

LOUÉ

AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

LE DOCUMENT TECHNIQUE DE LA



N° 7

FUMURE ET QUALITÉ

par A. LOUÉ

SOMMAIRE

Editorial	2	Fumure et qualité du blé dur	9
Quantité et qualité : position du problème	3	Fumure et qualité de l'orge de brasserie	11
Définition de la qualité	4	Fumure et qualité de l'orge fourragère	12
Les critères de qualité	4	Fumure et qualité du maïs	13
Les grands groupes de substances nutritives et l'action des éléments fertilisants	5	Fumure et qualité du riz	15
Fumure et qualité du blé tendre	6	Fumure et qualité de la pomme de terre	16
		Fumure et qualité de la betterave sucrière	21

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29.663 ep1

Cote : B

ÉDITORIAL

Ce document a pour but essentiel de tenter une approche des liaisons entre la fertilisation et la qualité des produits agricoles.

Il s'agit, en effet, d'un sujet difficile, car la qualité est un fait beaucoup moins aisé à définir que le rendement, et ses liaisons avec la fumure n'ont été étudiées que dans un passé relativement récent.

Le « grand public » a tellement pris l'habitude d'associer les engrais et la production, l'amélioration des rendements, que tenter le rapprochement avec la qualité pourrait apparaître comme une préoccupation mineure.

Il s'agit, au contraire, d'un problème d'actualité qui verra grandir son importance avec l'organisation croissante des marchés agricoles et la meilleure connaissance au niveau de la physiologie végétale et de la technologie.

Après une étude succincte des notions générales, seront étudiées les principales productions agricoles françaises. Dans chaque cas seront examinés les critères de qualité essentiels correspondants et, ensuite, l'influence des engrais en se référant principalement aux résultats obtenus dans le réseau expérimental de la Société Commerciale des Potasses et de l'Azote.

Dans le numéro présent ne pourront être traitées que les céréales et les plantes sarclées. Dans un numéro ultérieur, nous examinerons les autres cultures, et le lecteur y trouvera, en appendice, les références bibliographiques indispensables à tout approfondissement du sujet.

A. L.

FUMURE ET QUALITÉ

par André LOUÉ
Ingénieur Agronome

Parmi les critères de qualité, ceux liés à la normalisation et au conditionnement tiennent une grande place

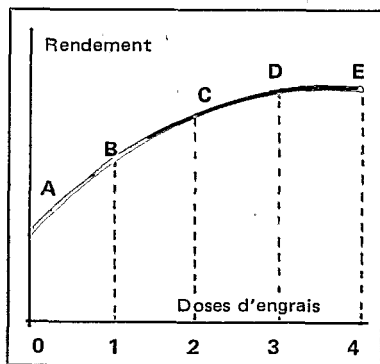


①

QUANTITE ET QUALITE : POSITION DU PROBLEME

L'objectif principal de la fertilisation est évidemment l'obtention de rendements plus élevés, et il le reste en particulier dans le contexte d'une population croissante. A l'échelon mondial ou de certains continents, c'est encore plus vrai (problème de la faim dans le monde). Le problème de la qualité ne se pose donc que dans le cadre d'une économie d'abondance, car lorsqu'il y a pénurie alimentaire, le problème de la quantité est infiniment plus important.

○ On sait que l'augmentation des rendements par les engrais est régie par ce qu'on nomme la loi des excédents de rendements moins que proportionnels. Très schématiquement, le rendement croît de A à D de la dose 0 à la dose 3, mais la rentabilité de chaque nouvel accroissement de dose décroît. Il n'y a plus de rentabilité du tout pour 4-3. Or on peut se demander si la fumure ne serait pas rentable jusqu'en 4, à condition de



s'accompagner, par exemple, de l'obtention d'une meilleure qualité des récoltes en D ou E (zone de rendement très peu croissant ou constant).

En fait, on pense actuellement que l'application de fumures très élevées comme moyen d'améliorer la quantité, ne semble pas, en général (car il y a des cas positifs) être économiquement justifiée.

○ On entend dire parfois que l'action des engrais sur la quantité serait incompatible avec l'action sur la qualité. Qu'en est-il ?

1°) Normalement, et pour la plupart des cultures, les fumures conduisant aux meilleurs rendements donnent aussi la meilleure qualité.

2°) Mais il existe des cas où l'optimum de qualité peut correspondre à des fertilisations inférieures à celles qui procurent le rendement le plus élevé. On admet dans ces cas que des recherches sont nécessaires pour pouvoir obtenir le rendement optimum sans risque de diminution de la qualité des récoltes. Ces recherches concernent le plus souvent des problèmes particuliers de fertilisation, tels que l'étude de dates d'apport des engrais, d'équilibres des éléments de la fumure, et surtout peut-être la création de variétés ou de plants sélectionnés présentant les valeurs les plus élevées

vis-à-vis des critères de qualité qui sont précisément affectés d'une manière défavorable par les hauts niveaux de fertilisation correspondant au maximum de rendement.

De toute manière, le producteur n'adoptera les pratiques conduisant aux meilleures qualités que si l'opération est payante pour lui. Si les critères de qualité

sont vagues, difficilement mesurables, et ne se traduisent donc pas par des recettes supplémentaires, l'agriculteur ne s'intéressera qu'au tonnage.

Du point de vue de l'agriculteur, il n'y a pas dissociation entre quantité et qualité en ce qui concerne l'effet des engrais. Il les juge globalement par la valeur marchande de la récolte.

2

DEFINITION DE LA QUALITE

La qualité des produits agricoles a été pendant longtemps une appréciation subjective dépendant de chaque individu. Sa définition est malaisée et peut dépendre du point de vue où l'on se place.

Pour l'**agriculteur**, les facteurs de qualité sont les caractères de sa récolte qui, en dehors de la quantité, sont susceptibles d'en affecter leur valeur marchande. Souvent, l'agriculteur connaît ces caractères et sait ce qu'il faudrait faire, dans le choix des techniques culturales ou des variétés notamment, pour se placer à cet égard dans les meilleures conditions possibles.

Pour l'**industriel**, les facteurs de qualité sont surtout les caractères physiques, ou chimiques, ou biologiques, susceptibles d'influencer le rendement à l'usage. L'industriel tient en général compte de ces critères de qualité pour fixer les prix d'achat à l'agriculteur.

Pour le **commerçant**, les facteurs de qualité correspondent aux exigences des différents stades du circuit commercial (stockage, conservation, bonne résistance au transport, etc.). Il est assez facile de connaître les exigences technologiques des circuits commerciaux.

Mais c'est finalement le point de vue du **consommateur** qui domine dans ce débat, car la **qualité d'un produit est incontestablement**, et en fin de compte, **son aptitude à satisfaire les goûts du consommateur.**

Il y a deux concepts de qualité qui n'interviendront pas ici :

- 1) Vers le bas, il y a « **la qualité seuil** » du Service de la Répression des Fraudes. Elle ne constitue qu'un premier stade de qualité, une qualité plancher, qui n'est au fond rien de plus que la garantie que le produit est sain, loyal et marchand.
- 2) A l'opposé se trouve la **qualité liée à la notoriété**, aux qualités de terroir d'une région déterminée : pour l'apprécier, on choisit des critères qui ne peuvent guère être maniés que par des experts du produit, le plus souvent des dégustateurs. Il est certain que ce concept particulier de qualité prend une grande importance dans un pays à spéculations de caractère traditionnel comme la France, par exemple le vin de Champagne, le fromage de Roquefort, etc.

Ce qui nous intéressera ici, c'est la qualité supérieure, au sens général, au-dessus de la qualité seuil, mais non la qualité de terroir qui est un cas particulier. Les liaisons entre la qualité et la fertilisation doivent être abordées dans le cas général.

Auparavant, il faut admettre, si l'on veut faire quelques progrès, la nécessité de définir un certain nombre de **critères** susceptibles de déterminer la qualité d'un produit agricole, et ces critères devront dans toute la mesure du possible pouvoir s'exprimer par des mesures.

3

LES CRITERES DE QUALITE

La qualité étant définie comme l'ensemble des caractéristiques d'un produit susceptibles d'en accroître la valeur pour le consommateur, quels en sont les principaux critères ?

- 1) **Critères liés à la normalisation, au conditionnement**
 - Critères extrinsèques, d'homogénéité, de régularité (forme, format, couleur). Ils s'adressent plutôt à l'œil et ne comportent donc pas de valeur intrinsèque supérieure.

- Critères de qualité de conservation, d'absence de certains défauts ou même de produits de traitements antiparasitaires. Il est assez facile de connaître et d'apprécier ces critères plutôt liés à des facteurs externes. Dans cette appréciation, on se servira le plus possible des méthodes analytiques de laboratoire, afin d'exprimer la qualité par des nombres. Des efforts importants sont faits par les Services Officiels, dans ce domaine, pour définir des standards de

qualité reconnus sur le plan international (par exemple, le règlement du Marché Commun pour les fruits et légumes).

2) Critères liés à certaines propriétés organoleptiques (en dehors de l'apparence)

— Critères de goût et d'arôme (saveur, odeur). Ils revêtent une importance particulière dans l'appréciation finale du produit, mais il est difficile de connaître le comportement du consommateur à cet égard.

3) Critères liés à la valeur nutritive

On est obligé de reconnaître que les facteurs de qualité liés à des caractères extrinsèques et appréciés avec l'œil, ont souvent une influence plus importante sur le prix payé à l'agriculteur que des

caractères intrinsèques liés à la valeur nutritive et à la teneur en substances nuisibles pour la santé. Souvent, le consommateur ne s'intéresse pas à ces derniers et, par suite, l'agriculteur y est indifférent.

Pourtant, en dernière analyse, la qualité doit être reliée à des caractéristiques physiques, chimiques complexes, et biologiques du produit agricole, et devrait pouvoir s'exprimer par les mesures de ces caractéristiques. D'ailleurs, l'étude des liaisons « fumure X qualité » passe nécessairement par l'intermédiaire de l'action des engrais dans les processus biochimiques du végétal.

A ce point de la discussion, le lecteur doit connaître les grandes catégories de substances nutritives (qui sont en même temps les grands groupes chimiques synthétisés par les plantes).

4

LES GRANDS GROUPES DE SUBSTANCES NUTRITIVES ET L'ACTION DES ELEMENTS FERTILISANTS

① Les glucides ou hydrates de carbone

Rappelons qu'ils sont constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène (ces deux derniers éléments s'y trouvant dans les mêmes proportions que dans l'eau). Ce sont essentiellement :

- les sucres :
glucose, lévulose pour les fruits,
saccharose pour les betteraves à sucre ;
- les féculents :
amidon pour les pommes de terre, les céréales
et les légumes secs ;
- la cellulose :
une faible partie peut être assimilée par l'homme.

Les hydrates de carbone apportés surtout par les végétaux constituent la plus grande partie de notre alimentation. Ils jouent un très grand rôle dans la ration énergétique.

Les effets des engrais sur les sucres eux-mêmes sont moins nets que sur l'amidon, et cela provient du fait que les premiers sont le plus souvent des produits intermédiaires dans les tissus végétaux. L'effet le plus souvent rapporté est celui du potassium ; mais on note aussi des cas d'effet favorable du phosphore sur la teneur en sucres des fruits. La fumure azotée a le plus souvent un effet négatif sur la teneur en sucres.

L'action des engrais sur l'accumulation des hydrates de carbone sous forme d'amidon dans certains organes de réserve concerne surtout le potassium et moins nettement le phosphore.

Une alimentation potassique correcte est nécessaire pour le passage des sucres les plus simples (réducteurs) au saccharose, puis à l'amidon. Les plantes déficientes en potassium voient leur photosynthèse dé-

croître et leur respiration croître, et il en résulte une baisse des réserves en hydrates de carbone (à moins que la croissance de la plante ne se trouve elle-même réduite et la teneur en amidon conservée).

