



François Taulemesse - ARVALIS  
Régis Doucet - ARVALIS/ F.N.P.S.M.S\*

## SEMENCES DE MAÏS

# IRRIGATION ET STRUCTURE DU PEUPEMENT

**En production de maïs semence, la densité de plantes par hectare constitue un levier de compétitivité régulièrement mis en œuvre depuis quelques années. Il a été largement travaillé dans le cadre du programme Actions Techniques Semences de la FNPSMS depuis 2018, notamment au travers d'essais impliquant largeur de l'inter rang et densité sur le rang.**

Outre la prédominance de l'effet densité de plantes par hectare sur l'effet écartement, ce programme d'étude avait mis en évidence une interdépendance avec l'alimentation hydrique des plantes. Les questions de producteurs et de techniciens d'établissement étaient nombreuses quant aux adaptations de l'itinéraire technique à envisager quand la densité est significativement augmentée. C'est dans ce cadre qu'une expérimentation a été mise en place de 2020 à 2022 sur la station Arvalis d'Etoile-sur-Rhône (26), destinée à étudier l'interaction entre densité de plantes par hectare et conduite hydrique en situation de production de maïs semence.

### Protocole et conditions expérimentales

Les travaux antérieurs sur les densités conduits depuis 2018 ont montré que l'effet densité prime très largement sur l'effet écartement (60 vs 80 cm), et que la conversion de l'augmentation de plantes/ha en rendement en q/ha ou en doses/ha est souvent positive mais variable selon les lignées, les milieux et les conditions climatiques. La question de l'interaction avec l'alimentation hydrique est ainsi régulièrement posée.

L'objectif de l'étude mise en place entre 2020 et 2022 est d'évaluer l'impact de quatre densités de semis centrées autour de la densité standard de la variété (D2), réparties de D1 (D2 - 15 000 p/ha) à D4 (D2 + 30 000 p/ha), sur la performance de la culture selon deux régimes hydriques : l'un optimal (R1 : conduite à l'ETM<sup>1</sup> indexée sur la densité D4), l'autre restreint (R2 : restreint d'environ 30 % avec pilotage optimisé). L'essai est implanté en situation de production de semences pour un écartement à 60 cm, dispositif 3 x 2 avec un même couple de géniteurs pour les trois années (femelle mâle stérile, deux dates de semis de mâles).

Le régime restrictif est conduit selon les enseignements des expérimentations antérieures visant à limiter l'impact des restrictions. Conformément à ces acquis, les restrictions d'irrigation appliquées au régime R2 sont positionnées en dehors des phases de développement sensibles pour l'établissement du potentiel photosynthétique (10 feuilles) et du nombre de grains par épi (floraison - SLAG<sup>2</sup>).

Les essais sont instrumentés (sondes tensiométriques et capacitatives) et suivis sous Irre-Lis® pour garantir la pertinence des traitements appliqués.

\* Fédération Nationale de la Production de Semences de Maïs et de Sorgho

1 - Evapotranspiration maximale

2 - Stade Limite d'Avortement des Grains

## Trois contextes climatiques drastiquement différents

Les dispositifs conduits en 2020 et 2021 ont été exposés à des conditions climatiques particulièrement différenciées, traduites par des déficits hydriques cumulés (de 10 feuilles à 50 % d'humidité du grain) atteignant respectivement 395 mm et 93 mm (Tableau I).

En 2020, les deux régimes hydriques ont mis en œuvre 12 tours d'eau (410 mm) pour R1 et 9 (285 mm) pour R2. Les très faibles cumuls de précipitations enregistrés au cours de la période de pilotage de l'irrigation ont permis d'appliquer au plus juste les régimes d'irrigation attendus.

Cependant, la forte demande climatique enregistrée en cours de campagne incitait à la prudence quant au caractère non-limitant du régime hydrique optimal (R1) aux densités élevées (D4). Cela a pu être confirmé a posteriori par une analyse des dynamiques de disponibilité de l'eau dans le sol, approchées à l'aide de sondes capacitatives, qui tend à indiquer que si le régime R1 n'a pas été limitant à la densité D2, l'absence de stress hydrique ne peut pas être exclue à la densité D4.

