

A science-fiction harvest

by Erik Dorff, Statistics Canada

Plastics made from corn, cars fueled by grass, and super-strong silk from goat's milk. Think these sound like far-fetched stories from the pages of a science fiction magazine, bound never to come to fruition? Think again.

Chemists often have to use high temperatures and high pressures in multi-stage reactions to produce the compounds they seek. These same processes also often yield unwanted hazardous byproducts. Altogether, these processes can be costly. A lot of energy is needed to create those high temperatures, special equipment is needed to hold materials under pressure, and disposing of the byproducts is difficult. But until quite recently, these processes were the only way to produce some of the compounds people needed.

Biology offers another way. Extremely complex organic molecules can be produced in much less demanding environments, and with little or no hazardous wastes. Biology has been used for centuries: extracting the compounds some plants naturally yield, such as oils, waxes and fibres; or growing naturally occurring micro-organisms that produce other products, such as yeast that yields alcohol (ethanol), or bacteria that produce citric acid, acetone and butanol.

Farmers in Canada and other countries are looking for new opportunities. Prices of most traditional farm commodities are in a long-term decline, and many farmers are struggling to make a profit. New crops or new uses for existing crops

La récolte du futur

par Erik Dorff, Statistique Canada

La science-fiction n'est pas toujours où on le croit. Les plastiques faits de maïs, les carburants à base d'herbe et la soie ultra-résistante provenant du lait de chèvre ne sont plus le seul fruit de l'imagination d'auteurs créatifs, ils deviennent de réels produits d'avenir! Jugez-en par vous-même.

Les chimistes doivent souvent recourir à des températures et pressions élevées pour provoquer les réactions éche-lonnées nécessaires à la production des composés qu'ils recherchent. Dans bien des cas, ces procédés donnent des sous-produits dangereux dont personne ne veut. Somme toute, ces procédés ont un prix. Il faut beaucoup d'énergie pour créer ces hautes températures et un appareillage spécial pour contenir les substances sous pression. De plus, l'élimination des sous-produits est difficile. Jusqu'à tout récemment, ces procédés étaient le seul moyen de produire certains des composés dont les gens ont besoin.

La biologie ouvre une autre voie. Il est possible de produire des molécules organiques extrêmement complexes dans des conditions bien moins rigoureuses et sans se retrouver avec un lot de déchets dangereux. La biologie est appliquée depuis des siècles, qu'il s'agisse d'extraire les composés que nous donnent naturellement certaines plantes (huiles, cires, fibres, et autres) ou de cultiver des microorganismes naturels pour réaliser d'autres produits, comme la levure qui donne de l'alcool (éthanol) ou les bactéries qui produisent de l'acide citrique, de l'acétone et du butanol.

Au Canada, comme dans d'autres pays, les agriculteurs recherchent de nouveaux débouchés. Les prix de la plupart des produits habituels de l'agriculture régressent depuis longtemps, et bon nombre d'exploitants ont de la difficulté à dégager des profits. Les nouvelles cultures ou