Le phosphore joue également un rôle important dans le métabolisme des hydrates de carbone.

Dans les conditions normales de nutrition, l'azote intervient peu sur le rapport de l'amidon aux hydrates de carbone totaux.

D'autre part, certains acides organiques se trouvent dans les plantes à l'état d'acides libres. Ils constituent les premiers produits de la photosynthèse et servent de corps précurseurs dans de nombreuses synthèses. Cette acidité libre joue un grand rôle dans la qualité des fruits et il existe précisément une liaison très étroite entre le potassium et l'acidité. Par exemple, lorsque la teneur en potassium du fruit s'élève, il en résulte un accroissement parallèle de l'acidité. Le potassium compense la quantité d'acides libres, contribuant ainsi à la régulation du pH. Les éléments N et P ont ici un moindre rôle.

② Les lipides ou corps gras

Egalement composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, les lipides dérivent des hydrates de carbone. Ils sont d'origine animale ou végétale. La graisse animale type est le beurre, accessoirement la graisse du porc ou du bœuf. La graisse végétale type est l'huile d'olive, ou d'arachide.

La teneur en huile des fruits et graines est généralement en proportion inverse de celle en protéines. En particulier, si la fourniture d'azote dans la plante est importante, la production des protéines est favorisée, et il y aura une plus faible formation de corps gras à partir des hydrates de carbone. Au contraire, s'il y

a déficience en azote, la synthèse des corps gras sera favorisée. Le potassium intervient dans les relations d'équilibre entre les hydrates de carbone et les substances azotées dans la plante. Cela est particulièrement utile en présence d'un excès de fourniture d'azote. **Aussi le potassium présente-t-il en général un effet favorable sur la teneur en huile des fruits et des graines.**

③ Les protéines ou substances azotées

Ce sont des substances complexes composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, et souvent en petites proportions de soufre et de phosphore.

Leur importance dans la nutrition de l'homme est considérable, que l'on considère la quantité des protéines de la ration alimentaire ou la nature de ces protéines. De nombreux problèmes de qualité concernent ces substances. De toutes les plantes, seules les légumineuses contiennent une teneur assez élevée en protéines ; la teneur des grains des céréales est nettement inférieure, mais celles-ci sont pour l'homme une source fondamentale de protéines. La plupart des légumes et des fruits sont de faibles fournisseurs de protéines.

Les protéines doivent aussi être considérées sous l'aspect de la nature, c'est-à-dire de ces corps qui les composent et qu'on nomme les acides aminés, au nombre d'une vingtaine, dont huit ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme humain qui doit donc les puiser préformés dans sa nourriture.

Les engrais azotés qui agissent surtout sur les rendements sont de nature à accroître la teneur en protéines, et c'est généralement là l'un des effets les plus nets de l'action des engrais en matière de qualité. Mais l'importance relative des diverses fractions azotées peut être modifiée.

En effet, il peut arriver que l'accroissement de teneur en protéines sous l'effet de la fumure azotée soit ac-

compagné d'une baisse de teneur en certains de ces acides aminés essentiels.

Les engrais potassiques ont pour effet d'accroître l'efficacité des engrais azotés et de contrebalancer les effets défavorables possibles de fortes applications d'azote. Avec de plus hauts niveaux potassiques, la synthèse des protéines est meilleure et une plus grande fraction de l'azote absorbé grâce à la fumure azotée se trouve utilisée dans cette synthèse.

Il y a peu d'information sur l'effet du phosphore sur la teneur en protéines.

④ Autres substances

Les vitamines et les éléments minéraux sont, en dehors des trois grandes catégories précédentes, les deux principaux groupes chimiques qui intéressent l'homme dans son alimentation. Les fruits et les légumes sont les grands fournisseurs à cet égard.

On admet, en général, que les facteurs climatiques exercent une plus grande influence sur la teneur en vitamines que les conditions de sol ou la fertilisation. **Nous citerons cependant, à propos des fruits et légumes, l'effet des fertilisants sur la teneur en carotène (précurseur de la vitamine A) et en acide ascorbique (vitamine C).**

Les éléments minéraux nécessaires nous sont surtout fournis par les céréales, les fruits et les légumes.

Ici, bien sûr, la fertilisation sera le principal facteur susceptible de faire varier la teneur des tissus végétaux en phosphore, potassium, calcium, magnésium. D'une manière générale, les applications d'engrais phosphatés tendent à augmenter la teneur en phosphore et les applications d'engrais potassiques celle en potassium. Cependant, la teneur en potassium des graines varie infiniment moins sous l'influence de la fumure, que celle des organes végétatifs.

5

FUMURE ET QUALITE DU BLE TENDRE

A LES CRITERES DE QUALITÉ DES BLÉS TENDRES

Le poids spécifique est une donnée encore très utilisée, principalement en France, où la meunerie le relie au taux d'extraction des farines. Mais ce critère, fonction surtout des espaces vides entre grains, n'a pas d'application technologique directe.

La valeur meunière

La valeur meunière qui exprime le rendement en farine, dépend surtout de trois facteurs : teneur en eau des grains, teneur en éléments indésirables, proportion d'amande.

La mesure de la valeur meunière des grains peut se faire en déterminant la teneur en eau, le pourcentage

d'impuretés, le poids de 1.000 grains, d'une manière beaucoup plus objective qu'à partir du poids spécifique.

La valeur industrielle

Le blé est la seule céréale dont les matières azotées (protéines) peuvent au contact de l'eau s'agglomérer en une masse formant un réseau.

En France, dans le domaine de la panification, on attache une grande importance au gluten (la teneur en gluten correspond sensiblement en poids à la teneur en protides).

La teneur en protéines (mesurée, soit sous forme d'azote, soit sous forme de gluten) est l'élément prin-

cial de la qualité, et une teneur minimale est nécessaire à la constitution d'un réseau protéique.

L'eau et la farine donnent une pâte dont les propriétés se caractérisent en particulier par les notions d'élasticité, de plasticité. En France, on en cherche une représentation globale au moyen, en particulier, de l'alvéographe Chopin.

Le test de sédimentation de Zélény, récemment introduit en France, est basé sur les propriétés de gonflement en milieu acide des protéines du gluten : il donne une indication d'ensemble sur la quantité et la qualité des protéines. Les indices Zélény obtenus à partir d'échantillons d'une même variété, cultivés dans des conditions différentes, mais récoltés et séchés iden-

tiquement, présentent généralement une bonne corrélation avec la teneur en azote et le volume du pain. La méthode pourrait donc s'appliquer utilement aux essais de fertilisation.

② L'INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITÉ DU BLÉ

① Influence des engrais sur la valeur meunière

Elle s'apprécie souvent dans les expérimentations par les mesures du poids spécifique et du poids de 1.000 grains.

Rapportons les résultats obtenus en 1966 sur l'essai factoriel azote-potasse de Pont-Saint-Martin (Loire-Atlantique) par les Services Agronomiques de la S.C.P.A.

Dose d'azote en kg/ha	PS	Poids de 1.000 grains (g)	Dose de potasse en kg/ha	PS	Poids de 1.000 grains (g)
40	73,3	40,4	0	69,6	35,2
80	72,6	39,9	50	73,3	40,1
120	72,6	39,4	100	73,7	41,2
160	71,9	38,0	150	73,8	41,2
ppds 0,05	1,1	1,7		1,1	1,7
ppds 0,01	1,5	2,2		1,5	2,2

PS = poids spécifique

ppds = plus petite différence significative

L'influence des traitements sur le poids de 1.000 grains est semblable à celle observée sur le poids spécifique. Le PS décroît légèrement et significativement avec la fumure azotée et augmente très nettement avec la fumure potassique. Mais surtout l'interaction N x K fut importante, car on a constaté en fait que l'azote avait un effet fortement dépressif en l'absence de potasse et pratiquement plus d'influence dépressive en présence d'une bonne dose de potasse :

N 160 (K 0) — N 40 (K 0) = — 3,0 unités PS
N 160 (K 150) — N 40 (K 150) = — 0,2 unité PS.

L'effet bénéfique d'une bonne fertilisation potassique sur le poids spécifique et le poids de 1.000 grains est un fait d'observation quasi constante sur les essais. Ainsi, en 1967, les mesures suivantes ont été obtenues sur le réseau expérimental S.C.P.A. en ce qui concerne l'effet potasse.

	Lieusaint (Seine-et-Marne)	Ablis (Yvelines)	Toury (Eure-et-Loir)	Locmaria (Morbihan)	Lagardelle (Haute-Garonne)
K 0	75,3	75,0	79,0	75,0	79,7
K 1	75,6	76,0	80,0	76,0	80,1
K 2	77,0	76,0	80,4	77,5	80,4

En se basant sur les moyennes d'un assez grand nombre d'observations, il est plausible d'atteindre un gain de 1 unité PS de K 0 à K 80 et 0,5 unité PS de K 80 à K 160.

Notons que la gamme généralement retenue pour les bonifications ou réfections de prix était la suivante en 1969 (en F/quintal) :

79 à 78	+ 0,44	74 à 73	— 0,36
78 à 77	+ 0,29	73 à 72	— 0,61
77 à 76	+ 0,15	72 à 71	— 0,98
76 à 74	+ 0	71 à 70	— 1,46

② Influence des engrais sur la valeur industrielle

De ce qui a été dit plus haut, il résulte que l'influence de la fumure sur la teneur en protéides et leur composition constitue l'aspect principal de l'action des engrais sur la qualité du blé.

Le taux de matières azotées dans la matière organique totale est la résultante du rapport de l'alimentation azotée de la plante et de la photosynthèse nette.

Le pourcentage de matières azotées est fonction du rapport : azote absorbé/photosynthèse nette. Le taux

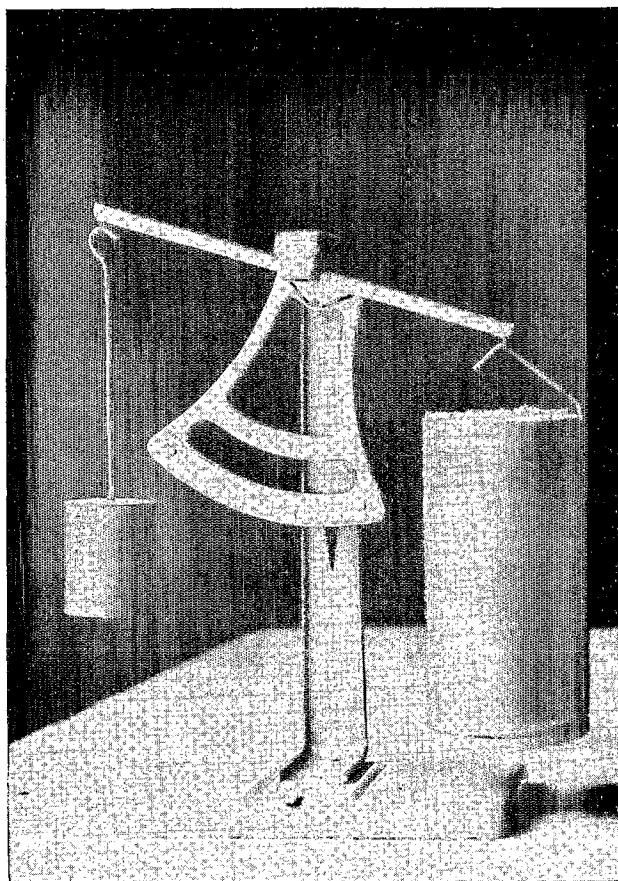
d'azote du grain peut donc s'élever par absorption accrue d'azote, mais aussi par diminution de la photosynthèse nette (sous l'influence de facteurs limitant le rendement, tels que sécheresse, déficience en phosphore, potassium, etc...). Ainsi s'explique d'une manière relativement simple le mode d'action des fumures.

