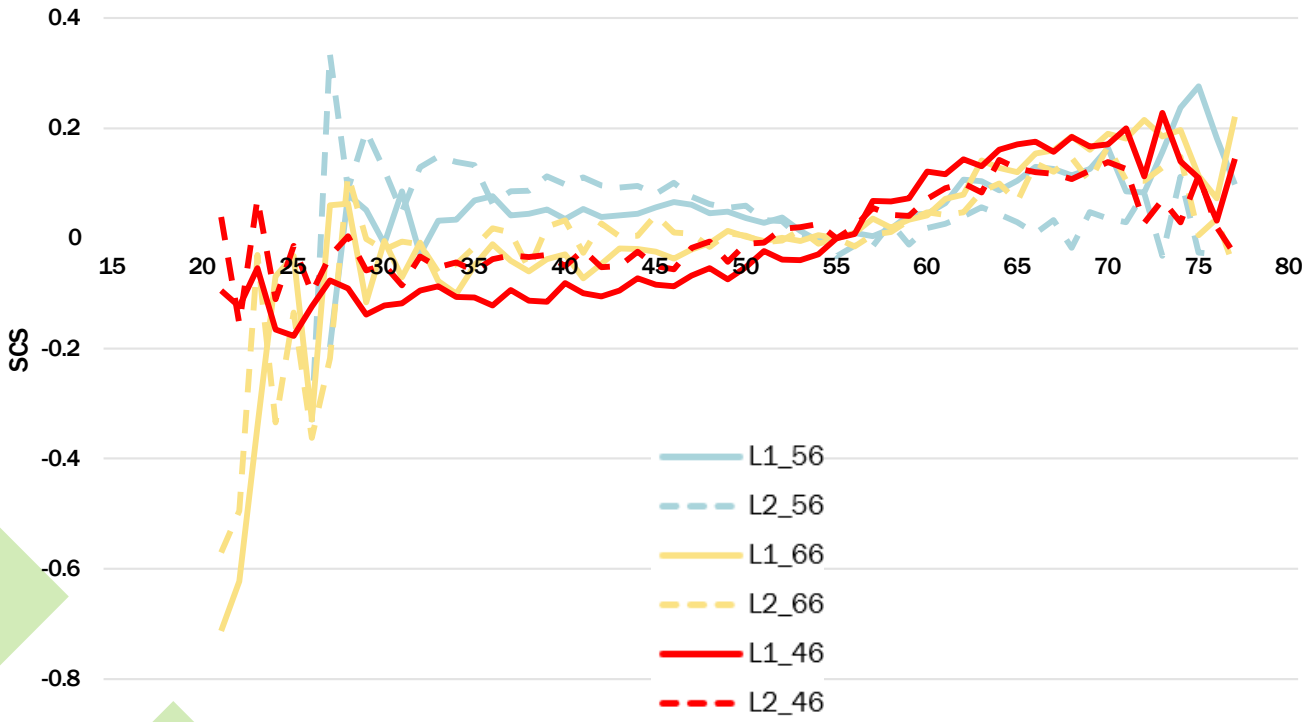






Dans les 3 grandes races françaises, des tendances similaires

Effet du THI moyen 3 jours avant contrôle sur le score cellulaire somatique (SCS)