L'essai conduit en 2021 a bénéficié de conditions climatiques beaucoup moins contraignantes que celles rencontrées en 2020, avec des cumuls

de précipitations avoisinant les 380 mm sur la phase 10 feuilles - H50. De fait, les régimes hydriques ont été adaptés au contexte : les deux régimes ont ainsi mis en œuvre sept tours d'eau (218 mm) pour R1 et trois (115 mm) pour R2, soit deux fois moins qu'en 2020. Le régime hydrique R1 a bien été non-limitant sur l'intégralité du cycle, et le régime hydrique R2 a conduit à l'occurrence d'un déficit hydrique modéré lors de la phase de remplissage du grain.

On se souvient des conditions climatiques exceptionnelles de la campagne 2022 : déficit hydrique cumulé de plus de 530 mm, valeur maximale des 20 dernières années au regard de l'étude fréquentielle. Le régime R1 a reçu 15 tours d'eau pour un volume total de 527 mm et le régime R2 10 tours d'eau pour 376 mm. Le stress hydrique appliqué en R2 est majoritairement intervenu au cours du remplissage du grain, après le stade limite d'avortement du grain (SLAG).

Cette diversité de conditions climatiques associée à la maîtrise de l'expérimentation confère au jeu de données pluriannuel un caractère particulièrement intéressant (Tableau I).

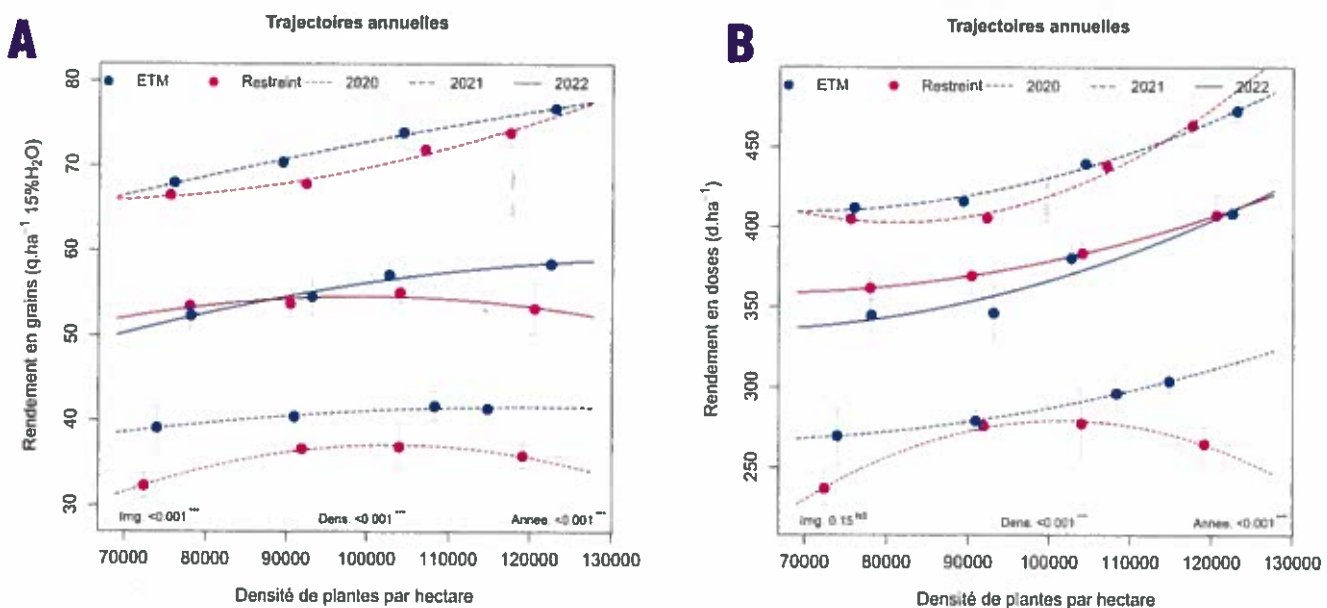
## Tableau I - Conditions climatiques rencontrées à Etoile sur Rhône sur les campagnes 2020 à 2022