○ Action de la fumure azotée

La dose et l'époque d'application des engrais azotés ont un effet marqué sur le rendement en blé et la qualité. La fumure azotée augmente la quantité d'azote absorbée par la plante et également la photosynthèse nette. Mais, selon Coïc, cette action dépend du moment où se situe l'apport d'azote par rapport au stade végétatif.

Grâce à un apport azoté en cours de croissance active, la photosynthèse nette à l'hectare peut être proportionnellement plus importante que l'accroissement d'azote absorbé, et la teneur en azote du grain peut s'en trouver abaissée par dilution.

Selon le même auteur, une quantité d'azote apportée en fin de croissance active agit peu sur la photosyn-



La potasse a une action nettement favorable sur le poids spécifique du blé

thèse nette et accroît au contraire la teneur en azote du grain.

Dose d'azote à l'ha	0 kg	30 kg	30 kg
Date d'apport		début mars	fin mai
Taux d'azote du grain (% de matière sèche)	1,62	1,51	2,35

Il existerait une corrélation nette entre la teneur en azote du grain de blé ainsi accrue par les apports d'azote tardifs et divers critères de la qualité du grain : P.S., qualité boulangère exprimée par la surface des alvéogrammes de Chopin.

Mais l'accroissement de la teneur en protides du grain est en général accompagné d'une variation de la composition de ces protides. Il y a augmentation des acides aminés libres, en particulier de la glutamine, de la proline, et des protides à basse teneur en acides aminés essentiels.

Corrélativement, on note une baisse relative des acides aminés essentiels (lysine, thréonine) ainsi que de la cystine.

En réalité, cette baisse de proportion n'est pas suffisante pour entraîner une baisse effective de la production d'acides aminés essentiels, en raison du fort accroissement du taux de protides du grain.

En général, de hautes concentrations en protéines améliorent la valeur boulangère de la farine et la fermeté de la pâte.

○ Action de la fumure phosphatée

Les données sur l'effet du phosphore sur la teneur en protéines sont très réduites. Le rôle principal du phosphore dans la formation du grain de blé se situe dans la synthèse du gluten.

Les déficiences en phosphore augmentent les proportions de glutamine et de proline du blé.

Il n'a pas été trouvé d'effet de l'acide phosphorique sur la valeur boulangère du blé.

○ Action de la fumure potassique

Les déficiences en potassium provoquent des dérèglements du métabolisme azoté. Les plantes déficientes en potassium ont d'ordinaire une teneur plus élevée en composés azotés solubles, en acides aminés libres que les plantes bien alimentées en potassium (le potassium agit comme un catalyseur dans la condensation des acides aminés en protéines ; la déficience en potassium empêche donc la synthèse protéinique).

Les déficiences en potassium accroissent la teneur en protéines (concentration consécutive à un moindre rendement) et modifient légèrement la composition

des protéines du grain de blé, en augmentant les proportions de glutamine et de proline.

Le potassium peut neutraliser l'effet défavorable noté de la fumure azotée sur la qualité du gluten. En effet, il a été maintes fois mentionné que de fortes fumures azotées agissent favorablement sur le rendement et sur la quantité de gluten produite, mais ont tendance à diminuer le coefficient de gonflement. Des essais factoriels azote - potasse ont montré l'effet de la potasse en présence de doses croissantes d'azote sur le coefficient de gonflement. On peut dire qu'il existe

une tendance au maintien du coefficient de gonflement par une fertilisation azotée et potassique judicieuse.

En conclusion, il faut rappeler que les variétés peuvent différer entre elles, quant à leurs aptitudes à fournir un blé de qualité (teneur en gluten et qualités plastiques de celui-ci) d'une manière plus profonde que sous l'effet de fertilisations.

La bonification de la qualité du blé par la fumure, en particulier grâce à l'équilibre azote-potasse, ne peut cependant reculer les limites intrinsèques correspondant aux caractères génétiques de la variété.

6

FUMURE ET QUALITE DU BLE DUR

A LES CRITERES DE QUALITE DES BLES DURS

Le blé dur a un grain dont les caractères morphologiques et technologiques diffèrent de ceux du blé tendre (albumen à texture vitreuse, gluten tenace en particulier). Il sert surtout à la fabrication des semoules et des pâtes alimentaires.

Cette texture de l'amande peut se trouver modifiée défavorablement selon les conditions du milieu (sol et climat), les conditions culturales, les variétés.

o Le mitadinage

Le grain peut devenir en partie farineux : le grain dit mitadiné présente en surface et sur une partie variable de sa section, des zones farineuses.

La mesure du mitadinage peut se faire en déterminant le pourcentage de grains atteints (présentant à l'extérieur une trace de mitadinage). Mais une précision supérieure est fournie par l'« indice Nottin » utilisé en France. Il consiste à répartir les grains mitadinés d'un échantillon en 3 catégories (très peu mitadinés, mitadinés à 50 %, entièrement mitadinés) auxquelles correspondent 3 cotations : 1/10, 5/10, 10/10, et à déterminer l'indice en multipliant les trois fractions précédentes par les pourcentages respectifs de grains correspondants, au sein de l'échantillon. **Le grain mitadiné est défectueux, car il a tendance à s'écraser en farine, à donner une semoule de qualité inférieure.**

o La moucheture

Les grains mouchetés sont ceux qui ont le germe et le sillon colorés en brun-noir par des champignons (*Alternaria* et *Cladosporium*) apparus en milieu humide. C'est un assez grave défaut, car les pâtes risquent de présenter un mauvais aspect et d'avoir une mauvaise conservation.

La valeur industrielle se caractérise par deux aspects :

a) la valeur semoulière (rendement en semoule) : le grain fournit d'autant plus de semoule que sa structure est vitreuse et plus résistante à l'écrasement ;

b) la valeur qualitative des semoules dépend surtout :

- 1) du taux en protéines et en gluten humide,
- 2) des qualités plastiques,
- 3) de la teneur en pigments jaunes qui provoquent la coloration des pâtes.

Les deux données les plus habituellement mesurées sont le taux de protéines et le pourcentage des grains mitadinés.

B L'INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITE DU BLE DUR

Les recherches sur ce sujet ne sont pas très nombreuses et les résultats pas toujours concordants.

o Rôle de la fumure azotée

Le grain peut devenir en partie farineux (mitadiné) lorsque la nutrition azotée est insuffisante, particulièrement au moment de la période qui va de l'épiaison à la floraison. En effet, la structure de l'amande dépend de la teneur en protéines. Celles-ci contribuent au réseau protéinique qui englobe les grains d'amidon, et renforcent ainsi la vitrosité, la dureté et le rendement en semoule (qualités qui diminuent dans le cas des grains mitadinés).

Les travaux les plus nets semblent avoir montré que la fumure azotée, tardive en particulier, avait une action positive nette en diminuant le mitadinage et en augmentant la teneur en protéines. Lorsque la teneur du grain dépasse 2,80 %, celui-ci est totalement vitreux, et le rendement en semoule est élevé.

o Le rôle de la fumure phosphatée n'a pas été démontré.

o Rôle de la fumure potassique

Les engrais potassiques peuvent provoquer une augmentation de la teneur en azote du grain et en améliorer ainsi, indirectement, la valeur technologique.

L'action favorable du potassium sur le mitadinage est parfois controversée. Les essais de la Station d'amélioration des plantes de Montpellier ont montré

une diminution de l'indice Nottin avec l'élévation de la fumure potassique, et cela résulterait des fortes fumures azotées appliquées. On enregistrerait aussi une diminution de la sensibilité à la rouille et du pourcentage de moucheture ; mais de nombreux points sont loin d'être élucidés à cet égard. L'amélioration de la vitrosité du grain par la fumure potassique est nette lorsque les conditions climatiques perturbent la formation et la migration des protéines au moment de la maturation.

○ Résultats expérimentaux récents de la S.C.P.A.

Sur l'essai factoriel N × P × K (3 × 3 × 3) d'Ozoir-le-Breuil (Eure-et-Loir) les résultats suivants furent obtenus en 1969 sur blé dur Lakota.

① Poids spécifique

Seule l'interaction N × K fut importante (tableau ci-dessous).

PS	K0	K80	K160	Effet N	ppds	0,05	0,01
N 60	75,2	76,2	76,1	75,9	Effet N ou K Tableau NK	0,42 0,73	0,56 0,98
N 110	74,4	75,7	76,1	75,4			
N 160	73,2	74,1	75,3	74,2			
Effet K	74,3	75,4	75,8	75,2			

L'effet de l'azote est légèrement négatif (HS) et l'effet de la potasse est positif (THS).

L'effet des doses croissantes d'azote est dépressif aux faibles niveaux de potasse (— 2,0). Il devient très modéré en présence de K160 (— 0,8). L'effet potasse

croît ainsi avec les doses d'azote (+ 0,9 ; + 1,7 ; + 2,1).

② Grains mitadinés

Les pourcentages de grains mitadinés ont été déterminés par un laboratoire spécialisé de Chartres.

Pourcentages de grains mitadinés

	P0	P80	P160	K0	K80	K160	Effet N
N 60	20,4	27,9	33,0	32,1	26,5	22,7	27,1
N 110	6,1	7,8	10,7	6,9	11,6	6,1	8,2
N 160	6,1	4,5	4,0	5,4	4,2	5,0	4,9
				Effet K	ppds	0,05	0,01
K 0	14,0	15,4	14,9	14,8	Effet N, P, K Tableaux NP, NK, PK	3,54 6,13	4,74 8,21
K 80	10,6	12,9	18,8	14,1			
K 160	7,9	12,0	13,9	11,3			
Effet P	10,8	13,4	15,9				

— L'effet azote fut dominant et très hautement significatif. Le pourcentage de grains mitadinés décroît considérablement avec les doses (N 110 — N 60 = — 18,9 %).

— L'effet de l'acide phosphorique est ici d'accroître significativement le taux de grains mitadinés (+ 5,1 %, HS).

— L'effet de la potasse est juste, significatif et favorable (— 3,5 %, limite S).

— L'interaction N × P est très hautement significative : l'effet défavorable de P₂O₅ est accentué au fai-

ble niveau d'azote N60, modeste avec N110 et disparaît pour laisser place à une tendance favorable en présence de N160.

— L'interaction N × K est significative aussi, mais inverse de la précédente. La potasse exerce un effet favorable, surtout net au faible niveau d'azote N60 (— 9,4 %).

En conclusion, on peut dire, et l'exemple précédent en est une bonne illustration, que la fertilisation joue un rôle important sur la qualité du blé dur. L'action de l'azote et de la potasse semble fondamentale à cet égard.

A LES CRITERES DE QUALITE DE L'ORGE DE BRASSERIE

L'orge de brasserie, avec le houblon, constitue la matière première de la production de bière. Les critères de qualité les plus importants donnent lieu aux déterminations suivantes :

- ① **L'analyse de la grenaison :** elle permet de constater les dégâts mécaniques (brisures) et d'apprécier le rendement maximal en substances utilisables en brasserie. Des grains bien formés, avec glumelles finement ridées, vont de pair avec une teneur élevée en extrait. Une couleur uniformément claire, jaune paille, fournit une première indication sur la couleur des moûts et de la bière. Une odeur anormale peut traduire un mauvais pouvoir germinatif comme résultat d'une récolte déficiente ou d'une mauvaise conservation.
- ② **La détermination de la teneur en eau** revêt une réelle importance avec l'extension des récoltes à la moissonneuse-batteuse.
- ③ **La détermination précoce du pouvoir germinatif avant fin de dormance** est très utile, car un bon pouvoir germinatif conditionne principalement la production de malt. Les grains trop humides accroissent les risques de mauvaise germination.
- ④ **Le classement des grains en fonction des dimensions intervient aussi.** La détermination du poids de 1.000 grains est très utile, mais la répartition des grains suivant différentes classes de dimensions (tamis) est plus importante que leur grandeur absolue, car plus étroitement liée à la teneur en extrait du malt.