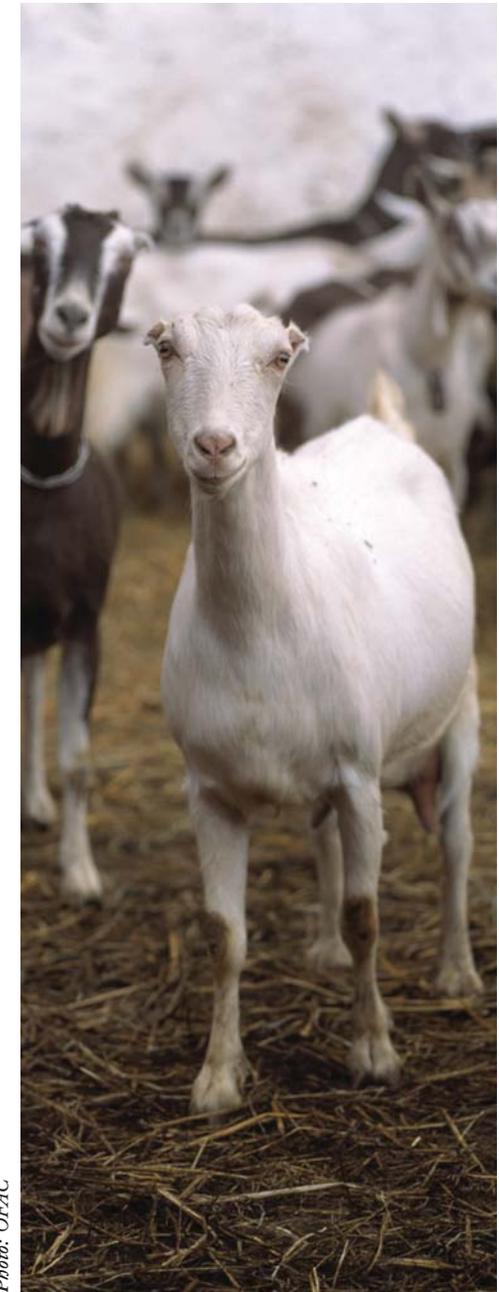


Photo: O/EAC

To help you understand this article

Acetone: A colourless, acrid, inflammable liquid. Used as a solvent for fats, lacquers, oils, plastics, resins, rubber, varnishes and waxes, used to cleanse the skin before injections and vaccinations, and used in the manufacture of chloroform, explosives, rayon and photographic films.

Butanol: A colourless neutral liquid with an alcohol-like odour that can be mixed with all common solvents. It's commonly used in coatings, cleaners, textiles, flotation agents and floor polishes.

Casein: The main type of protein in milk. Casein is used to make food products, paints, sizing for paper and other synthetic chemical products.

Ethanol: A colourless volatile flammable liquid, formed by fermentation of grains and other agricultural commodities, and the intoxicating ingredient contained in wine, beer, whisky, and the other fermented and distilled liquors.

Polyaramid fibres: A new class of high-performance polymers, or synthetic fibres, that are flexible and extremely strong. They are used for cables and bowstrings and, in combination with epoxy resin and carbon fibre, for tennis rackets, golf club shafts and bicycle frames.

may offer interesting new markets for many farmers.

This desire to create new markets for farm products has found an ally — biotechnology. Scientists are finding ways to produce complex compounds biologically that will compete with petroleum-based plastics, nylon, and even gasoline.

What works in the lab, though, also must be able to compete in the marketplace. Until the end of the Second World War, ethanol was used as an important industrial chemical raw material. Similarly, butanol, acetone and ethanol were fermented using bacteria. But from the end of the Korean War in 1953 until recent years (the energy crisis of the 1970s aside), oil and natural gas were cheap and plentiful, and pushed these naturally derived products out of the mainstream marketplace (*see* sidebar).

Making gasoline cleaner

The tide is slowly turning however, because of the mounting price of fossil fuels and environmental legislation. Some American states have passed laws mandating the inclusion of a certain proportion of ethanol in gasoline and a few Canadian provinces are proposing such laws. The intention is to reduce exhaust emissions, because ethanol burns cleaner than does gasoline, and some of those states and provinces are also helping to plan the setup of a local ethanol industry.

But as ethanol plants start up across Canada, will they create as many problems as they solve? Like any manufacturing process, making ethanol from grains or straw and hay takes energy, and creates byproducts. How it can be done efficiently, and

les nouveaux usages des cultures traditionnelles pourraient leur offrir des débouchés intéressants.

Le désir de créer de nouveaux marchés pour les produits agricoles a permis de trouver un allié, la biotechnologie. Les scientifiques trouvent le moyen de produire biologiquement des composés complexes qui rivaliseront avec les plastiques et le nylon issus du pétrole, et même avec l'essence.

