

	N ₂ AZOTE GAZEUX	NH ₃ AMMONIAC	CO(NH ₂) ₂ URÉE	ACIDES AMINÉS	PROTÉINES
MODÈLE MOLÉCULAIRE					
TENEUR EN AZOTE	100%	82%	47%	8%–27%	~16%
ABONDANCE DANS LA BIOSPHERE (EN MILLIARDS DE TONNES)	10 000	10	0.01	10	1
					
	AZOTE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	CARBONE	SOUFRE

LES COMPOSÉS AZOTÉS se retrouvent partout dans la biosphère. La molécule de diazote (N₂), qui représente 78 pour cent de l'atmosphère, est composée de deux atomes liés si fortement qu'ils réagissent difficilement. Pour se développer, les végétaux ont besoin de composés azotés réactifs tels que l'ammoniac (NH₃) et l'urée (CO(NH₂)₂). Les abondances relatives des divers composés azotés de la biosphère sont données avec une précision d'un facteur dix.

médicinales. Comment satisfaire les besoins, quand manquaient des zones non cultivées qui puissent être converties soit en zones de pâturage, soit en terres arables pour l'expansion de l'agriculture? Le seul recours était l'engrais vert, mais il imposait de renoncer à une saison de culture. C'est pourquoi les agriculteurs ont progressivement appris à alterner les cultures de légumineuses à graines avec les cultures de céréales. La pratique, également, a ses limites : les rendements en légumineuses sont faibles, les produits sont souvent difficiles à digérer, et leur faible concentration en protéines du gluten les rend peu aptes à la confection de pain ou de pâtes alimentaires.

Un sol fertile pour la science

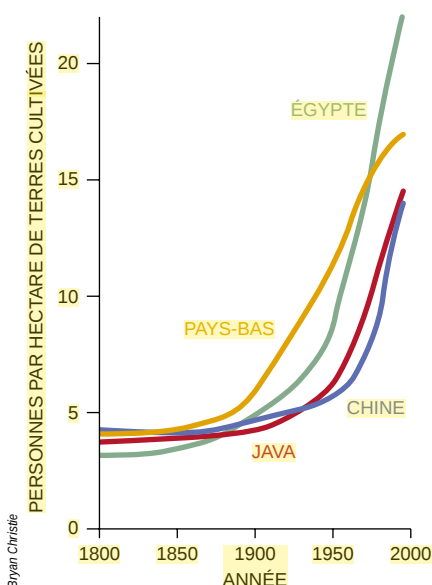
Les progrès de la chimie, surtout au XIX^e siècle, révélèrent le rôle crucial de l'azote dans la production agricole et la rareté des formes utilisables de cet élément. Les chimistes comprirent également que deux autres éléments, le potassium et le phosphore, limitaient parfois les rendements agricoles, mais que les carences de ces derniers éléments pouvaient être facilement corrigées : il suffisait d'épandre de la potasse directement extraite des mines pour pallier les carences en potassium, tandis que l'enrichissement en phosphore s'obtenait par l'ajout d'acide à des roches riches en phosphate pour les convertir en composés solubles, absorbables avec l'eau par les racines. L'azote, toutefois, restait un élément rétif : à la fin des années 1890, agronomes et chimistes prévoyaient une crise de l'azote, due à l'intensification de l'agriculture.

L'utilisation de nitrates minéraux (provenant des déserts chiliens) et de guano (des excréments d'oiseaux récoltés sur les îles Chincha, dans une partie du Pérou où il ne pleut jamais) et la récupération du sulfate d'ammonium, dans les hauts-fourneaux, soulagèrent momentanément certains agriculteurs. En Allemagne, en 1898, l'industrie chimique mit au point un procédé de synthèse de la cyanamide (laquelle libérait de l'ammoniac) par réaction du charbon avec la chaux vive et l'azote pur ; cependant le procédé consommait trop d'énergie pour être rentable. Il en était de même pour la production d'oxydes d'azote, par passage d'un courant d'azote et d'oxygène dans un arc électrique. Seule la Norvège, qui disposait d'énergie hydroélectrique bon marché, fabriqua

des engrais azotés par ce procédé à partir de 1903, mais sa production fut limitée.

À cette époque, Fritz Haber, de l'Université technique de Karlsruhe, se fonda sur les travaux d'Henry Le Chatelier et de Walther Nernst pour mettre au point un procédé de synthèse de l'ammoniac à partir d'azote et d'hydrogène gazeux, en les comprimant jusqu'à une pression de 200 atmosphères et à une température de 500 °C, en présence d'un catalyseur à base d'osmium. Le procédé de Haber était si prometteur que le directeur de la Société BASF demanda à ses meilleurs ingénieurs, Carl Bosch et son collègue M. Mittasch, d'étudier la mise au point d'un procédé industriel fondé sur la réaction de Haber. Le problème était difficile, car les réacteurs, en acier, devaient résister à des pressions et températures élevées ; or ces aciers libéraient des impuretés qui empoisonnaient les catalyseurs. Après dix ans d'études coûteuses, la BASF ouvrit la première usine de synthèse d'ammoniac à Oppau, en 1911 ; elle était relayée par une usine voisine, qui transformait l'ammoniac en sulfate d'ammonium. La capacité de production d'ammoniac fut bientôt doublée pour atteindre 60 000 tonnes par an, ce qui assura l'autosuffisance de l'Allemagne en composés azotés... qui furent bientôt utilisés pour la fabrication des explosifs.