Notons que la détermination du poids de l'hectolitre semble convenir assez peu à l'estimation de la qualité de l'orge de brasserie. Cette donnée peut être influencée par de nombreuses causes et, en particulier, augmentée par un battage plus dur qui causera des blessures mécaniques aux germes, d'où résultera une forte baisse de qualité des grains.
- ⑤ **La détermination de la teneur en protéines brutes** prend ici une signification particulière. Une teneur plus élevée s'accompagne, pour une même variété, d'une plus faible teneur en extrait, mais aussi d'une plus grande activité des enzymes. Une teneur élevée en protéines est une source de difficultés dans l'utilisation industrielle des malts et tend à donner des moûts à plus faibles indices de couleur.
- ⑥ Il faut mentionner enfin que des indices supplémentaires sur l'aptitude au maltage d'une orge peuvent être obtenus par l'examen de ses capacités de gonflement et de sa sensibilité à l'eau.

B INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITE DE L'ORGE DE BRASSERIE

Il est certain que la proportion de grains bien développés et la teneur en protéines brutes dépendent des fumures appliquées. Il faut respecter un certain équilibre entre l'azote, d'une part, et l'acide phosphorique et la potasse, d'autre part.

Le rôle de la fumure azotée est primordial, mais les effets peuvent différer sensiblement suivant les conditions climatiques de l'année. Si, par exemple, le rendement s'élève plus vite, proportionnellement, que l'absorption d'azote dans les grains, une forte fumure azotée pourra être accompagnée d'une teneur en protéines non majorée.

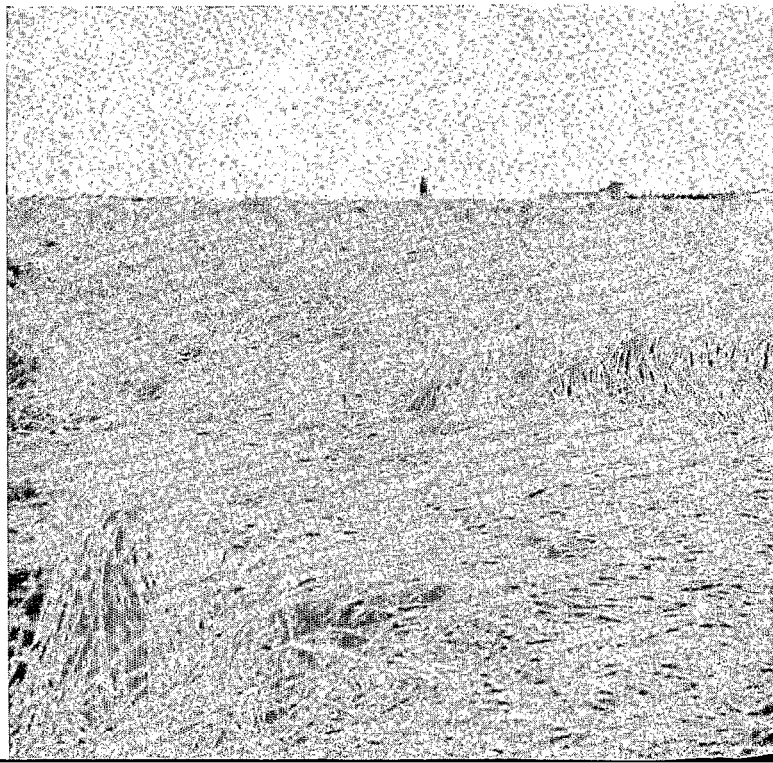
A l'inverse, dans des conditions climatiques adverses, on risque d'obtenir des petits grains avec une teneur élevée en protéines brutes.

La fumure azotée ne doit pas dépasser certaines limites, si un excès de protéines et un moins bon développement des grains risquent d'engendrer une baisse de la qualité de brasserie. Il faut donc connaître le taux de protéines obtenu, en moyenne, avec une fumure azotée donnée.

Pour courir un risque minimal, les apports d'azote précoces semblent préférables, en vue de l'obtention de meilleurs rendements accompagnés de faibles teneurs en protéines. Les apports tardifs d'azote iraient à l'encontre de ce dernier but.

D'autre part, le risque d'une mauvaise grenaison semble d'autant plus faible que la variété est plus résistante à la verse.

Les orges sensibles à la verse sont plus sujettes à une mauvaise grenaison d'où risques plus grands pour les débouchés en brasserie



En fait, l'influence défavorable de l'azote sur la qualité n'apparaît guère que dans le cas d'une fumure déséquilibrée.

En présence d'une bonne fumure phosphatée et potassique, le développement des grains est amélioré, et le taux de protéines brutes tend à diminuer. Cette influence sur la qualité est encore plus nette s'il y a effet positif de P_2O_5 et K_2O sur les rendements eux-mêmes.

Une majoration de la dose d'acide phosphorique et de potasse en présence d'une même dose d'azote, aura le plus souvent pour effet une amélioration qualitative sur la grenaison et sur l'abaissement de la teneur en protéines.

Par contre, l'influence de l'acide phosphorique et de

la potasse sur les qualités de maltage, est peu nette, sauf peut-être pour P_2O_5 .

En conclusion, dans la culture de l'orge de brasserie, les engrais minéraux tendent surtout à élever les rendements ; mais ici l'influence sur la qualité des grains revêt une grande importance, liée surtout à la fumure azotée. Celle-ci peut, si elle est exagérée ou mal appliquée, déprécier sensiblement la qualité ; mais cela dépend aussi des conditions climatiques et variétales.

Dans la plupart des essais, la fumure phosphatée et potassique tend à corriger l'effet défavorable de l'azote sur la grenaison et la teneur en protéines brutes, si bien que l'obtention de hauts rendements dans de telles conditions va généralement de pair avec une bonne qualité.



FUMURE ET QUALITE DE L'ORGE FOURRAGERE

La qualité d'une orge fourragère dépend de la physiologie digestive de l'espèce animale qui la consomme. Pour les bovins, c'est un complément énergétique et azoté à une ration à base de fourrages ; pour les porcins, c'est la base de la ration, complétée par ailleurs de matières azotées et de sels minéraux. La qualité est donc ici une notion contingente.

A CRITERES DE QUALITE DE L'ORGE FOURRAGERE

Certains dépendent surtout des conditions de récolte et de conservation. C'est, en particulier, le cas de la **teneur en eau** (1^{er} critère) qui ne doit pas dépasser 14 % pour permettre une bonne conservation du grain. Les pourcentages de déchets et d'autres graines doivent être les plus bas possible, car ils sont une source de dépréciation, ainsi que la présence de parasites.

Les autres critères dépendent de la composition du grain :

- ① **glucides.** Les glucides de l'orge fourragère comprennent surtout l'**amidon** (70 % de la matière sèche) qui lui confère sa **haute valeur énergétique**. Rappelons que l'unité fourragère est précisément l'énergie utilisable dans 1 kg d'orge. Lorsque les grains sont mal développés, la richesse en amidon diminue, et inversement, les pourcentages de lignine (2 %) et de cellulose (4 %) s'accroissent par diminution de l'amande par rapport aux enveloppes, et la valeur énergétique est inférieure. Ces grains sont généralement aplatis et ont un faible poids spécifique. La détermination du **poids spécifique** (2^{me} critère) est donc intéressante pour apprécier à la fois la valeur énergétique, le taux d'impuretés, la proportion d'enveloppes.
- ② **matières azotées.** Elles représentent, en moyenne, 10 à 12 %, mais ce taux peut varier de 8 à 16 %. L'orge est une bonne source de protéines, mais la

ration doit corriger ses faiblesses en certains acides aminés indispensables ou semi-indispensables. On peut dire que la teneur du grain en ces acides aminés est elle-même fonction de la **teneur en azote total** (3^{me} critère), bien qu'une élévation de cette dernière puisse aller de pair avec une baisse relative (par rapport à l'azote total) de certains de ces acides aminés.

- ③ **lipides.** L'orge est très pauvre en corps gras (2 %).
- ④ **éléments minéraux.** Le grain d'orge est nettement pauvre en sodium et calcium, assez riche en magnésium et potassium. La teneur en phosphore est assez élevée et beaucoup moins fluctuante que dans les fourrages grossiers.
- ⑤ **vitamines.** L'orge apporte des vitamines B, mais leur taux n'est pas influencé par la fertilisation ; seul le séchage, s'il est pratiqué, peut en diminuer la teneur.

B INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITE DE L'ORGE FOURRAGERE

Nous venons de constater que les critères de qualité de l'orge fourragère étaient différents de ceux de l'orge de brasserie. En particulier, l'obtention de grains riches en protéines est très importante. Les conditions de milieu et les variétés pourront présenter une influence supérieure à celle de la fumure.

- ① **La fumure azotée** reprend donc ici toute son importance, comme facteur d'élévation du rendement et de la richesse du grain en protéines. Comme pour le blé, on peut dire que les apports d'azote assez tardifs agiront davantage sur la teneur en protéines que sur la production de matière sèche. Cela concerne surtout les protéines insolubles (hordeïne).

Certains acides aminés (acide glutamique et proline, en particulier) se trouvent, de ce fait, aug-

mentés relativement et d'autres diminués (cystine, lysine, thréonine). Mais les quantités absolues de ces derniers acides aminés sont néanmoins légèrement accrues.

Sous l'effet de la fumure azotée, la teneur en azote des grains peut être notablement accrue : sur l'essai de Pont-Saint-Martin (Loire-Atlantique), en 1964, la teneur en azote passe de 1,35 à 1,66 % pour une fumure azotée passant de 40 à 100 unités ; à Ablis (Yvelines), en 1965, la teneur passe de 1,72 à 1,93 % N quand la fumure azotée passe de 60 à 75 unités.

- ② **La déficience en soufre** tendrait à élever la teneur en azote du grain et à modifier la composition des protéines. Dans un essai « soufre » à Nitry (Yonne), il n'a pas été détecté d'effet sur la teneur du grain en soufre (0,13 % S) pour des apports allant de 0 à 72 kg/hectare de S, malgré la déficience du milieu.
- ③ **La déficience en phosphore** fait baisser la teneur du grain en phosphore. Sur l'essai du Rafidin (Marne), en 1965, on a noté 0,27 % P dans les grains des parcelles sans fumure phosphatée et 0,36 % P

dans les grains des parcelles ayant reçu 120 kg/ha de P_2O_5 .

- ④ **La déficience en potassium** ne perturbe pas considérablement la teneur en K du grain, qui se situe vers 0,55 % et peut tomber vers 0,40 % en cas de grave déficience.

Une influence indirecte des engrais potassiques consiste souvent en une majoration de la teneur en azote du grain ; ainsi à Ablis, en 1965, la teneur en N passe de 1,60 à 1,72 % quand la fumure potassique passe de 0 à 90 unités. Le rôle important du potassium est démontré en ce qui concerne la synthèse des glucides et des protéines.

Une influence favorable, fréquemment enregistrée dans les essais, consiste en une élévation moyenne de 2 à 3 points du poids spécifique quand la dose de potasse passe de 0 à 100 unités.

Enfin, on estime qu'une fumure minérale équilibrée exerce également une influence favorable sur la digestibilité de l'ensemble des principes nutritifs. Mais des recherches, en ce domaine, restent à faire sur l'influence des engrais sur la teneur en cellulose et en protéines de l'orge fourragère.