Les valeurs présentées de précipitations cumulées, d'évapotranspiration moyenne (ETM) et de déficit hydrique cumulés correspondent aux observations réalisées sur la phase de développement 10 feuilles - humidité du grain 50 % (H50)

Campagne	Précipitations (mm)	ETM moyen (mm)	Déficit hydrique cumulé (mm)
2020	50	6	395
2021	378	4,8	93
2022	72	7,7	533

## Principaux enseignements (Figure 1)

Figure 1 - Evolution du rendement en quintaux (A) et du rendement en doses (B) en réponse à la structure du peuplement et au régime d'irrigation sur les campagnes 2020 à 2022



Les points bleus correspondent au régime d'irrigation non-limitant (conduit à l'ETM), et les points rouges au régime d'irrigation restreint (volume d'irrigation ETM - 30 %). Les courbes représentées en traits pointillés courts correspondent aux résultats de la campagne 2020, celles représentées en traits pointillés longs correspondent aux résultats de la campagne 2021, et celles représentées en traits pleins correspondent aux résultats de la campagne 2022. Les résultats d'analyse statistique présentés en bas de figures correspondent aux p-values associées aux effets de l'irrigation (Irrig.), de la densité de plantes (Dens.) et de la campagne de culture (Année).

1 - Humidité des grains à 50%

En 2020, les conséquences des deux régimes d'irrigation, observées sur la réponse aux densités de l'indice foliaire (L.A.I.), étaient déjà visibles à la floraison, le régime R2 montrant un plafonnement de L.A.I. à densité forte non observé en régime optimal. L'essai permet de vérifier que les interactions entre densité de plantes et stratégie d'irrigation sont complexes, et conduisent à des voies de construction du rendement contrastées. L'opportunité d'augmenter la densité de peuplement paraît assez largement conditionnée à un accès peu contraint à la ressource hydrique dans un contexte où la demande climatique est élevée.

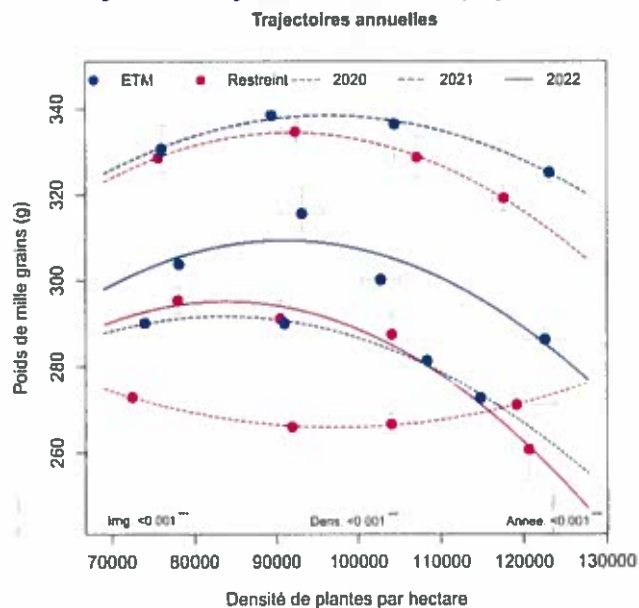
En 2021 aucune différence entre les deux régimes hydriques n'est observée sur la réponse aux densités de l'indice foliaire (L.A.I.), conformément à leur différenciation tardive. L'année est par ailleurs favorable à l'établissement d'un potentiel photosynthétique élevé, les faibles niveaux de rayonnement observés au cours de la phase 10 feuilles - floraison n'ont pas impacté une fertilité épis très élevée. La faible demande climatique enregistrée permet d'atteindre des niveaux de rendements très élevés, avec une bonne réponse du rendement (en quintaux comme en doses) à la densité de plantes, quel que soit le régime hydrique. Les écarts de rendements (en quintaux) observés entre les deux régimes hydriques s'expliquent par (i) le maintien d'épis secondaires considérés « récoltables » (> 100 grains) conditionné par l'accès à une irrigation non-limitante à faibles densités de peuplements, et (ii) le maintien du PMG conditionné par l'accès à une irrigation non-limitante à fortes densités de peuplements. Malgré l'absence de stress hydrique en

régime R1, les PMG ont été impactés à très forte densité (D4). Cela confirme que, outre les enjeux d'accès à l'irrigation, le maintien d'un PMG élevé reste aussi dépendant d'un seuil de nombre de grains par mètre carré que le couvert est en mesure d'alimenter correctement.