Les difficultés économiques de l'après-guerre limitèrent la diffusion du procédé Haber-Bosch, de sorte que la production mondiale d'ammoniac resta inférieure à cinq millions de tonnes jusqu'à la fin des années 1940. Au cours des années 1950, l'utilisation des engrais azotés augmenta progres-



3. LA DENSITÉ DE POPULATION n'a augmenté dans les pays agricoles qu'après l'avènement des engrais azotés.

sivement pour atteindre dix millions de tonnes. Puis, dans les années 1960, les innovations techniques permirent de réduire de 90 pour cent les quantités d'électricité nécessaires pour cette synthèse, ce qui permit la construction d'usines plus grandes et plus rentables. L'augmentation exponentielle de la demande multiplia par huit les ton-

nages mondiaux d'engrais azotés de synthèse.

Ces engrais, qui n'étaient initialement utilisés que par les pays riches, furent également consommés par les pays en développement : les pays industrialisés employaient 90 pour cent des engrais azotés au début des années 1960, mais moins de 70 pour

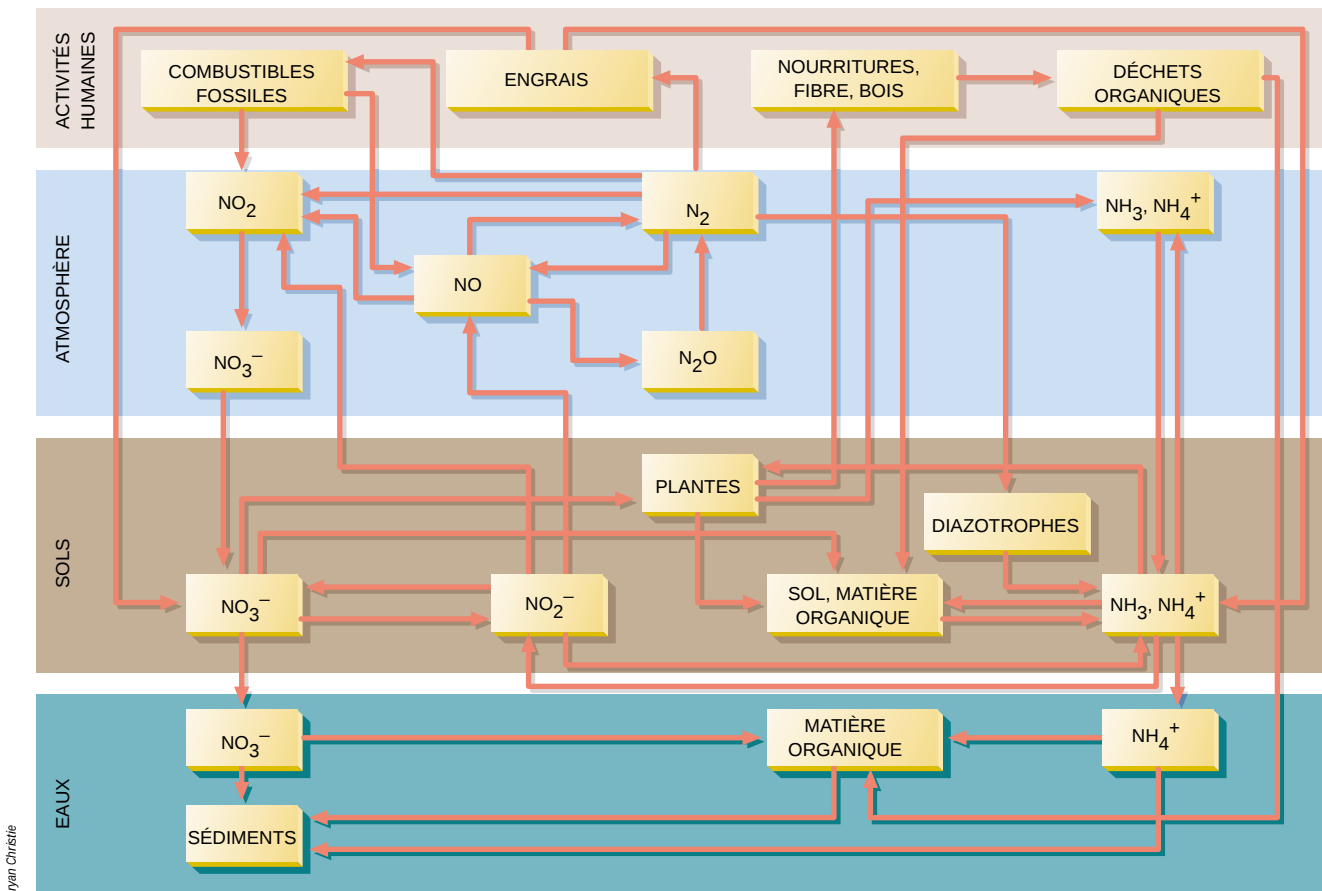
cent dans les années 1980. Aujourd'hui les pays en développement utilisent plus de 60 pour cent de la production mondiale d'engrais azotés.

Quelle est l'importance réelle des engrais azotés de synthèse pour l'agriculture mondiale? Cette question géopolitique importante est difficile, car on connaît mal les entrées et les sorties



4. LES BACTÉRIES FIXATRICES D'AZOTE, micro-organismes capables d'utiliser l'azote atmosphérique pour synthétiser des composés azotés assimilables, vivent dans des nodules, sur les racines des plantes

de la famille des légumineuses telles que le soja (a). On les rencontre également dans les fougères du genre *Azolla* (b), ainsi que dans les tiges de la canne à sucre (c).



5. L'AZOTE est présent dans des molécules différentes, selon qu'il se trouve dans l'eau, dans le sol, dans l'atmosphère ou dans la couverture végétale. L'azote s'échange constamment entre

ces diverses formes. L'avènement de la production industrielle des engrais azotés de synthèse a profondément bouleversé le cycle naturel de cet élément.