FUMURE ET QUALITE DU MAÏS

L'utilisation du produit ayant une influence directe sur les critères de qualité, il est bon de préciser que la production mondiale de maïs présente les utilisations suivantes : alimentation du bétail 78 %, alimentation humaine 11 %, industrie alimentaire 4 %, amidonnerie 5 %, industries de fermentation 2 %.

D'autre part, le maïs fourrage et les tiges de maïs peuvent servir à l'alimentation animale ; mais il ne sera ici question que du maïs grain.

CRITERES DE QUALITE DU MAÏS

① L'aspect extérieur

Il concerne les critères classiques des céréales : odeur, couleur, homogénéité de taille, poids spécifique, poids de 1.000 grains, pureté variétale, proportions de grains cassés, type variétal.

Selon les normes adoptées à Bruxelles, un maïs sain, loyal et marchand, doit remplir les conditions suivantes :

- humidité : 15 % au maximum,
- impuretés : 5 % pour les grains endommagés, avariés, chauffés, moisissés, germés,
- 2 % pour les grains cassés, mesurant moins de 4,5 mm de diamètre,
- 1 % pour les impuretés sans valeur.

En ce qui concerne le poids spécifique, il n'y a pas pour le maïs, comme pour le blé et l'orge, de liaison formelle avec la qualité du grain, et ce critère n'est pas retenu.

La couleur peut être un critère particulier, intéressant pour certains usages (maïs blanc). Le type variétal résulte de la composition physique de l'endosperme qui peut être farineux ou corné, ou vitreux. Chaque variété présente une répartition caractéristique de zones d'endosperme farineux ou corné. La texture du grain (corné ou semi-corné) est un critère important.

② La valeur d'utilisation du maïs

La teneur en matière sèche (taux d'humidité) est un facteur de qualité important pour toutes les utilisations du maïs.

— **En ce qui concerne la fabrication d'aliments de mélange pour le bétail**, c'est la valeur énergétique qui compte, exprimée en unités fourragères. Pour l'obtention de produits de bonne conservation, la farine de maïs ne doit pas contenir plus de 1 % d'huile.

— **Pour l'industrie de l'amidon**, c'est surtout le rendement en matière sèche totale qui compte.

— **En ce qui concerne l'industrie alimentaire**, il s'agit de variétés particulières dont les critères de qualité dépendent du produit fabriqué (flocons de maïs, fa-

rine, semoule). Pour la fabrication domestique de divers aliments, très rare en France, la structure du grain et sa saveur sont les critères importants.

③ La valeur biologique du maïs

Le maïs possède une haute valeur énergétique (1,15 à 1,20 unités fourragères au kg contre 1,05 pour le blé, 1 pour l'orge et 0,80 pour l'avoine). Le maïs est la plus riche en énergie et la plus pauvre en azote des céréales.

Il contient environ 10 % de protéines brutes, à forte teneur en zéine. Mais le maïs ne contient ni tryptophane, ni lysine, mais beaucoup de leucine. Il y a donc carence en deux acides aminés essentiels et excès en un troisième.

On peut facilement améliorer la valeur biologique du maïs dans l'industrie des aliments du bétail.

INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITÉ DU MAÏS

L'obtention finale d'un maïs de qualité dépend non seulement de l'agriculteur (qualité de la semence, choix de la variété, préparation du sol, fertilisation, date de semis, date de récolte, réglage des machines de récolte), mais aussi de l'organisme stockeur. D'une manière générale, tout ce qui peut avancer la maturité physiologique est un facteur d'amélioration de la qualité du maïs. Les facteurs agronomiques (niveaux des éléments dans le sol, fumure, peuplement, irrigation) peuvent agir sur la valeur nutritive du maïs.

① Qualité protéinique du maïs

Les engrais azotés tendent à accroître la teneur en azote et en protéines du grain. Dans des essais à doses croissantes d'azote, la littérature fait état de majorations du taux de protéines de 7,2 à 8,8 %, 7,1 à 10,3 %, 8,1 à 11,8 %. Le maximum de variation enregistré semble être de 1,1 à 2,2 % (azote), soit 6,8 à 13,6 % en protéines. Mais une majoration plus normale sera de 1,3 à 1,7 % N, ou de 8,1 à 10,6 % de protéines. On admet d'ailleurs un taux moyen de 1,5 % N pour le grain à 15 % d'eau, pour les calculs d'exportations d'azote.

L'accroissement de la teneur en protéines est surtout dû à un accroissement de la zéine, les taux faibles de tryptophané et de lysine n'étant pas affectés.

La fumure complète tend à accroître aussi la teneur en cystine, et les engrais phosphatés la teneur en méthionine.

Mais on peut dire qu'en général les efforts en vue d'améliorer la qualité protéinique du grain de maïs par la fertilisation ont donné des résultats décevants (bien sûr, des augmentations quantitatives ont été obtenues); cependant des recherches récentes de sélection semblent prometteuses en ce qui concerne l'amélioration du taux de tryptophane.



En cas de déficience potassique, le pourcentage de rafle augmente et les épis de maïs sont souvent inachevés à la pointe

② Teneur en huile

La fertilisation n'agit pas nettement sur la teneur en huile du grain de maïs qui dépend surtout de la variété.

③ Composition minérale du grain

L'influence de la fumure sur la composition minérale du grain est variable. La teneur en acide phosphorique peut présenter des fluctuations importantes (0,40 à 0,90 % P_2O_5), mais le niveau du sol en phosphore semble agir davantage sur la teneur que les apports phosphatés.

Le taux de potasse du grain est très peu influencé par la richesse du sol en potasse ou la fumure potassique. Les maïs souffrant d'une déficience en eau ou même en potasse, ont des grains anormalement riches en K_2O (0,50 % au lieu de 0,42 % en moyenne) par suite d'une concentration.

La fertilisation n'agit pas sur la teneur en chaux très faible du grain (0,02 %) et la variété influe quelque peu sur la teneur en magnésium (0,12 à 0,20 %).

④ Formation de l'épi

Par contre, la nutrition potassique exerce une influence marquée sur la formation de l'épi, en ce sens

que lorsque la déficience potassique est accentuée, le pourcentage de rafle par rapport à l'épi augmente d'une manière généralement significative; les épis sont mal conformés, souvent inachevés à la pointe.

D'une manière générale, une fumure complète suffisante et équilibrée permet d'obtenir des grains mieux formés, plus homogènes et d'une meilleure structure.

10

FUMURE ET QUALITE DU RIZ

Rappelons que le riz dont la culture est, en France, très restreinte et localisée (30.000 ha) est la seconde céréale mondiale, derrière le blé.

A CRITERES DE QUALITE DU RIZ

○ L'aspect extérieur et la qualité technologique

Les critères concernent essentiellement l'humidité, les taux de brisures, d'impuretés, les pourcentages de grains verts, rouges, jaunes, et le rendement à l'usinage qui indique les quantités obtenues de grains blancs, brisures blanches, cargo, farine basse, balles.

— **Humidité** : le pourcentage d'eau est surtout un élément de conservation, il ne doit pas dépasser 14,5 % pour éviter le développement des micro-organismes.

— **Le pourcentage de brisures** ne renseigne pas rigoureusement sur la qualité du grain, car il n'y a pas de liaison catégorique entre les brisures du paddy et le rendement final.

— **Les grains verts** résultent d'une maturité insuffisante (grains à texture faible et friable sous le doigt). Il en résultera des pertes plus ou moins grandes à l'usinage.

— **Les grains jaunes** proviennent d'un échauffement après récolte ou au stockage, et déprécient la valeur marchande.

Il n'y a pas de relation nette entre le rendement final en grains blancs entiers et le poids de 1.000 grains ou le poids spécifique.

La solidité du grain synthétise les qualités permettant d'obtenir le maximum de riz blanc à partir du paddy.

Indépendamment de la variété, très importante en matière de qualité et de classification, les critères de qualité intervenant dans la fixation du prix sont le taux d'humidité, le rendement à l'usinage, les défauts. La réglementation de la C.E.E., valable en France, énumère les caractéristiques précises en ce qui concerne l'humidité (14,5 %), le rendement à l'usinage en riz blanchi, les pourcentages de divers défauts, et codifie les bonifications ou réfections.

○ La valeur biologique du riz

Le grain de riz contient 62 à 80 % de glucides, 0,5 à 2 % de lipides, 6 à 10 % de protides. Sa valeur éner-

gétique est d'environ 350 calories pour 100 g. Il est moins riche en protides que la plupart des céréales (10 à 12 %), mais ces protides sont de valeur biologique élevée. Les acides aminés indispensables se trouvent en plus grande quantité dans le grain de riz poli que dans la farine de blé.

Le grain de riz renferme de nombreuses vitamines dans ses couches périphériques, d'où il résulte que le blanchiment provoque une perte importante de vitamines. Pour le consommateur européen, le blanchiment, le polissage et le glaçage n'ont aucun inconvénient pour la santé.

B INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITE DU RIZ

Les principaux facteurs susceptibles d'intervenir sur le rendement à l'usinage sont ceux capables d'agir sur la fragilité du grain : fumure, irrigation, conditions et date de récolte. La date de récolte est l'un des principaux facteurs de la qualité du riz et de sa valeur technologique. Les études sur la qualité doivent se faire dans des conditions identiques de date de récolte et de séchage.

L'action la plus étudiée est l'influence de l'azote sur le rendement à l'usinage.

L'idée générale était que les fumures azotées élevées pouvaient provoquer un retard assez marqué de la maturité et une augmentation des grains verts (de 4,4 à 8,6 % de N 80 à N 140 dans des essais de 1960), d'où une baisse sensible du rendement. A partir de 1962, l'interaction : doses d'azote × dates de récolte (et parfois × variétés) a été étudiée par l'I.N.R.A. et le Syndicat des Riziculteurs.

En ce qui concerne le rendement en grains blanchis entiers, les variétés se sont classées dans l'ordre décroissant : Balilla, RB, Cigalon, Arlésienne. Pour chaque variété, le rendement passe par un maximum pour une certaine période. Pour les doses d'azote 80, 110, 140 kg/ha N étudiées, il n'y a pas eu de baisse de rendement à l'usinage en grains blanchis entiers. Pour la variété Arlésienne, le rendement passerait par un maximum vers N 110.

D'autre part, la fumure azotée intervient sur la teneur du grain en matières protéiques. Dans des essais en vases, la Station de l'I.N.R.A. d'Avignon a obtenu pour

des doses croissantes 0, N, 2N, 4N, les pourcentages suivants de protéines : 7,75 - 6,25 - 7,81 - 11,12. Cette bonification est intéressante, puisqu'elle tend à atténuer le défaut de composition du grain de riz et les pertes à l'usinage.

Il y a très peu de données sur l'influence de l'acide phosphorique et de la potasse sur la qualité du riz. L'aspect extérieur du grain, sa vitrosité, le clivage semblent influencés par la fumure, et la qualité est améliorée par l'équilibre NPK.

Dans un essai réalisé à Saint-Gilles (Gard) en 1960,

il fut noté que les doses de potasse faisaient diminuer légèrement le taux de brisures de 5,7 à 4,5 %, et augmenter le rendement à l'usinage de 78,1 à 80,2 de K 0 à K 200.

Enfin, on a observé, certaines années à climatologie défavorable, que des doses trop élevées d'azote favorisaient les maladies cryptogamiques et la coulure physiologique. La potasse aurait, au contraire, un rôle protecteur, particulièrement vis-à-vis de l'Helminthosporiose (leaf spot disease) et peut-être contre la Piriulariose (conjointement à l'acide phosphorique dans ce dernier cas).