Les conditions extrêmes de 2022 ne provoquent pas de différences de réponse de l'indice foliaire (LAI) aux densités entre les deux régimes hydriques. De même, le potentiel pollinique et sa viabilité n'apparaissent pas limitants. Les niveaux de rendements observés sont supérieurs à l'objectif fixé par l'obteneur, et sont intermédiaires entre les rendements relativement faibles de 2020 et les rendements très élevés atteints en 2021.

A l'instar des conclusions issues de l'expérimentation 2020, la forte demande climatique enregistrée en 2022 se traduit par une réponse relativement faible du rendement en quintaux à la densité de plantes, en particulier sous régime restreint où l'enjeu d'augmenter la densité apparaît nul sans toutefois être pénalisant. Les écarts de rendements en quintaux imputables à l'irrigation s'expriment à densité élevée (D3 et D4), en réponse à une baisse du PMG plus marquée en régime contraint que bien irrigué. Cela confirme que les enjeux d'accès à l'irrigation conditionnent largement le maintien d'un PMG élevé sous un contexte de demande climatique élevée, et que sous de tels niveaux de contraintes, l'effet hydrique sur le maintien du PMG apparaît dominant sur l'effet de seuil de nombre de grains par mètre carré que le couvert est en mesure d'alimenter correctement (**Figure 2**).

**Figure 2 - Evolution du poids de mille grains en réponse à la structure du peuplement et au régime d'irrigation sur les campagnes 2020 à 2022**



Les points bleus correspondent au régime d'irrigation non-limitant (conduit à l'ETM), et les points rouges au régime d'irrigation restreint (volume d'irrigation ETM - 30 %). Les courbes représentées en traits pointillés courts correspondent aux résultats de la campagne 2020, celles représentées en traits pointillés longs correspondent aux résultats de la campagne 2021, et celles représentées en traits pleins correspondent aux résultats de la campagne 2022. Les résultats d'analyse statistiques présentés en bas de figures correspondent aux p-values associées aux effets de l'irrigation (Irrig), de la densité de plantes (Dens.) et de la campagne de culture (Année).



© Régis Daucet / ARVALIS - FNPSCAS

Le rendement en doses n'a pas été influencé par le régime hydrique, et a présenté une réponse quasi-linéaire à la densité. Cela corrobore le fait qu'un stress positionné après le SLAG n'a pas d'impact significatif sur le nombre de grains produits, en accord avec les conclusions des années précédentes.

Au cours des trois années, le contrôle des facultés germinatives fait apparaître une légère tendance en faveur des régimes restreints. Non significative en 2020, elle l'est en 2021 et 2022 pour certains calibres.

