

# La riziculture et le développement des techniques rizicoles au Japon

Kiyooki MARUYAMA (ancien Directeur du NARO  
Agricultural Research Center)

1. Le début de la riziculture et la production actuelle du riz

2. Les technologies à la base du rendement élevé

3. Les technologies à la base de la haute qualité des produits

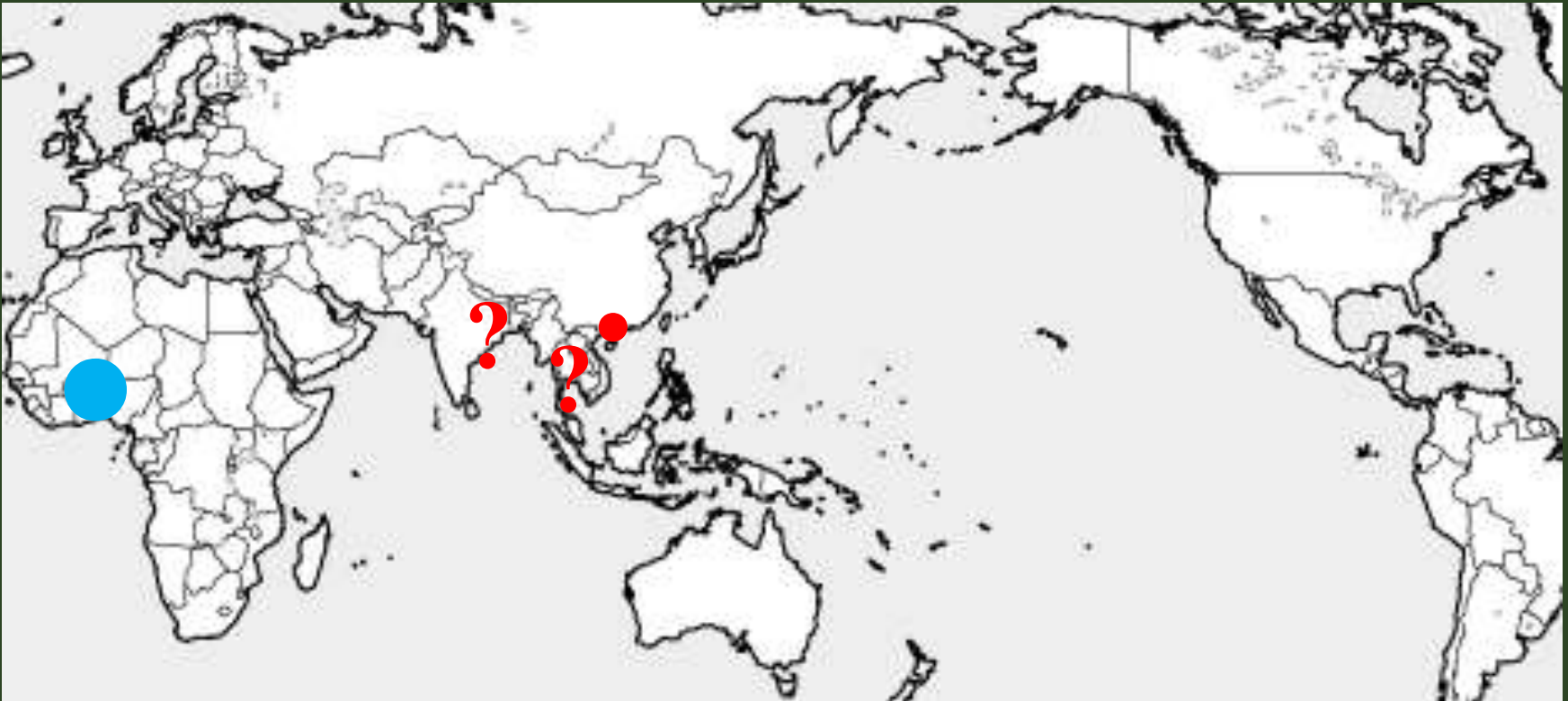
4. Les futures techniques rizicoles

# 1. Le début de la riziculture et la production actuelle du riz

● Le début de la riziculture remonte-il au peuple de la région du Fleuve bleu en Chine (il y a 11 000 ans) ?

? La région des Indes orientales et de l'Asie du Sud-Est est aussi une région candidate, mais il n'y a pas de preuves établies.

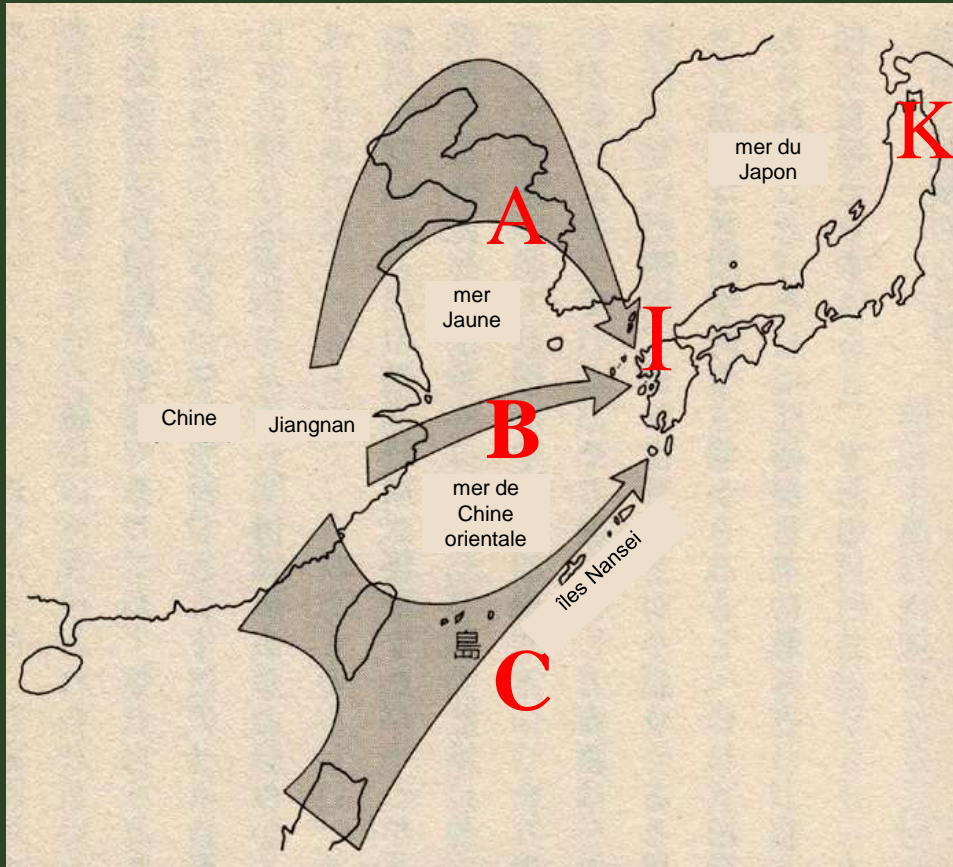
● En Afrique de l'Ouest, il y a environ 3 000 ans, on commence à cultiver *l'oryza barthii* (riz sauvage) à partir de *l'oryza glaberrima* (riz africain).