FUMURE ET QUALITE DE LA POMME DE TERRE

Dans les pays dits riches, les féculents ne constituent plus la base fondamentale de l'alimentation humaine. La pomme de terre y devient de plus en plus un légume « comme les autres », entrant dans la préparation des plats les plus variables. Ainsi, dans ce contexte de concurrence des autres légumes, le problème de la qualité revêt-il une grande importance pour la pomme de terre.

A CRITERES DE QUALITE DES POMMES DE TERRE

Ils dépendent évidemment de l'usage auquel on les destine, mais les **critères extrinsèques** de présentation sont à peu près valables pour toutes les destinations : les tubercules doivent être sains, sans blessures, dégâts d'insectes, de pourritures, de gales, sans flétrissures, germination, gel, etc.

Les variétés à forme régulière et dont les yeux sont superficiels sont plus économiques à l'épluchage.

Les tubercules doivent être homogènes de forme et format, pour présenter de bonnes qualités culinaires.

○ Les critères de qualité culinaire

Ils dépendent eux-mêmes du mode de préparation.

— **Pour les pommes de terre en robe de chambre, les pommes sautées, les salades**, on préfère les variétés à chair ferme, non farineuses, ne se délitant pas à la cuisson.

— **Pour les purées et les potages**, la préférence va aux variétés assez farineuses, se délitant aisément, mais pas trop (Bintje par exemple).

— **Pour les frites et les chips**, on recherche les pommes de terre à teneur moyenne en fécule (une teneur trop faible engendre des frites molles, une teneur trop élevée des frites dures et cassantes) ; on évite aussi les tubercules trop riches en sucres qui engendrent des produits foncés par caramélisation.

En réalité, une variété moyenne pourra convenir à peu près à tous les usages, si la ménagère sait choisir les

tubercules en fonction des préparations (petits et moyens pour les salades, gros pour les frites, très gros pour la purée).

De toute façon, les tubercules doivent présenter des qualités organoleptiques correspondant au goût du consommateur qui retient en général la saveur, la couleur et la texture. Celles-ci dépendent surtout des variétés, mais aussi du climat, du terrain, des engrais, de la conservation.

① Les critères de couleurs sont relativement établis :

— Critère du **noircissement après cuisson** : un pigment noir peut se former dans les pommes de terre après cuisson, près du talon du tubercule. C'est un composé du fer, et la tendance des pommes de terre à noircir a été reliée à la déficience en potassium.

— Critère du **noircissement enzymatique** : il s'agit du noircissement des tubercules une fois épluchés ou coupés. Il a été montré que la tendance des tubercules à noircir dépendait de la teneur en tyrosine. La tyrosine est l'acide aminé le plus abondant dans le tubercule ; elle se transforme par l'action d'une diastase en mélanine que l'on considère comme l'agent du noircissement.

② **En ce qui concerne la saveur**, il n'existe pas de critère simple.

③ **Les facteurs intervenant principalement sur la texture** sont l'amidon et la pectine.

Il existe une liaison entre la dimension des grains d'amidon et la texture ; les petits grains correspondent aux tubercules plus friables. Une pomme de terre farineuse serait celle présentant un gonflement important de l'amidon et une assez faible cohésion des matières pectiques intercellulaires.

Le taux d'amidon du tubercule est ainsi le facteur principal, mais non unique, d'explication du délitage des pommes de terre à la cuisson. Il existe une forte corrélation entre le degré de farinosité des pommes de terre et leur poids spécifique, et ce dernier

est une mesure relative de la matière sèche dont l'amidon représente environ 75 %.

○ Les critères de qualité technologique

Pour l'extraction de la fécule, la teneur en amidon et indirectement le poids spécifique sont les critères importants. Une mauvaise qualité est généralement associée ici à un faible poids spécifique.

D'autre part, de nombreux essais ont montré que les pommes de terre à poids spécifique élevé donnaient un produit farineux avec de meilleurs rendements en chips et en poudre de pomme de terre déshydratée.

Une faible teneur en sucres réducteurs constitue aussi un critère de qualité dans la fabrication des chips, car ainsi qu'il a été dit plus haut, une teneur élevée engendre un brunissement exagéré des chips par caramélisation.

Il faut reconnaître que les progrès des nouvelles industries de transformation (chips, frites congelées, purées déshydratées) entraîneront des progrès dans la définition des critères technologiques correspondants.

○ Les critères de valeur nutritionnelle

Les substances intéressantes de la pomme de terre sont l'amidon, les protides, la vitamine C.

La teneur en matière sèche du tubercule frais est en corrélation étroite avec la teneur en amidon et constitue un critère de qualité important.

La teneur en protides est peu variable.

La teneur en vitamine C constitue un critère important, car le tubercule est riche à cet égard (20 mg d'acide ascorbique pour 100 g).

☐ INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITÉ DE LA POMME DE TERRE

L'aspect le plus simple de l'action de la fumure sur la qualité des pommes de terre est relatif aux critères extrinsèques de la qualité (essentiellement le calibre des tubercules) et aux aspects externes liés à la conservation. Ce sont les effets les plus souvent (et souvent les seuls) appréciés dans les essais de fertilisation.

① Action de la fumure sur la grosseur des tubercules

Il est assez fréquent qu'une forte fumure NPK augmente le pourcentage de tubercules de première catégorie. Mais il a été parfois signalé que de fortes doses d'engrais permettant l'obtention de hauts rendements pouvaient favoriser la production de tubercules trop gros, présentant des craquelures, des bosses et autres défauts extrinsèques indésirables. Cependant, la fertilisation donnant le plus fort rendement conduit généralement au plus fort rendement en tubercules de première catégorie, même si le pourcentage de ceux-ci par rapport au rendement total peut légèrement diminuer dans certains cas.

Le phosphore et surtout le potassium contribuent à l'amélioration des calibres. Voici, les principaux résultats obtenus par le Service d'Expérimentation Agronomique de la S.C.P.A. sur ce sujet, au cours des dernières années, dans des conditions très diverses, avec des doses de potasse variant de 0 à 400 kg/ha de K₂O.

Rendements en tonnes/hectare									
Essai de Sancourt (Nord) 1964					Essai de Sainte-Marthe (Lot-et-Garonne) 1964				
Calibre	K 0	K 200	K 400	ppds 0,01	Calibre	K 0	K 120	K 240	ppds 0,01
Plus de 45 mm	24,3	32,4	35,7	7,4	Plus de 35 mm	7,44	14,21	16,61	2,15
35-45 mm	9,7	8,9	9,4	—	Moins de 35 mm	5,23	5,85	5,81	0,38
Moins de 35 mm	1,4	1,3	1,4	—	Total	12,67	20,06	22,42	2,24
Déchets	0,5	0,7	0,8	—	% de petites	41,6%	29,3%	25,9%	4,7%
Total	35,9	43,3	47,3	6,1					

A Sainte-Marthe, sur Bintje, le pourcentage de petits tubercules décroît de K 0 à K 240 d'une manière très hautement significative (et significativement de K 120 à K 240).

A Sancourt, sur Bintje, la proportion de tubercules inférieurs à 35 mm ou défectueux (verdis ou attaqués), est stable et ne représente que 3 à 4 % et 1 à 2 % respectivement du total. La proportion de tubercules commercialisables (supérieurs à 35 mm) ne varie pas avec la fumure potassique (95 à 96 % du total). Par

contre, les doses de potasse ont eu une influence favorable marquée sur la proportion de gros tubercules (supérieurs à 45 mm) qui passe de 68 à 75 % au détriment de la catégorie 35-45 mm qui se trouve réduite de 27 à 20 %.

A Omiécourt, dans un essai factoriel N × K en collaboration avec la Station Agronomique d'Amiens, les résultats concernant les effets principaux de l'azote et de la potasse furent les suivants (variété Bintje) :

Essai d'Omiécourt (Somme) 1965 en t/ha									
Calibre	N 75	N 150	N 225	ppds 0,05	K 0	K 150	K 300	K 450	ppds 0,01
Plus de 45 mm	18,6	20,4	23,8	5,6	9,9	21,2	23,8	23,3	2,2
35-45 mm	6,1	7,4	5,1	—	5,7	6,1	6,4	6,4	—
Plus de 35 mm	24,7	27,8	28,9	4,0	15,6	27,3	30,2	29,7	2,5
Moins de 35 mm	5,5	8,4	9,2	—	6,3	7,4	7,6	8,9	—
Total	30,2	36,2	38,1	3,6	21,9	34,7	37,8	38,6	2,9

L'azote a un effet positif sur les tubercules commercialisables (supérieurs à 35 mm) de + 4,2 t qui porte uniquement sur les gros tubercules (+ 5,2 t), au détriment des tubercules 35-45 qui perdent 1 t. D'autre part, les petits tubercules (inférieurs à 35 mm) s'accroissent de 3,7 t/ha.

La potasse jusqu'à K 300 accroît le rendement en tubercules commercialisables de 14,6 t/ha, essentiellement par une action sur les gros tubercules (+ 13,4 t/ha), alors que les tubercules 35-45 ne gagnent que 0,6 t/ha et les petits tubercules 1,6 t/ha.

A Pont-Saint-Martin (Loire-Atlantique), sur variété Ker Pondy, en 1965, l'effet de l'azote de N 40 à N 160 fut de + 5,8 t/ha sur les rendements totaux, dont + 4,9 t/ha pour les seuls tubercules commercialisables. L'effet de la potasse de K 100 à K 300 fut de + 13,2 t/ha tous tubercules, dont + 11,3 t/ha pour les commercialisables.

On peut donc conclure que l'azote et surtout la potasse accroissent généralement les rendements en tubercules commercialisables (supérieurs à 35 mm) et que cette bonification se porte surtout sur les tubercules de calibre supérieur à 45 mm au détriment de la

classe 35-45 mm. La production de petits tubercules non commercialisables (inférieurs à 35 mm) peut croître en valeur absolue, mais son pourcentage par rapport au rendement total décroît en général.

② Action de la fumure sur la conservation

Sur l'essai d'Omiécourt (Somme), des expériences de conservation au stockage ont été réalisées sur deux séries d'échantillons parcellaires de 50 tubercules, l'une sans triage, l'autre avec triage.

Chaque tubercule a été examiné et classé en fonction de l'intensité des taches noires superficielles, dans l'une des trois catégories de qualité suivantes :

- « mauvaise » : tubercule très déprécié par les taches noires, soit généralisées sur une grande partie de la surface, soit localisées, mais s'étendant en profondeur,
- « passable » : tubercule affecté superficiellement et localement par les taches noires, mais commercialisable,
- « bonne » : tubercule sain, indemne de taches noires.

Fumure (dose de potasse en kg/ha)	Tubercules non triés, en %			Tubercules triés, en %			Total
	mauvaise	Catégorie passable	bonne	mauvaise	Catégorie passable	bonne	
K 0	27,3	31,3	41,4	59,7	24,3	16,0	100
K 150	4,0	9,3	86,7	25,3	46,7	28,0	100
K 300	0,3	8,3	91,4	14,7	40,7	44,6	100
K 450	1,3	4,7	94,0	6,0	38,0	56,0	100
Moyennes	5,5	10,9	83,6	21,7	39,3	39,0	100

Pour les tubercules non triés, seul l'effet potasse fut catégorique. L'action favorable et spectaculaire de la fumure potassique s'est manifestée jusqu'à K 450 et a eu pour effet de diminuer considérablement les proportions de tubercules affectés de taches noires (59 % des tubercules examinés pour K 0 et 6 % seulement avec K 450). L'amélioration de la qualité est fonction des doses appliquées, mais l'effet de la première dose (K 150) est particulièrement net.