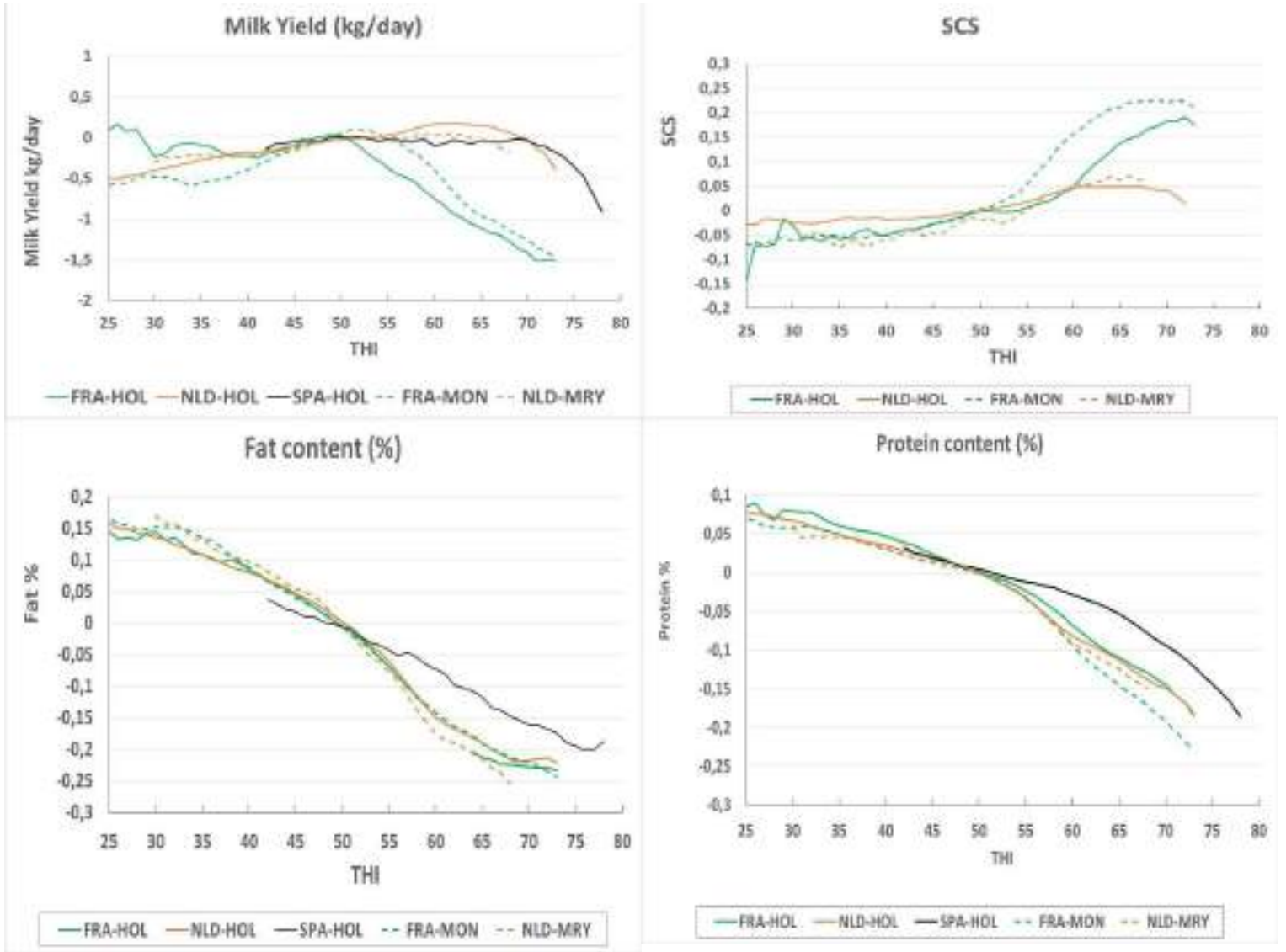
- Impact moins marqué que pour la production laitière

A l'international, des tendances similaires avec des spécificités pour les élevages français

Tendance similaire en France et à l'étranger mais plus de differences entre pays qu'entre races

Température de confort plus basse en France qu'à l'étranger/dans la littérature :

- Système d'élevage ?
  - NLD : gros élevages, 2/3 en robots de traite
  - SPA : bâtiments ouverts, VL ne sortent pas
  - FRA : plus d'exposition au stress de chaleur (pâturage, bâtiments vieillissants)
- Acclimatation (Espagne) ?



Merci

CaiCalor – UMT eBis

Aurélie Vinet, Beatriz Cuyabano, Didier Boichard

Corentin Fouere, Chris Hoze, Sébastien Fritz

Julie Promp, Sophie Aguerre, Roxane Vallée, Aurore Philibert, Sophie Mattalia

Rumigen – 18 partenaires européens

WP3 : France

Espagne (INIA) – Maria Carabano, Manuel Ramon, Clara Diaz

Pays-Bas (WUR) – Jeremie Vandenplas, Han Mulder

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N°101000226