Groupes de plantes *oriza rufipogon* aux environs d'une rizière  
(Inde, État d'Odisha)



# L'importation de la riziculture au Japon



**A** Par la péninsule du Shandong et la péninsule de Corée

Grand nombre d'immigrants (langue japonaise ↔ langue coréenne)

**B** Directement de Jiangnan (Chine)

Ressemblance des variétés de riz aquatique  
Peuples qui pêchent en bateau et mangent du poisson

**C** Par l'archipel des Ryūkyū

Riz pluvial cultivé dans des rizières sèches sur brûlis (pratique commune au pays d'Asie du Sud-Est)

**K** Ruines de Kazahari, préfecture d'Aomori  
(3 000 ans)

Découverte de riz carbonisé

**I** Ruines d'Itazuke, préfecture de Fukuoka  
(2 300 ans)

Ruines d'une véritable rizière

Source : « Ine no kita michi », Yoichiro SATO

# Productions de riz mondiale, africaine et japonaise

	1961	1971	1981	1991	2001	2011
<b>Volume de production (en millions de tonnes)</b>						
Monde	2156	3177	4100	5187	5998	7228
Afrique	4,3	7,4	8,6	13,7	16,7	26,7
Japon	16,2	14,1	12,8	12,0	11,3	8,4
<b>Superficie des récoltes (en millions d'hectares)</b>						
Monde	1154	1345	1450	1467	1519	1641
Afrique	2,8	3,9	4,8	6,6	7,6	11,2
Japon	3,3	2,7	2,3	2,0	1,7	1,6
<b>Rendement (tonnes/ha)</b>						
Monde	1,87	2,36	2,83	3,53	3,95	4,40
Afrique	1,55	1,88	1,79	2,08	2,20	2,38
Japon	4,88	5,24	5,62	5,86	6,63	5,33

## Évolution du volume de consommation de riz et des réserves du gouvernement

	1963	1970	1980	1990	2000	2009
Volume de consommation (kg/an/personne)	118,3	95,1	76,9	70,0	64,6	58,5
Réserves du gouvernement (millions de tonnes)	0,2	7,20	6,66	0,95	1,62	0,86
Volume de production (millions de tonnes)	12,81	12,52	9,75	10,46	9,47	8,46

Volume de consommation = Volume de l'offre ; les valeurs sont toutes exprimées en poids de riz cargo

Vers 1963, chaque Japonais consommait environ 120 kg de riz par an, mais par la suite la consommation d'aliments importés a augmenté, entraînant une diminution proportionnelle de la consommation de riz.

Dans les années 1970 le gouvernement avait un surplus de réserves, dont le traitement a entraîné de grandes dépenses financières. Cela a provoqué une réorientation du développement des techniques de production, favorisant la qualité du riz plutôt que le rendement élevé.

## 2. Les technologies à la base du rendement élevé

Engrais (loi de Liebig sur le minimum, procédé Haber (1908))

Variétés (lois de Mendel en 1865, leur redécouverte en 1900, culture par croisement)

Insecticides agricoles (DDT en 1938, parathion en 1944)

Mercuriels, acide dichlorophénoxyacétique (1944)

Machines (tracteur à vapeur en 1902, tracteur à chenilles)

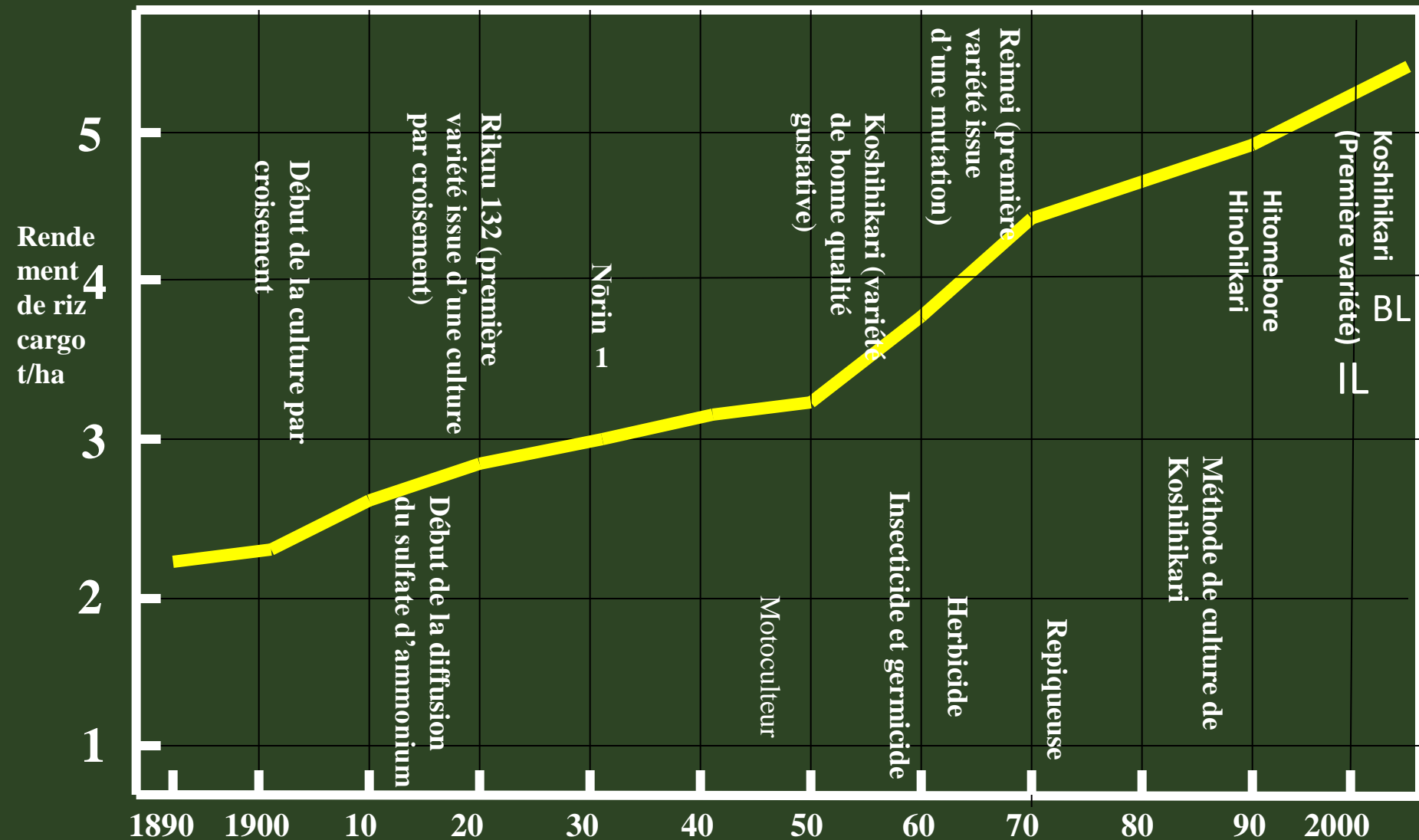
Eau d'irrigation (pompes, construction de digues et canalisations d'eau)