Les tubercules triés ont été passés au trieur 12 jours auparavant dans le but d'étudier l'influence mécanique du triage sur l'apparition de taches noires, en fonction des traitements. On observe encore l'influence très favorable des doses de potasse qui abaissent de façon très hautement significative le pourcentage de tubercules mauvais (— 53,7 %) au bénéfice principalement de la catégorie « bonne » (+ 40 %) dont la proportion augmente linéairement avec les doses appliquées.

L'effet de la fumure potassique observé « sans triage » se retrouve donc « après triage », mais à un niveau inférieur, le pourcentage maximum de « bonnes » en

K 450 étant de 56 %, à comparer avec 94 % sans triage. L'influence sur la proportion de « mauvaises » est particulièrement nette également :

Triage	Tubercules « bons », en %			Tubercules « mauvais », en %		
	K 0	K 450	Effet triage	K 0	K 450	Effet triage
Non trié	41,4	94,0	67,7	27,3	1,3	14,3
Trié	16,0	56,0	36,0	59,7	6,0	32,9
Effet potasse	28,7	75,0	—	43,5	3,7	—

On en déduit que la fumure potassique à fortes doses permet de réduire au strict minimum (et de façon très hautement significative) les risques de meurtrissure inévitables résultant du triage mécanique.

L'influence du triage sur l'apparition de taches noires est donc manifeste, mais la fumure et en particulier les engrais potassiques permettent de limiter ces dégâts au minimum, en accroissant la résistance aux chocs des tubercules, aussi bien au stockage qu'au triage.

L'action de la fumure relative aux critères intrinsèques de la qualité de la pomme de terre est plus complexe que celle sur les critères extrinsèques précédemment envisagés.

③ Action sur la teneur en matière sèche

Dans les industries de transformation (chips, frites, etc.), il y a perte d'humidité et, par suite, la teneur en matière sèche détermine le rendement à l'usinage, et la qualité du produit fini dépend de la teneur en matière sèche. Avec la déshydratation une forte teneur en matière sèche améliore la texture des produits desséchés.

La teneur en matière sèche des pommes de terre dépend de divers facteurs dont les plus importants sont les suivants : la variété, l'époque de production (plus forte teneur en matière sèche grâce à une plantation précoce), le type de sol (plus forte teneur en général sur sols plus lourds), les conditions climatiques durant la phase de croissance (plus forte teneur avec étés secs), l'époque d'arrachage ou de destruction des fanes.

L'influence de la fumure est également marquée sur la teneur en matière sèche des tubercules de pommes de terre. Elle diminue en général avec l'augmentation des doses d'engrais. Mais le producteur recherche surtout le rendement le plus élevé, même s'il s'accompagne d'une baisse de teneur en matière sèche.

Généralement, le poids spécifique décroît avec l'élévation des doses d'azote et, corrélativement, les teneurs en amidon et matière sèche décroissent aussi. Cela joue surtout, semble-t-il, pour les fortes doses d'azote (voir page 20, essai d'Omiécourt).

Le tableau suivant rapporte pour les essais factoriels N × P × K de Pont-Saint-Martin (Loire-Atlantique) déjà cités, les effets principaux de l'azote et de la potasse sur le pourcentage de matière sèche.

1962 avec fumier				1965 sans fumier				1967 avec fumier			
N 40	N 80	N 120	N 160	N 40	N 80	N 120	N 160	N 40	N 80	N 120	N 160
25,37	25,09	25,24	25,08	22,70	22,00	21,79	21,57	25,69	24,97	24,47	24,27
K 0	K 100	K 200	K 300	K 0	K 100	K 200	K 300	K 0	K 100	K 200	K 300
25,82	25,48	24,76	24,73	18,64	23,94	23,13	22,35	24,89	24,87	24,69	24,94

Avec de fortes applications de potasse, la teneur en matière sèche de la pomme de terre a tendance à diminuer (Pont-Saint-Martin 1962, mais non 1967). Par contre, dans le cas des sols pauvres en potasse, la teneur en matière sèche augmente au moins avec les premières doses de potasse (Pont-Saint-Martin 1965 sans fumier).

La potasse appliquée sous forme de sulfate, comme dans l'exemple ci-dessus, donne un accroissement de rendement avec une très légère diminution du pourcentage de matière sèche. Avec des apports sous forme de chlorure, la baisse de teneur en matière sèche est un peu plus prononcée. Citons ici les résultats de l'essai d'Omiécourt (Somme) en 1965 :

Omiécourt	K 0	K 150		K 300		K 450		Effet N
		Cl	SO ₄	Cl	SO ₄	Cl	SO ₄	
N 75	22,19	20,60	21,82	21,68	20,54	20,80	21,10	21,24
N 150	21,59	21,77	20,28	20,05	20,93	18,49	21,20	20,61
N 225	20,46	18,24	19,81	18,77	18,77	18,33	19,35	19,10
Moyennes	21,41	20,20	20,63	20,17	20,08	19,21	20,55	

La teneur moyenne obtenue avec chlorure (19,86 %) est un peu inférieure à celle obtenue avec sulfate (20,42 %). Cet effet différentiel s'est particulièrement vérifié en présence de la forte dose de potasse et d'azote.

Il semble établi que la baisse de taux de matière sèche est surtout imputable à l'ion chlore plutôt qu'à l'ion potassium.

④ Action sur les hydrates de carbone

Un apport suffisant de potassium est indispensable pour obtenir une teneur élevée en amidon dans les tubercules grâce à la condensation des sucres réducteurs en sucrose et amidon.

L'apport de potasse à un sol déficient en potassium échangeable a pu augmenter de plus de 30 % la teneur en amidon. La forme sulfate favorise mieux que la forme chlorure le transfert des hydrates de carbone, et la teneur en amidon des tubercules est plus élevée avec le sulfate qu'avec le chlorure de potassium.

Bien que les teneurs en sucres soient relativement faibles (limites extrêmes de variation de 0,05 à 8 %) dans les tubercules, elles n'en jouent pas moins un rôle important dans les industries de transformation et les qualités gustatives.

Une teneur élevée en sucres aggrave les pertes dues à la respiration et diminue la conservation des tubercules. Elle confère un goût sucré désagréable et provoque un noircissement des chips. Pour les pommes pailles, il convient même que la teneur en sucres soit inférieure à 0,5 %.

La fumure peut agir sur la teneur en sucres des pommes de terre. Une déficience (ou un excès) d'un élément nutritif peut perturber la maturité des tubercules. Or, pendant la maturation, la teneur en sucres décroît et est accompagnée d'un accroissement de la teneur en amidon. Une nutrition minérale déficiente peut donc aller de pair avec une plus forte teneur en sucres par l'intermédiaire de la maturation insuffisante des tubercules.

L'apport de doses croissantes d'azote augmente la teneur en sucres réducteurs des tubercules.

Le phosphore n'a qu'un léger effet sur la teneur en sucres. Dans la majorité des cas, le potassium provoque une diminution de la teneur totale en sucres.

La teneur en amidon est plus élevée en présence d'apports potassiques suffisants et la teneur en sucres totaux est plus élevée avec de faibles apports.

Le phosphore joue un rôle important dans le métabolisme des hydrates de carbone. Il a été trouvé que des doses croissantes de P₂O₅ accroissaient la teneur en amidon des pommes de terre. Le phosphore est d'ailleurs lié à la molécule d'amidon et peut affecter les propriétés colloïdales de celui-ci. En particulier, la proportion de petits grains d'amidon serait accrue par les engrais phosphatés.

⑤ Action sur la décoloration des tubercules

Les pommes de terre présentant une coloration bleue à noire sont très dépréciées pour les industries à base d'épluchage. Cette coloration résulterait de la transformation par oxydation (en cas de meurtrissure) de la tyrosine (acide aminé le plus abondant du tubercule) en pigment bleu noir de mélanine, réaction catalysée par une diastase (tyrosinase) qui prend naissance dans les cellules endommagées. Les facteurs intervenant au premier chef sont la manutention et la variété, mais la fertilisation intervient aussi.

Les pommes de terre ayant une faible teneur en potassium sont plus sensibles au bleuissement, et cette sensibilité diminue lorsque la teneur du tubercule en potassium s'élève. L'ion potassium interviendrait en diminuant la teneur en tyrosine.

En fait, les quantités de potassium, susceptibles d'empêcher l'apparition de cette coloration, sont élevées et dépassent les doses conduisant à l'obtention du rendement maximum. La fumure azotée n'aurait pas d'action sur le noircissement.

Conclusion

L'opinion assez générale est que l'utilisation judicieuse des éléments azoté, phosphaté et potassique, peut conduire à une amélioration des qualités internes et externes des pommes de terre.

La fumure agit assez souvent par le biais de l'influence des éléments sur la maturation (l'importance de cette dernière sur la qualité des tubercules montre d'ailleurs que les facteurs du milieu et les soins culturaux ont une grande influence à cet égard).

L'obtention de hauts rendements sous l'effet de fortes doses d'engrais peut s'accompagner d'une certaine

baisse du taux de matière sèche des tubercules. Le rapport N/K₂O de la fertilisation est important, et il apparaît que les apports potassiques élevés à base de sulfate sont susceptibles de permettre de plus fortes doses d'azote sans baisse sensible du taux de matière sèche et du taux d'amidon, si importants pour la qualité technologique et même culinaire, de telle

sorte que les sucres n'atteignent pas un niveau défavorable au goût ou à la présentation des frites ou chips.

Les aspects de coloration après épluchage ou de couleurs des chips ou frites, en liaison avec les engrais, semblent nécessiter des investigations supplémentaires.

12

FUMURE ET QUALITE DE LA BETTERAVE SUCRIERE

A LES CRITERES DE QUALITE DES BETTERAVES SUCRIERES

Les critères de qualité de la betterave à sucre sont relativement plus aisés à établir que ceux de la plupart des autres cultures, car la qualité est ici liée à la quantité de sucre effectivement extraite. On cherche à obtenir les plus forts rendements en racines présentant la teneur en sucre la plus élevée possible. Ensuite la qualité intervient dans le processus d'extraction du sucre par la sucrerie, et les critères concernent les possibilités d'extraction et de purification du sucre.

La qualité de la betterave est liée à des propriétés physiques et à des caractéristiques chimiques.

○ Caractéristiques physiques

La forme de la racine, la facilité du découpage en cossettes interviennent dans le traitement à l'usine, mais ne sont pas affectées par les engrais. Il en est de même des conditions de conservation, de diffusion.

○ Caractéristiques chimiques

Teneur en sucre des racines, c'est-à-dire le pourcentage de saccharose dans la betterave, déterminé au polarimètre sur un extrait.

Pureté du jus : une certaine proportion du sucre extrait par le procédé d'extraction se trouve perdue, car non cristallisée dans les mélasses. La « pureté du jus » exprime le poids de saccharose en pourcentage du poids total de substances solides dissoutes dans le jus de betterave.

Les principaux constituants du jus qui gênent la cristallisation au cours du procédé d'usinage sont le potassium, le sodium et surtout l'azote aminé α (souvent désigné sous l'expression d'azote nuisible). La détermination de la qualité passe donc par celle de la composition chimique des jus, c'est-à-dire essentiellement des :

- non sucres totaux
- cendres
- K + Na + Ca
- constituants azotés.

Certains auteurs concluent que la conductivité de la râpure serait un bon critère de la qualité des betteraves,

car en corrélation étroite avec K + Na + Ca dans le jus de seconde carbonatation.

D'autres auteurs préfèrent prendre en considération les non sucres totaux, et la formule suivante a même été proposée pour obtenir la pureté du jus :

$$\text{Pureté du jus} = 97,0 - 0,0008 (2,5 K + 3,5 Na + 10 N \text{ aminé } \alpha)$$

Le taux d'azote nuisible joue un rôle primordial en ce qui concerne le rendement industriel de la betterave sucrière. On estime, en général, qu'une partie d'azote nuisible empêche la cristallisation de 25 parties de sucre (alors qu'une partie de cendres solubles empêche la cristallisation de 5 parties seulement de sucre).