Cependant, les produits qui témoignent du succès des laboratoires doivent pouvoir affronter la concurrence sur le marché. Jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale, l'éthanol a été une importante matière première de la chimie industrielle. Parallèlement, les bactéries servaient à produire par fermentation du butanol, de l'acétone et de l'éthanol. Mais à partir de la fin de la guerre de Corée, en 1953, jusqu'à ces dernières années (mise à part la crise de l'énergie des années 1970), le pétrole et le gaz naturel étaient des produits bon marché du fait de leur offre abondante. Les produits naturels précités ont donc été écartés du marché (*voir* l'encadré).

Purification de l'essence

Toutefois, la situation change lentement vu l'augmentation du prix des combustibles fossiles et l'adoption de lois sur l'environnement. Certains États américains ont adopté une loi qui impose l'inclusion d'une certaine proportion d'éthanol dans l'essence, et quelques provinces canadiennes proposent l'introduction d'une telle mesure afin de réduire les gaz d'échappement. La combustion de l'éthanol est moins polluante que celle de l'essence, et certains de ces États et provinces contribuent à l'implantation d'une industrie locale de l'éthanol.

L'ouverture d'usines d'éthanol dans les diverses régions du Canada créera-t-elle autant de problèmes que de solutions? Comme tout procédé de fabrication, la production d'éthanol à partir de céréales ou de la paille et du foin consomme de l'énergie et laisse des sous-produits.

without using large amounts of extra energy, continues to be hotly debated.

Various Canadian companies have developed innovative technologies and techniques in an attempt to overcome the challenges. One company in Western Canada runs a feedlot alongside its ethanol plant. Grain is fermented to make ethanol, and the residual high-protein materials, called wet distillers' grains and thin stillage, are fed directly to the cattle. The latter step saves a lot of energy; at other plants, the residual materials are dehydrated first before they can be added as protein supplements to livestock feed rations.

As well, in many ethanol plants the carbon dioxide byproduct is bottled and sold to the soft drink industry — to make soft drinks carbonated.

Grain is the raw material commonly used to produce ethanol. Using straw and hay to make ethanol is relatively rarer. A company in Eastern Canada has created a biological system that uses enzymes to break down the cellulose material, making it possible to produce ethanol on a commercial scale. This process yields an average of 300 L of ethanol per tonne of cellulose material — yields vary depending on what kind of cellulose is used. This company has an operational pilot plant capable of producing 3 million to 4 million litres of ethanol per year.

There's certainly no lack of raw material for this process. Straw from Prairie grain crops was traditionally considered waste material to be burned off, which is not as common now. But according to the company's estimates, if one-third of the straw produced in the Prairie provinces was used to make ethanol, Canada could reduce its

Un vif débat a été entamé quand à savoir si on peut produire de l'éthanol d'une manière efficace et sans qu'un grand surcroît d'énergie soit nécessaire.

Diverses entreprises canadiennes ont mis au point des technologies et des techniques novatrices pour vaincre ces difficultés. Une entreprise de l'Ouest canadien exploite un parc d'élevage avec son usine d'éthanol. Elle produit de l'éthanol par fermentation de céréales, et les résidus riches en protéines appelés drêche et résidus de distillation servent directement à l'alimentation des bovins. Cette mesure fait économiser beaucoup d'énergie. Dans d'autres établissements, on déshydrate les résidus avant de les incorporer aux rations du bétail comme compléments protéiques.

De plus, dans bien des usines d'éthanol, le gaz carbonique (un sous-produit) est mis en bonbonne pour être vendu à l'industrie des boissons gazeuses comme agent de gazéification.

Les céréales sont la matière première couramment utilisée pour produire de l'éthanol. L'utilisation de paille et de foin est relativement plus rare. Une entreprise de l'Est du pays a créé un système biologique où des enzymes décomposent la cellulose, ce qui favorise la production d'éthanol à l'échelle industrielle. Le procédé donne en moyenne 300 L d'éthanol par tonne de cellulose, mais les rendements varient selon le type de cellulose. L'entreprise a mis en service une usine pilote capable de produire de 3 à 4 millions de litres d'éthanol par année.