Pellicule plastique (pellicule de polychlorure de vinyle, 1951)

**Technologies agricoles reposant sur la  
chimie et le génie**



# Les technologies rizicoles ont élevé les rendements



Moyenne des rendements de riz cargo au Japon (moyenne de variation pour chaque décennie)

# Histoire des engrais chimiques

Théorie de l'alimentation minérale des plantes de Liebig (années 1840)

« Les plantes peuvent croître uniquement avec une alimentation minérale. Les minéraux qui ont tendance à manquer pour le rendement élevé sont l'azote, l'acide phosphorique et le potassium. »

Brevet sur la méthode de fabrication du superphosphate de Lawes (1842)

Procédé Haber (1908)

Synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote gazeux et de l'hydrogène gazeux, à température et pression élevées, et avec un catalyseur à base d'oxyde de fer

Outre l'azote, existence locale de ressources en acide phosphorique et potassium

Il y a suffisamment d'acide phosphorique et de potassium dans le sol, mais le travail des racines et des micro-organismes du sol n'est pas assez explicite.



# Histoire des insecticides agricoles



Grande famine de l'ère Kyōhō (1732) : très mauvaises récoltes de riz dans l'ouest du Japon suite aux pluies continues et aux dommages causés par les cicadelles ; selon les mémoires des Tokugawa, 970 000 personnes seraient mortes de faim.

Insecticides agricoles traditionnels : pyrèthre, derris, bouillie bordelaise (vers 1890)

Matières actives du pyrèthre : pyréthrine (Staudinger, 1924)

Insecticides agricoles chimiques : DDT (Müller, 1938), lindane (1941), parathion (1944) acide dichlorophénoxyacétique (1944), mercuriels (1944)

Réglementations du Japon en matière d'insecticides agricoles

1946 Loi sur le contrôle des insecticides agricoles

1971 Révision de cette loi (renforcement des normes sur les insecticides agricoles résiduels)

2002 Révision de cette loi (renforcement de la réglementation sur les insecticides agricoles non enregistrés)

2006 Loi sur le contrôle des produits alimentaires (système de liste positive)

**Présomption de culpabilité**

## Histoire de la mécanisation de la riziculture

**La machinerie agricole motorisée a remplacé l'énergie humaine, l'énergie animale et l'énergie hydraulique.**

Batteuse : au Japon, la diffusion de la batteuse motorisée commence dans les années 1930.

Motoculteur : breveté en Australie par H. C. Howard en 1920.

Au Japon, sa véritable diffusion commence dans la deuxième moitié des années 1950 (80 000 en 1955, contre 3,38 millions en 1974), puis il est remplacé par le tracteur.

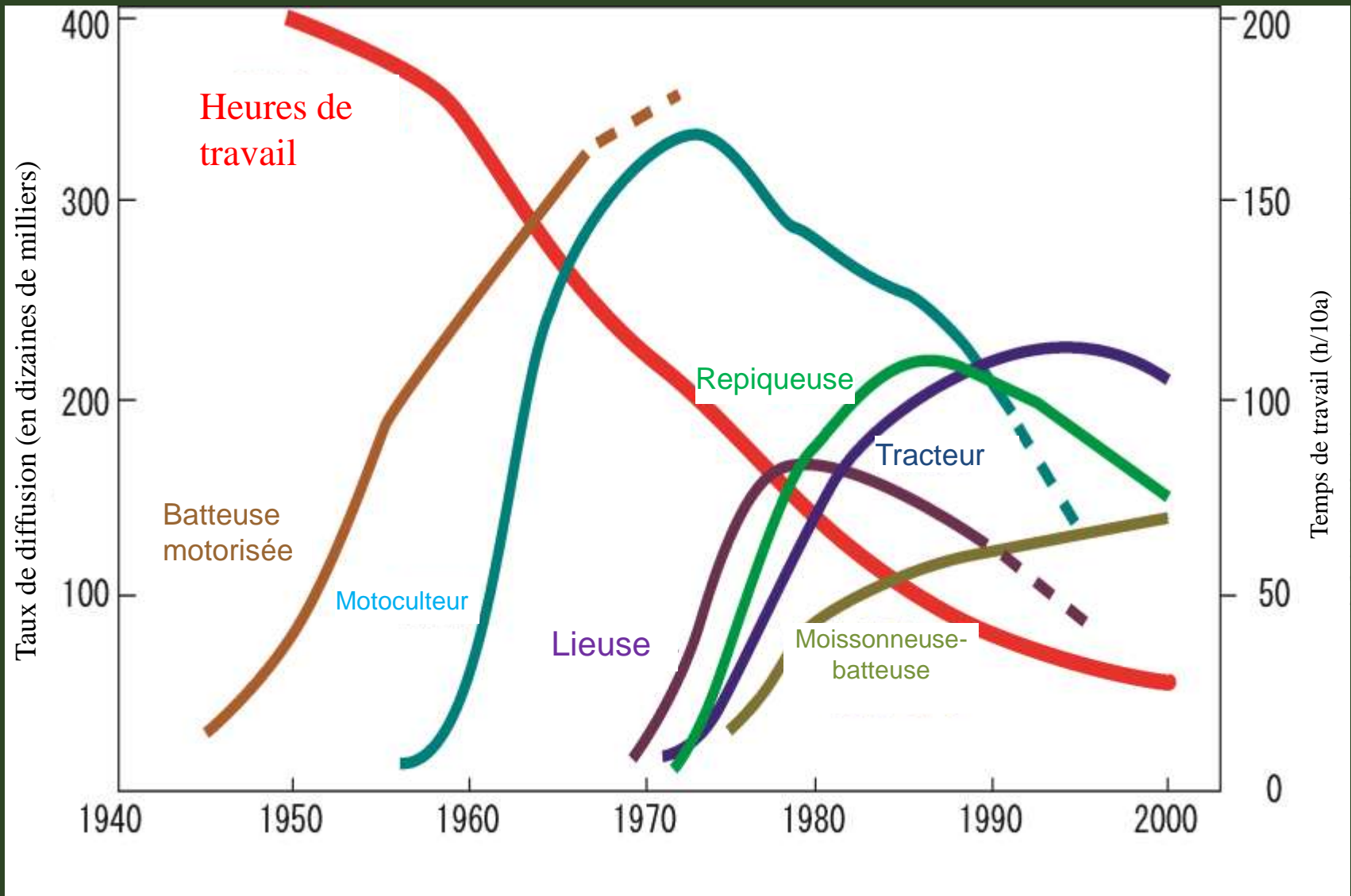
Tracteur : début de la production et vente de tracteurs entièrement fabriqués au Japon en 1960.