### Tendances pluriannuelles

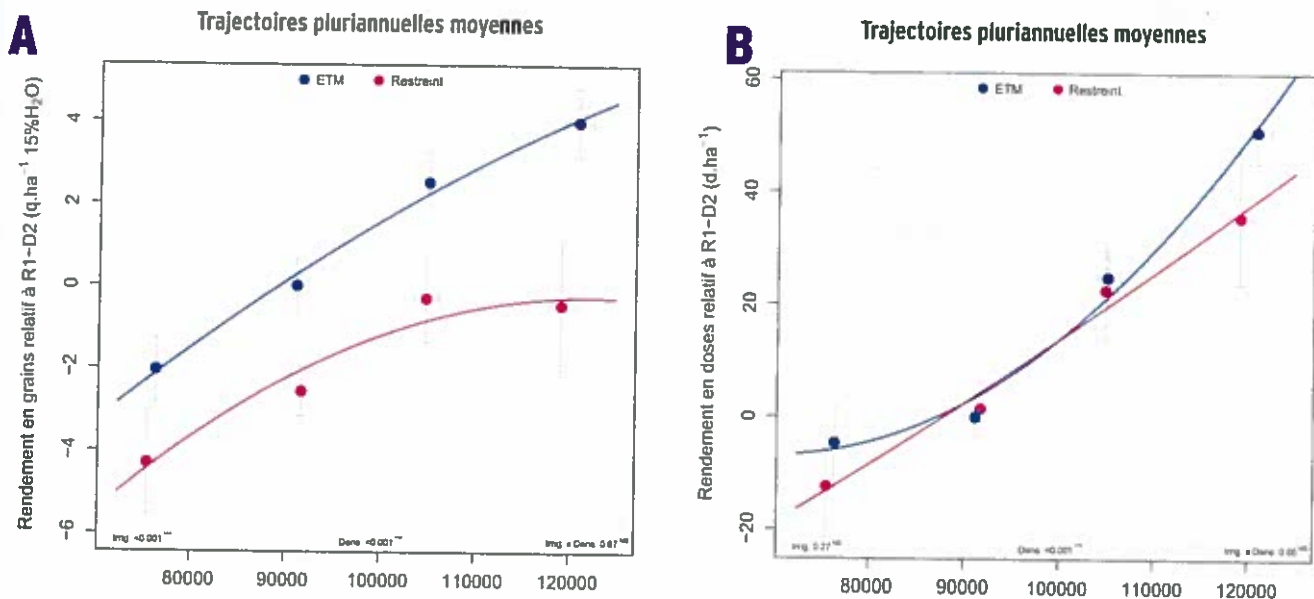
Les analyses du rendement et de ses composantes permettent de préciser les effets de la densité de semis et de la stratégie d'irrigation sur la performance de la culture dans nos conditions expérimentales. La conduite pluriannuelle de

cet essai a permis de vérifier que les interactions entre densité de plantes et stratégie d'irrigation sont complexes, et conduisent à des voies de construction du rendement relativement contrastées.

En tendance moyenne sur ces trois années très contrastées, la réponse à la densité en rendement en quintaux apparaît linéaire sous régime hydrique favorable mais plafonne avec le régime restreint, la réponse en doses/ha étant moins modifiée par la restriction hydrique. (Figure 3) Les stratégies d'irrigation mises en œuvre pour les deux régimes ne sont pas étrangères à l'atténuation des effets de la restriction.

Ces enseignements sont précieux pour accompagner les choix stratégiques dans un contexte de changements climatiques, où la ressource en eau sera sans conteste une contrainte majeure. ■

**Figure 3 - Tendance pluriannuelle d'évolution du rendement en quintaux (A) et du rendement en doses (B) en réponse à la structure du peuplement et au régime d'irrigation sur la période 2020 à 2022**



Les résultats de rendement présentés sont exprimés en écart relatif à la modalité de référence (R1-D2) conduite sous un régime d'irrigation non-limitant (ETM) à la densité de peuplement standard de la lignée femelle (D2 : 90000 p/ha). Les points bleus correspondent au régime d'irrigation non-limitant (conduit à l'ETM), et les points rouges au régime d'irrigation restreint (volume d'irrigation ETM - 30 %). Les résultats d'analyse statistique présentés en bas de figures correspondent aux p-values associées aux effets de l'irrigation (Irrig.), de la densité de plantes (Dens.) et de l'interaction irrigation - densité (Irrig x Dens.).

### Remerciements

Les résultats rapportés ici brièvement sont le fruit de trois années d'expérimentations complexes conduites dans le cadre du programme Actions Techniques Semences piloté par la FNPSMS avec le soutien de SEMAE sur la station expérimentale d'Etoile-sur-Rhône (26). Tous nos remerciements aux équipes techniques de la station qui ont su les mener à bien, à l'obten- teur qui a fourni les géniteurs et aux membres des groupes de travail ATS qui ont suivi ces travaux.