On ne manque sûrement pas de matière première. La paille des cultures céréalières des Prairies a longtemps été considérée comme un déchet à brûler, mais aujourd'hui cet usage est moins répandu. Selon les estimations de l'entreprise, si le tiers de la paille produite dans les Prairies servait à la fabrication d'éthanol, le Canada pourrait réduire de 10% sa consommation d'essence. Ces

Pour vous aider à comprendre cet article

Acétone: Liquide incolore, âcre et inflammable qui est utilisé comme solvant des graisses, des laques, des huiles, des plastiques, des résines, du caoutchouc, des vernis et des cires, qui sert à nettoyer la peau avant une injection ou une vaccination et qui entre dans la fabrication du chloroforme, des explosifs, de la rayonne et des pellicules photographiques.

Butanol: Liquide neutre incolore, ayant une odeur alcoolique qui peut former un mélange avec tous les solvants courants. Il est couramment utilisé comme composante des enduits, nettoyants, textiles, agents de flottation et cires à parquet.

Caséine: Principal élément protéique du lait qui entre dans la fabrication de produits alimentaires, des peintures, apprêts du papier et autres produits chimiques de synthèse.

Éthanol: Liquide incolore, volatil et inflammable qui résulte de la fermentation de céréales et d'autres produits agricoles et qui est l'agent intoxicant du vin, de la bière, du whisky et des autres spiritueux de fermentation et de distillation.

Fibres polyaramides: Nouvelle catégorie de fibres de synthèse ou de polymères à haute performance qui se caractérisent par leur souplesse et leur extrême résistance. Elles entrent dans la fabrication des câbles et des cordes d'arc, et avec la résine époxyde et les fibres de carbone, des raquettes de tennis, des tiges de bâton de golf et des cadres de bicyclette.

Plastics from renewable materials

Traditionally made from petroleum, plastics are being produced more and more from renewable material. Starch, from plants such as corn or potatoes, can be extruded under specific conditions. It's being used as a replacement for polystyrene (or Styrofoam®) peanuts used for packing. (Styrofoam® is a trademark of The Dow Chemical Company.)

Several species of bacteria can be used to produce polyesters, or fibres used to make polyester, that can be used in clothing, fabrics and carpets. One of the most common fibres is PHB (poly-3-hydroxybutyrate), which is produced by the bacterium *Ralstonia eutropha* and genetically modified *E. coli*.

Lactic acid, commonly produced by industrial fermentation, is being made into a polymer, Poly (lactic acid), a plastic material more commonly called PLA.

Completely biodegradable disposable cutlery and foam packing material has been made from a combination of starch and poly (vinyl alcohol).

(Cont'd on page 282)

gasoline consumption by 10%. These production estimates sound large, and they are. However, Canada consumed 38.1 billion litres of automotive gasoline in 2001. In ethanol-blended gasoline now available, the ethanol portion varies between 5% and 15%.

Making diesel more "lubricious"

Other Canadian researchers are using biotechnology and existing farm products to find ways to make diesel fuel cleaner. Refineries are being compelled to reduce the sulfur content in the diesel fuel they make, in order to reduce harmful sulphur emissions when the fuel is used. However, the process by which the sulfur is removed, hydrotreatment, also removes the beneficial compounds that help make the fuel lubricious, or slippery. Without these compounds in their fuel, diesel engines run less efficiently and wear faster.

The solution to this problem may be canola-based compounds. Researchers at the University of Saskatchewan have shown that adding canola methyl ester (CME) considerably reduces engine wear and boosts fuel economy. The researchers estimate that adding 1% CME content to diesel fuel would achieve the desired effect.