Repiqueuse : diffusion accélérée de la repiqueuse vers 1970, qui dépasse les 90% de diffusion en 1975.

Moissonneuse-batteuse : sa vente commence en 1966.

La mécanisation réduit au 1/7 le temps de travail de la riziculture. Il libère du dur labeur, mais demeure insuffisant du point de vue des coûts.

# Développement de la mécanisation et évolution du temps de travail dans la riziculture



# Repiqueuse



Gracieuseté de YANMAR Co., Ltd.

# Bassin d'irrigation de la ville d'Okazaki, préfecture d'Aichi



Source : site Web de la ville d'Okazaki

# Eau d'irrigation agricole

Le Japon jouit de pluies abondantes, mais des aménagements sont nécessaires pour l'eau d'irrigation, car celle-ci est utilisée en grande quantité pour préparer le sol et repiquer le riz.

Depuis le début de la riziculture au Japon, le nombre de bassins d'irrigation a atteint environ 200 000.

La longueur totale des canaux d'irrigation des rizières atteint 400 000 km, soit 10 fois le tour de la Terre.

Au cours des 50 dernières années, d'énormes barrages ont été construits pour l'eau utilisée dans l'agriculture, l'industrie, les besoins humains quotidiens et la production d'électricité.

Au cours des dernières années, des canalisations ont été aménagées sous terre le long des rizières, ce qui permet aux cultivateurs d'irriguer leurs rizières en ouvrant simplement des vannes.



# Culture sélective des plantes basée sur les connaissances scientifiques (génétique et culture sélective)

1865	Mendel : après ses expériences de croisement avec des petits pois, annonce les Lois de Mendel
1900	Redécouverte des Lois de Mendel : De Vries, Correns, Tschermak
1901	De Vries : proposition de la théorie de la mutation
1903	Johannsen : annonce de la théorie de la « ligne pure »
1913	Sturtevant : création de la carte chromosomique de la drosophile Shull : confirmation de l'hétérosis
1927	Muller : induction d'une mutation artificielle de la drosophile par rayons X
1930	Établissement de la génétique des populations par Fisher, Haldane, Wright, etc. (années 1930)
1937	Blakeslee et Avery : découverte du doublement du nombre chromosomique par la colchicine
1953	Watson et Crick : élucidation de la double structure hélicoïdale de l'ADN
1961	Jacob et Monod : annonce de la théorie de l'opéron Nirenberg : élucidation du code génétique
1970	Nathans et Smith : découverte des enzymes de restriction
1973	Cohen et Boyer : réussite de la modification génétique sur des bactéries
1982	Réussite de la première modification génétique végétale sur le tabac
2005	Décodage de toute la séquence nucléotidique du génome du riz

Sur la base de la théorie de la ligne pure de Johannsen, début de la sélection à partir d'espèces indigènes. On obtient rapidement des résultats, notamment avec Kamenoo 4 et Rikuu 20 (sélection à partir de Aikoku).

En 1904, apprenant la redécouverte des Lois de Mendel, Shigetomo KATO, agent technique au Ministère de l'Agriculture et du Commerce, réussit le premier croisement artificiel de riz au Japon. Sa méthode deviendra ensuite la principale méthode de culture sélective du riz.

En 1961, fondation de l'Institute of Radiation Breeding, Ministère de l'Agriculture et des Forêts.  
(Installations utilisées en commun par les chercheurs des universités nationales du Japon)



Champ gamma de l'Institute of Radiation Breeding (source : Web)

# Rendement élevé

Le rendement élevé dépend de plusieurs caractéristiques agricoles.

Les principales caractéristiques sont :

1. Vitalité des tiges et racines
2. Feuilles longues et épaisses
3. Nombreux épis
4. Gros épis
5. Feuille paniculaire longue et verticale
6. Courte tige (cela la protège contre l'affaissement sous les nombreux épandages d'engrais azoté)



**Takanari**

Par NICS

# Gènes de rendement élevé

Le gène de rendement élevé le plus facile à identifier fut le gène demi-nain. Il est intéressant de noter que de nombreuses variétés à rendement élevé et d'origines diverses ont un gène demi-nain du même locus génique (sd-1, d-47).