B L'INFLUENCE DE LA FUMURE SUR LA QUALITE DE LA BETTERAVE

Deux aspects essentiels peuvent retenir notre attention : l'influence sur la richesse en sucre et l'influence sur la pureté du jus.

① Influence sur la richesse en sucre

Les effets suivants sont généralement admis, car ils résultent de nombreuses observations effectuées dans divers pays : **la fumure azotée a tendance à faire baisser la richesse saccharine, la fumure phosphatée a très peu d'effet à cet égard et la fumure potassique a tendance à l'élever.**

— En Grande-Bretagne, de 1934 à 1949, sur environ 400 essais factoriels N \times P \times K, la Station expérimentale de Rothamsted a obtenu les résultats moyens suivants sur 16 ans.

Effet de :	Sucre %
N	— 0,38
P	+ 0,02
K	+ 0,24
Teneur moyenne	17,15 %

L'azote diminuait donc nettement la teneur en sucre, le phosphore était sans effet et le potassium l'augmentait. Ces faits se reproduisaient chaque année avec plus ou moins d'ampleur.

— Aux U.S.A., on admet une bonification de l'ordre de + 0,5 % de sucre avec des fumures de l'ordre de 300 kg/ha K₂O.

PRINCIPAUX RESULTATS EXPERIMENTAUX RECENTS DE LA S.C.P.A.

a) A Omiécourt (Somme), en 1967, sur l'essai permanent poursuivi en liaison avec la Station Agrono-

mique d'Amiens, les résultats suivants ont été enregistrés.

Interaction doses de potasse × formes de potasse

	Sucre en %					ppds	0,05	0,01
	K 0	K 100	K 200	K 300	Effet forme K (sans K 0)			
Chlorure	15,91	16,50	16,78	17,29	16,86	Effet K (K 0/autres) Entre K1 - K2 - K3	0,30	0,40
Sulfate		16,47	16,68	16,74	16,63			
Effet dose K	15,91	16,48	16,73	17,02	16,62	Effet forme Interaction	0,20 0,35	0,27 0,46

L'effet de la fumure potassique est positif et très hautement significatif (K 300 — K 0 = + 1,11 % sucre, THS).

A la forme sulfate correspond une teneur en sucre légèrement inférieure (significative) à celle obtenue avec le chlorure (— 0,23 % sucre, S) ; mais les rende-

ments en sucre théorique furent malgré tout, très légèrement supérieurs avec le sulfate. L'interaction doses × formes de potasse est faible et non significative. En fait, la teneur en sucre semble avoir été supérieure avec le chlorure seulement en présence de K300.

Interaction doses d'azote × doses de potasse

	Sucre en %					ppds	0,05	0,01
	K 0	K 100	K 200	K 300	Effet N			
N 70	16,33	17,05	16,95	17,50	17,05	Effet N Interaction N × K K 0/autres Entre K1 - K2 - K3	0,47	1,08
N 140	15,63	16,35	16,85	17,05	16,59			
N 210	15,77	16,05	16,38	16,50	16,23			
Effet K	15,91	16,48	16,73	17,02	16,62			

L'effet des doses d'azote est négatif :

N 210 — N 70 = — 0,82 % sucre (S).

L'interaction doses d'azote × doses de potasse est faible et non significative.

Interaction doses d'azote × formes de potasse

	Sucre en %				ppds	0,05	0,01
	N 70	N 140	N 210	Effet forme K (sans K 0)			
Chlorure	17,41	16,86	16,30	16,86	Effet N Effet forme Interaction	0,47	1,08
Sulfate		16,64	16,32	16,63			
Effet N (avec K 0)	17,05	16,59	16,23	16,62			

L'interaction doses d'azote \times formes de potasse est légèrement positive. L'effet légèrement négatif de la forme sulfate sur la teneur en sucre s'atténue lorsque la fumure azotée est intensifiée et disparaît avec N 210 (respectivement - 0,49 % - HS, - 0,22 %, + 0,02 % sucre).

b) Au Chesnoy (Loiret), en 1968, sur un essai factoriel $4 N \times 2 P \times 4 K$, l'effet de l'acide phosphorique fut négligeable, ainsi que les interactions $N \times P$ et $P \times K$.

L'effet principal de l'azote a entraîné une baisse de la teneur en sucre, significative avec N 200 (- 0,95 %).

	Sucre en %					ppds 0,05	
	K 0	K 80	K 160	K 240	Effet N		
N 80	15,90	16,85	16,90	16,85	16,62	Effet N, K Interaction	0,66 1,32
N 120	15,45	15,75	16,25	16,65	16,02		
N 160	16,50	15,65	16,00	16,45	16,15		
N 200	15,35	15,50	15,85	16,00	15,67		
Effet K	15,80	15,93	16,25	16,48			

L'effet principal de la potasse fut positif et significatif à la dose élevée (+ 0,68 % - S).

Bien que l'interaction $N \times K$ soit peu nette, il semble que l'effet dépressif de la forte dose d'azote soit moindre en présence de K 240.

c) L'essai de Sancourt (Nord) étudié depuis 1959 trois doses globales de potasse sur l'assolement betteraves, blé, orge, soit K 0, K 200, K 400 et leur répartition selon les traitements ci-dessous :

K ₂ O assolement	K 0	K 200		K 400			ppds 0,05	ppds 0,01
Traitement	5	3	1	4	6	2		
K ₂ O betteraves 1967	0	66	200	133	200	400	0,5	0,7
K ₂ O blé et orge (1965, 66)	0	66	0	133	100	0		
Sucre en % (1967)	16,7	17,0	17,1	17,2	17,3	17,5		

L'effet de la fumure potassique appliquée sur betteraves seulement (traitements 5, 1, 2) est linéaire et marqué (K 400 - K 0 = + 0,8 % sucre - HS).

A niveau de fertilisation égal pour la betterave, l'apport de 100 kg/ha K₂O sur céréales (blé et orge) se traduit par une augmentation de + 0,20 % de la teneur en sucre (comparaison 6 et 1).

Ce dernier résultat se rapproche du fait signalé par Trocmé et Barbier sur l'influence du vieux et du jeune potassium sur la teneur en sucre des betteraves. **Selon ces auteurs, le potassium stocké dans le sol a plus de chance d'accroître la teneur en sucre que le potassium récemment appliqué (+ 0,5 % dans leur essai).**

La répercussion de l'effet des engrais sur la richesse saccharine sur le prix payé à l'agriculteur peut être très importante. Ainsi en France, pour la récolte 1969, les barèmes de prix suivants furent appliqués, de part et d'autre d'un prix de 77,87 F/tonne de betteraves à 16 % :

De 16 à 18 %, majoration de 0,7553 F par dixième.
De 18,1 à 19 %, majoration de 0,5875 F par dixième.
De 19,1 à 20 %, majoration de 0,4196 F par dixième.

De 15,9 à 15,5 %, réfaction de 0,7553 F par dixième.
De 15,4 à 14,5 %, réfaction de 0,8393 F par dixième.

Ainsi, le passage de 16,0 à 16,5 % (bonification de 0,5 %, correspondant à un effet moyen de la fumure potassique) fait monter le prix de 77,87 F à 81,65 F/tonne.

② Influence sur la pureté du jus

Ici aussi, les résultats obtenus dans divers pays sont très concordants. Des corrélations négatives sont généralement rapportées, entre les apports d'engrais azotés et les divers critères de qualité (pureté du jus, azote nuisible). La pureté du jus décroît souvent linéairement avec les forts apports azotés. Les teneurs en N aminé, en particulier, s'élèvent vite avec les doses d'azote. L'effet final est donc une baisse de qualité.

Dans les essais de la Station de Rothamsted, de 1944 à 1949, pour une moyenne de 18 essais par an, la te-

neur en azote nuisible croissait très nettement avec la fumure azotée. Les résultats moyens sur la période étaient les suivants :

N nuisible moyen (mg/100 g de betterave) =	34,1
Effet moyen N	= + 5,3
Effet moyen P ₂ O ₅	= - 0,2
Effet moyen K ₂ O	= - 1,2

D'autre part, la pureté du jus était peu affectée par K₂O.

L'influence des engrais potassiques sur la qualité des jus de la betterave est beaucoup plus faible que celle des engrais azotés. Elle est dans l'ensemble favorable.

Des résultats semblables ont été obtenus en Belgique où l'on conclut que la potasse ne peut diminuer l'effet nuisible des doses élevées d'azote que lorsque les apports sont supérieurs à 200 kg/ha K₂O. On estime éga-

lement que des doses excessives de K₂O ne nuisent pas à la qualité industrielle du jus.

L'acide phosphorique aurait un rôle très légèrement favorable, en tendant à réduire K, Na et N aminé.

Dans les essais S.C.P.A. précités, l'effet sur la pureté du jus ne fut mesuré que sur l'essai du Chesnoy (Loiret) en 1968 :

Pour huit traitements NPK individuels factoriels particuliers, comportant les deux premiers niveaux de N en essai (80 et 120), et les niveaux extrêmes de P (60 et 120) et de K (0 et 240), les déterminations ont porté sur la densité, l'indice Brix et la pureté du jus de betteraves.

Le renforcement de la dose d'azote fait légèrement décroître les diverses mesures.

La fumure potassique augmente la densité, le Brix, la pureté.

	Pureté				Effet N		Pureté	
	P 60	P 120	K 0	K 240			K 0	K 240
N 80	92,25	91,50	91,30	92,45	91,88	P 60 P 120	92,00	92,15
N 120	91,90	90,95	90,80	92,05	91,43		90,10	92,35
Effet P et K	92,08	91,23	91,05	92,25		Effet K	91,05	92,25

En ce qui concerne la pureté du jus, l'azote a un effet négatif ; l'acide phosphorique présente une assez forte influence négative (- 0,85). En fait, cet effet ne s'observe (table PK) qu'en l'absence de potasse (- 1,90 en K 0 contre + 0,20 avec K 240).

Inversement, la potasse présente un effet favorable net en présence de P 120 (+ 2,25). D'autre part, l'effet K₂O est très légèrement plus fort avec N 120 (+ 1,25) qu'avec N 80 (+ 1,15).

En conclusion, les liens entre fumure et qualité de la betterave à sucre sont dominés par la fumure azotée. Le problème est d'appliquer la dose d'azote nécessaire à l'obtention de hauts rendements, non associée à une baisse de qualité (diminution du % de sucre, de la pureté des jus, accroissement de N nuisible) susceptible de compenser l'effet sur les rendements.

D'autre part, des doses élevées de potasse, de l'ordre de 200 à 300 kg/ha K₂O sont le plus souvent nécessaires à l'obtention des meilleurs rendements en sucre (effet positif sur les racines et le % de sucre). Bien

que les applications de K₂O tendent à élever légèrement les teneurs en potassium des racines, les niveaux en sodium et azote aminé sont diminués et la potasse exerce de ce fait un rôle de balance favorable sur la qualité du jus. Un rapport N/K₂O judicieux de la fumure tendra à assurer le rendement maximal en sucre, en limitant au mieux la baisse de qualité. Mais cette dernière est difficile à éliminer, car l'effet compensateur de K₂O est relativement restreint.

LE DOCUMENT TECHNIQUE DE LA



Administration - Rédaction : 2 bis, rue du
17 Novembre 68 - MULHOUSE (France)
Directeur de la Publication: J.-P. SULZER
Imprimerie de « L'Alsace » - Mulhouse
Dépôt légal n° 1373, 3^e trimestre 1970

Nous traiterons dans un prochain numéro les relations entre la fumure et la qualité des autres produits agricoles.