Jukkoku (variété indigène japonaise, ressource génétique de Hōyoku et de Reihō)

Shirosenbon (variété indigène japonaise, ressource génétique de Kinmaze)

Reimei (mutation artificielle de Fujiminori)

Hokuriku 100 (mutation artificielle de Koshihikari)

Dee-Geo-Woo-Gen (variété indigène de Taïwan, ressource génétique de IR8 et autres)

Aizizhan (variété indigène du sud de la Chine, ressource génétique de variétés chinoises à rendement élevé)

Calrose 76 (mutation artificielle de Calrose, États-Unis)

Les agriculteurs et phytogénéticiens s'intéressant au rendement élevé, ils choisirent la mutation du même locus génique. De plus, le locus sd-1 code une ligase sibérienne.

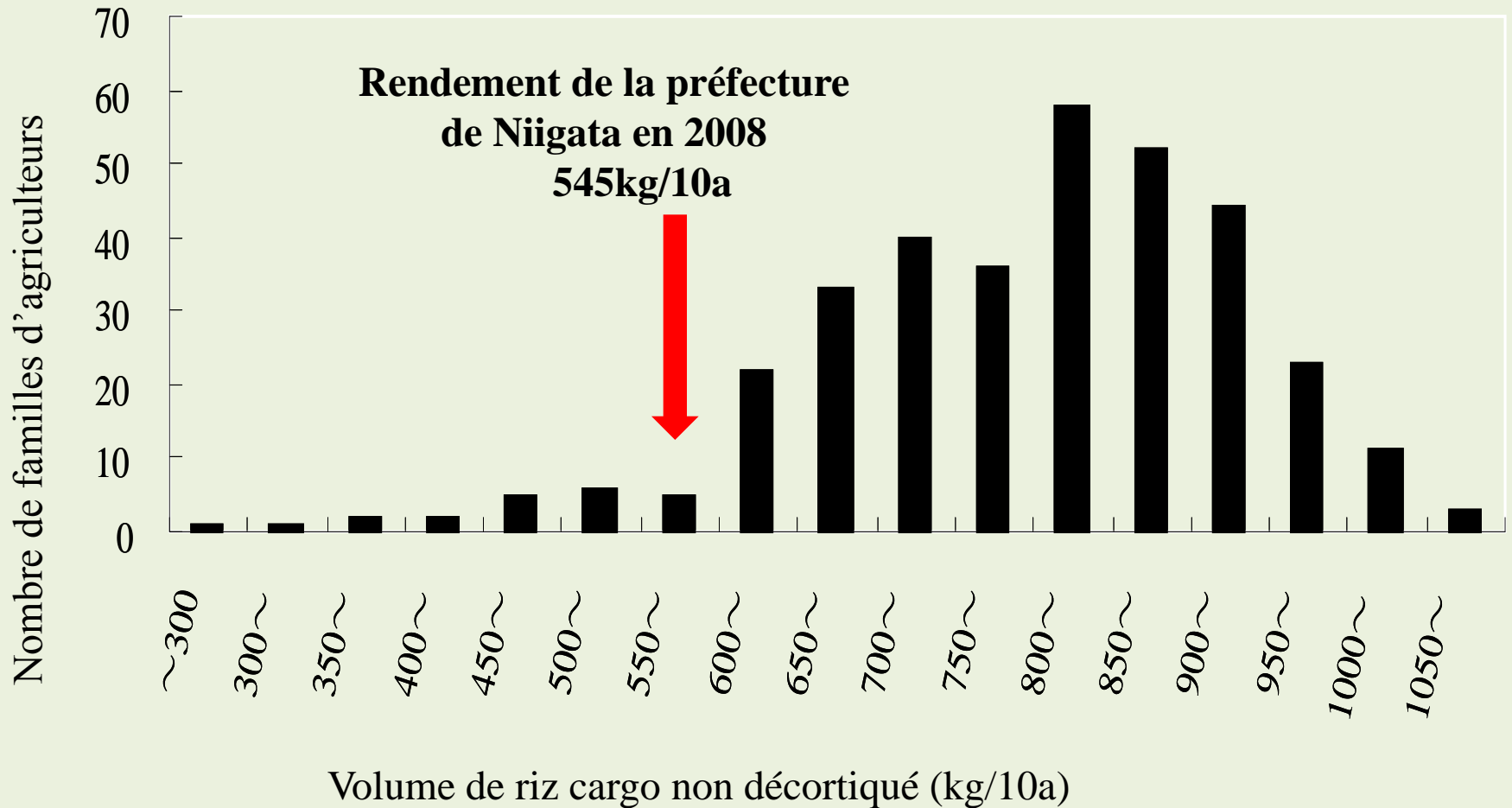
Hokuriku 193



Nipponbare



# Rendement de Hokuriku 193, nouvelle variété de riz aquatique indien



Nombre de familles d'agriculteurs par rendement de riz cargo non décortiqué (344 agriculteurs dans 8 zones de la coopérative agricole JA, préfecture de Niigata)  
(Chūōnōken, année fiscale 2008) Hokuriku 193 (Jou 344 / Katsurachō 2)



Takanari

Tachisugata

Variété de riz de fourrage à  
feuillage  
« Tachisugata »



# Résistance aux maladies et insectes

**Pyriculariose du riz** : la plus importante maladie du riz en zone tempérée. Après la perte de résistance de Kusabue (qui contient le Pi-k originaire de Reishikō), on devint dépendant de la résistance du champ. Le rêve d'utiliser une véritable résistance ne fut toutefois pas mis de côté : la diffusion de Sasanishiki BL commença en 1994, et celle de Koshihikari BL en 2005.

**Brûlure bactérienne** : diminution importante de l'hôte intermédiaire *Leersia sayanuka* dans les canaux d'irrigation, ce qui mène à l'élimination du riz. Les dommages sont encore considérables dans les zones tropicales et subtropicales.

**Virus de la striure du riz** : virus qui se manifeste via l'insecte *Laodelphax striatellus*. La résistance à ce virus ayant été découverte chez une variété indigène du sud de l'Inde, elle est utilisée.



# Résistance au froid

Si la température est de 17 °C ou moins environ 10 jours avant l'apparition des épis, le pollen du riz devient inactif. Dans le nord du Japon, la riziculture est constamment affectée par les dommages du froid.

Parmi les variétés utilisées, les plus résistantes sont Koshihikari et Hitomebore, qui viennent de la variété indigène Aikoku.

On estime actuellement à environ 5 à 7 le nombre de gènes de résistance au froid, et ils sont donc relativement faciles à regrouper.

Les ressources génétiques utilisées sont Somewake de la région du Tōhoku, Silewah d'Indonésie, Reikōshindankokuya du Yunnan en Chine, etc. On a développé Tōhoku PL1 et Fukei PL1, beaucoup plus résistants au froid que Koshihikari.



Ferme approuvée à température et profondeur constantes (ferme expérimentale de Furukawa, préfecture de Miyagi)

# Projet de génome du riz

1991 : Lancement d'études de projet du Ministère de l'agriculture, des forêts et de la pêche

1994 : Création d'une carte génétique à 3 000 marqueurs

1998 : formation d'un consortium international, et début du décodage de toute la séquence nucléotidique

Japon (1, 2, 6, 7, 8, 9), États-Unis (3, 10, 11), Corée du Sud (1, 9), France (11, 12), Angleterre (2), Inde (11), Thaïlande (9), Chine (4), Taïwan (5), Brésil (9)

**2004 : achèvement du décodage de toute la séquence nucléotidique (389 millions de paires de bases, et environ 30 mille gènes)**

Le décodage du génome du riz devrait contribuer grandement à :

1. L'approfondissement des connaissances sur le riz
2. L'accélération de l'identification des gènes utiles
3. La hausse d'efficacité de la culture par croisement à l'aide de marqueurs d'ADN (par exemple, on pourra évaluer la qualité gustative du riz sans avoir à le goûter, en extrayant l'ADN à l'extrémité d'une feuille de plant).

# Modification génétique

La culture sélective s'est développée à mesure que la génétique progressait. Les méthodes de culture sélective basées sur la génétique moléculaire de pointe deviennent évidemment les méthodes les plus efficaces. En 2012, le riz était cultivé sur 12% des surfaces de culture du monde, soit 170 millions d'hectares, dont la moitié dans des pays en voie de développement.

Au Japon, on développe des lignées résistantes aux maladies et du riz soulageant des allergies au pollen. Il ne s'agit toutefois pas de cultures commerciales, en raison de la puissance du mouvement d'opposition aux OGM .

### 3. Les technologies à la base de la haute qualité des produits

Nous ne voulons pas de riz fade !

## Les riz de grande qualité dans le monde

Chine	Xiǎozhānmǐ (Tianjin, variété Japonica), Nanmai (riz faible en amylose), Riz basmati
Corée du Sud	
Sud	Akibare, Ippin
Inde	Riz basmati, riz Samba (riz à petits grains et faible teneur en amylose)
Thaïlande	Kao-do-mari (riz basmati)
Égypte	Nahada (Variété Japonica)

Points communs avec le riz japonais : riz tendre (teneur faible à moyenne en amylose)

Points non communs : riz parfumé, riz plus moelleux que collant

# Qualité gustative du riz cuit

Comme on mange le riz avec des baguettes au Japon, on le préfère tendre et collant.

Le riz le plus cultivé au Japon, Koshihikari, possède ces caractéristiques. La consistance du riz cuit provient de la teneur en amylose de l'amidon. Dans de nombreuses variétés Indica, la teneur en amylose est élevée (25% ou plus) et le riz, une fois cuit, est dur et peu collant. Le riz Japonica, à teneur moyenne en amylose (plus ou moins 20%), a une consistance modérée. Quant au riz gluant, il ne contient pas d'amylose ; bien que tendre, il ne convient pas à la cuisson ordinaire car il est trop collant.

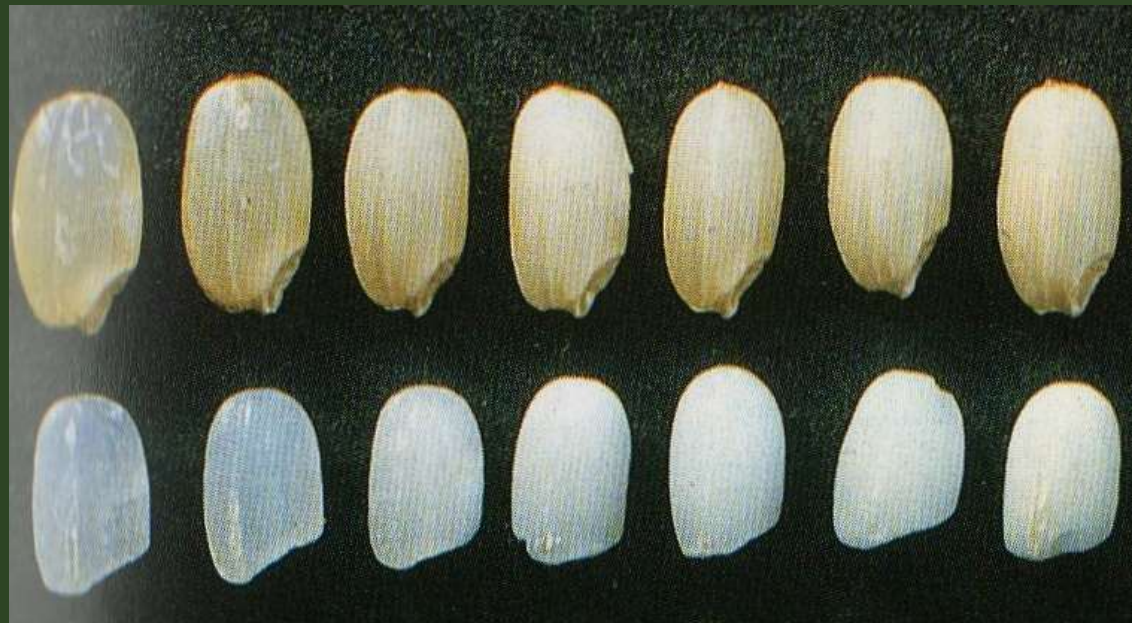


# Découverte des gènes de la faible teneur en amylose

Kazutoshi OKUNO a découvert plusieurs variétés de l'Asie du Sud-Est et souches mutantes à teneur moyenne en amylose. Il a aussi identifié quelques gènes qui abaissent la teneur en amylose. Ses recherches ont déclenché le développement de variétés à bonne qualité gustative.

Récemment, de nombreuses variétés au goût supérieur à Koshihikari ont été développées.

Diverses teneurs en amylose du riz cargo et du riz blanc (OKUNO)



Teneur moyenne

Faible teneur

Glutineux

# Variation de la teneur en amylose du riz

L'amidon est composé d'amylose et d'amylopectine polymérisés par le glucose. L'amylose résulte d'une polymérisation en chaîne droite du glucose.

L'amylopectine résulte d'une polymérisation ramifiée du glucose. De nombreuses variétés du riz Indica ont une teneur élevée en amylose et donnent un riz dur à la cuisson. Les riz Japonica ont une teneur moyenne en amylose et conviennent bien à la cuisson.

L'amidon du riz gluant ne contient que de l'amylopectine.

---

	Teneur en amylose	Présence	Gène synthétique d'amidon
Haute teneur en amylose	>25%	Nombreuses variétés Indica	<i>Wx-a</i>
Teneur moyenne en amylose	25 à 18 %	Toutes les variétés Japonica	<i>Wx-b</i>
Faible teneur en amylose	17 à 5 %	Asie du Sud-Est	<i>du 1 à 5, wx-mq</i>
Gluant	0%	Principalement les variétés Japonica	<i>wx</i>

---

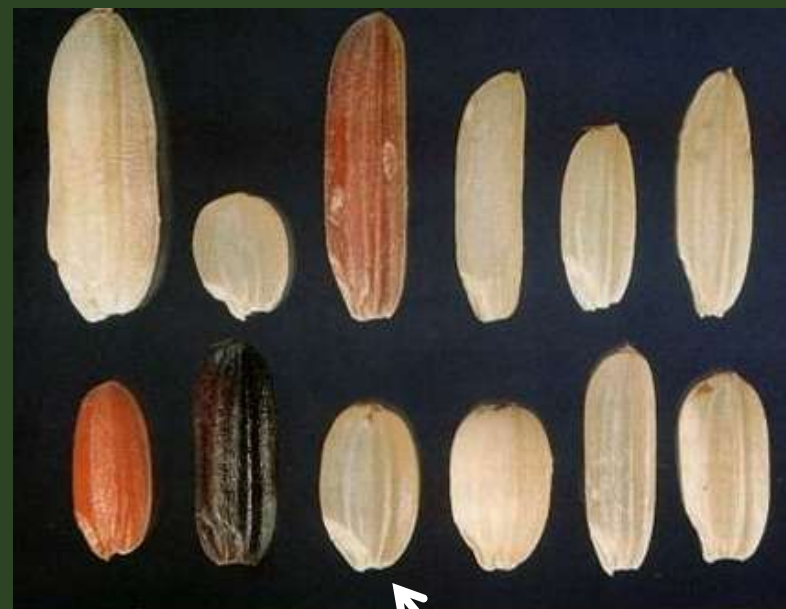


# Les divers usages du riz

Le Japon produit 95% de riz non gluant, 3% de riz gluant, 1% de riz pour brasserie, et 1% de riz pour fourrage. Afin d'accroître les usages du riz, on utilise diverses ressources génétiques du monde et un projet de recherche en ce sens à été lancé en 1989. Les variétés à rendement très élevé développées dans le cadre de ce projet sont déjà utilisées pour le fourrage.

## Variétés développées dans le projet de recherche

Amidon	
Faible teneur en amylose	Milky Queen (10%)
Haute teneur en amylose	Hoshiyutaka (28%)
Protéines	
Faible teneur en glutéline	LGC-1, Shun'yō
Faible allergène	LA-1
Lipides	Haiminori (embryon géant)
Taille du grain	Oochikara (36 mg) Kantō 152 (13 mg)
Pigment	Asamurasaki
Arôme	Sari Queen



← Koshihikari

## 4. Les futures techniques rizicoles

Les rendements sont maintenant élevés. Nous pouvons manger une grande variété d'aliments tout au long de l'année.

Mais nous avons oublié la nature.

- Le nombre d'êtres vivants et d'espèces a diminué.
- Les rivières et marais ont été souillés.

De plus, la sécurité alimentaire est en danger.

La production alimentaire actuelle est-elle durable ?

Le 21<sup>e</sup> siècle est celui de la création de technologies agricoles basées sur la **biologie** et les **sciences de l'information**.



# Technologies de rendement élevé pour pallier l'insuffisance alimentaire

Il est indéniable que nous ferons face à une insuffisance alimentaire mondiale dans le futur.

Le Japon a développé une variété de riz dont le rendement est de 12 t/ha. En raison de sa qualité gustative inférieure, elle est actuellement utilisée pour le fourrage ; il faudra donc améliorer sa qualité gustative pour que les Japonais la consomment. Heureusement, on pourra développer, en quelques années, une souche génétique (IL) de qualité égale à celle des gènes de faible teneur en amylose à l'aide de marqueurs d'ADN.

Le rendement élevé dépend de nombreuses caractéristiques. Il est important d'approfondir les recherches en synécologie et en biologie, pour isoler les gènes correspondants.

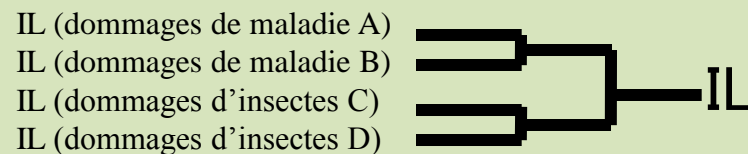
De plus, pour bien exploiter les propriétés des variétés développées, il importe de poursuivre en même temps la recherche sur les méthodes de culture.

# Diminution des pesticides chimiques

Bien que la sécurité des produits agricoles chimiques s'améliore, les craintes des citoyens demeurent.

Si nous découvrons les gènes de résistance parmi les ressources génétiques du riz, les technologies IL et ML rendront les produits agricoles chimiques inutiles. C'est pourquoi nous nous empressons d'accumuler les données sur les espèces leader dotées de gènes de résistance à plusieurs insectes nuisibles.

Pour réduire l'utilisation des produits agricoles chimiques, il est important, en plus d'utiliser des variétés résistantes, de combiner globalement la lutte écologique et la lutte biologique par les méthodes de culture.



**Pyramidage des gènes de résistance**

# Façons d'assurer l'apport en azote autrement qu'avec le procédé Haber-Bosch

Le procédé Haber-Bosch consomme 1% du pétrole brut mondial. Des usines en produisent 250 tonnes par jour en Russie, et 150 tonnes par jour aux États-Unis. Par ailleurs, on dit que 2 milliards de personnes mourraient de faim sans le procédé Haber-Bosch (T. Hager).

**Bactérie de nodules de racines** : bactérie qui fixe l'azote par symbiose en formant les nodules de racines des légumineuses

**Endophyte** : bactérie qui fixe l'azote en symbiose à l'intérieur des plantes à tige de feuilles, sans créer de nodules de racines

**Azolla** : les Cyanobactéries, en symbiose avec *Azolla imbricata* (ordre de fougères aquatiques Hydropteridales), fixent l'azote. L'azolla, en tant qu'engrais vert, est utilisé depuis plus de 500 ans dans le sud de la Chine et au Vietnam.

**Produits agricoles fixateurs de l'azote** : des recherches sont en cours sur l'introduction des gènes de bactéries fixatrices d'azote dans les produits agricoles.

## Repiqueuse autonome équipée d'un dispositif GPS



Elle entre elle-même dans la rizière, repique le riz et ressort elle-même. Sa vitesse est supérieure à celle des repiqueuses ordinaires.

Elle peut aussi faire le travail la nuit, grâce au dispositif GPS qui lui donne une marge d'erreur d'à peine quelques centimètres.

Grand gagnant du Concours de robots (2008)

**NARO Agricultural Research Center**

# Exploitation des technologies de l'information dans l'agriculture

Les technologies agricoles du 20<sup>e</sup> siècle ont été soutenues par la chimie et le génie. Pour corriger cette situation, les technologies de l'information joueront vraisemblablement un rôle important.

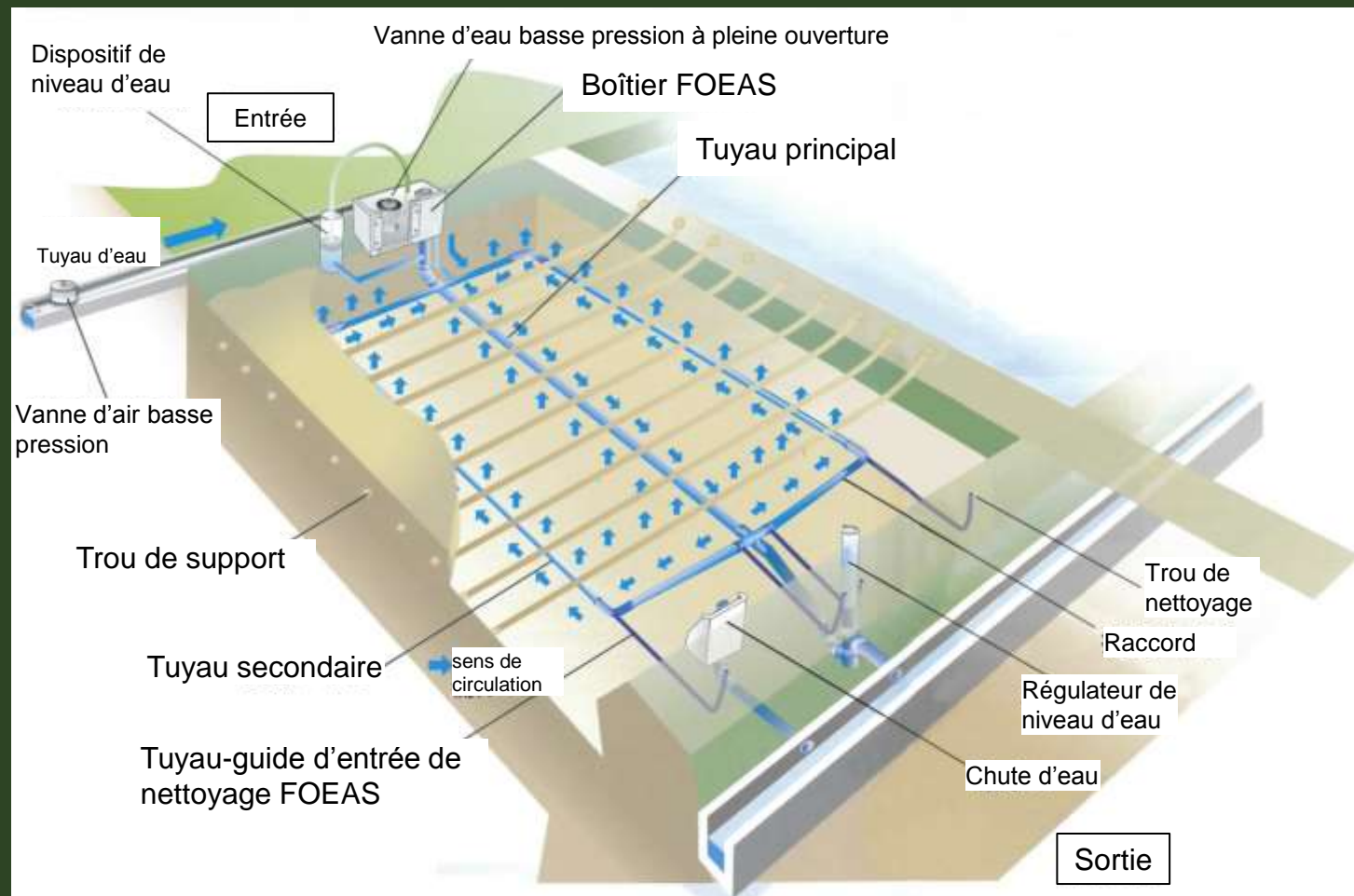
Le serveur de champ est un ordinateur de réseau équipé de capteurs. Il est doté d'une caméra Web et d'instruments de mesure de la température, de l'humidité, de l'énergie de rayonnement, de la vitesse du vent, de la pluviométrie, des insectes nuisibles, etc. Les données sont envoyées à l'ordinateur hôte, qui les utilise pour diagnostiquer et prévoir la



Serveur de champ, NARO Agricultural Research Center

# Système de contrôle des eaux souterraines « FOEAS »

En raison des pluies abondantes du Japon, les produits agricoles y subissent les dommages causés par l'humidité. Ces dommages sont tout particulièrement sévères pour les produits agricoles, autres que le riz, cultivés dans les rizières. Le système FOEAS développé par le National Institute for Rural Engineering permet de réguler le niveau des eaux souterraines au moyen de canalisations sous terre et de simples vannes. Il permet aussi d'effectuer librement l'irrigation intermittente pour la riziculture.





# Culture du soja dans une rizière équipée du FOEAS



Zone témoin  
240 kg/10a

FOEAS - Zone d'irrigation continue  
470 kg/10a

Merci !