To process CME from canola, the researchers estimated that a plant large enough to produce 1 million litres per year would be able to produce this diesel additive for \$0.72 per litre. Since this additive would make up only 1% of diesel fuel, it would cost less than a cent per litre. Canadians used 13.3 billion litres of diesel fuel in 2001.

estimations paraissent élevées, et elles le sont. Cependant, en 2001 le Canada a consommé 38.1 milliards de litres d'essence automobile. Dans l'essence éthanolée qui est maintenant offerte, la proportion d'éthanol varie entre 5% et 15%.

Un carburant diesel d'une plus grande « lubrification »

D'autres chercheurs canadiens utilisent la biotechnologie et des produits de l'agriculture pour trouver des façons de purifier le carburant diesel. Les raffineries sont obligées de réduire la teneur en soufre du carburant diesel qu'elles produisent afin d'atténuer les émissions polluantes à la consommation, mais le procédé d'élimination du soufre, l'hydrotraitement, élimine aussi les composés utiles qui favorisent la lubrification ou glissance. Sans ces composés, les moteurs diesel fonctionnent moins bien et s'usent plus vite.

La solution à ce problème pourrait être l'utilisation de composés à base de canola. Des chercheurs de l'Université de la Saskatchewan ont montré que l'ajout d'ester méthylique de canola (EMC) au carburant diminue considérablement l'usure des moteurs et permet d'économiser davantage de carburant. D'après eux, un apport d'EMC de 1% devrait donner l'effet recherché.

En ce qui concerne la production d'EMC à partir du canola, les chercheurs estiment qu'une usine assez grande pour produire 1 million de litres par année pourrait fabriquer cet additif au coût de \$0.72 le litre. Comme l'EMC ne représenterait que 1% du carburant diesel, son coût s'établirait à moins d'un cent le litre. En 2001, les Canadiens ont consommé 13.3 milliards de litres de carburant diesel.

Nature's Kevlar®

New advances in biological science have enabled science to engineer organisms (micro-organisms, plants, and even mammals) to create complex organic molecules that they would not naturally produce, including a new fibre that is stronger than Kevlar®, a registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company. A polyaramid compound, Kevlar® has exceptional strength. It is relatively lightweight, making it suitable for the flak jackets worn by police and soldiers. It has supplanted fibreglass as the preferred synthetic material for canoes. But it is difficult to produce, requiring a complex multi-stage reaction under demanding conditions. It also creates some hazardous waste as a byproduct.

Nature, however, has developed a product better than Kevlar® — spider silk. Those tiny filaments of silk most often seen glinting in the early morning sun covered with dew are pound for pound five times stronger than steel and three times tougher than aramid fibres. The difficulty of course comes in the production or collection of enough fibre to be more than a curiosity. Instead of trying to ranch spiders, a biotechnology company has isolated the gene for dragline silk production from the spider and inserted it into goats. The gene is expressed in the mammary cells of the goats, and the silk proteins need only be extracted from the goat's milk and then spun.

The company is currently perfecting a process for spinning the proteins into fibre, and aims to produce this fibre initially for such medical applications as microsutures, surgical meshes for hernia repair and artificial ligaments for knee reconstruction. Other military and civilian uses may follow. No complex chemical process is

Le kevlar de la nature

Les progrès de la biologie ont permis aux scientifiques de traiter des microorganismes, des plantes et même des mammifères de manière à créer des molécules organiques complexes que ces organismes ne produiraient pas naturellement, notamment une nouvelle fibre plus résistante que le kevlar, marque de commerce déposée de E.I. du Pont de Nemours and Company. Ce composé polyaramide a une résistance exceptionnelle. Il est relativement léger et se prête donc à la confection des gilets pare-balles que portent les policiers et les soldats. Il a supplanté la fibre de verre comme matière synthétique préférée pour la fabrication de canots. Mais sa production est une opération difficile, qui exige une réaction complexe et échelonnée dans des conditions rigoureuses, et elle crée des sous-produits dangereux.

La nature a donné lieu à la conception d'un produit meilleur que le kevlar, la soie d'araignée. Poids pour poids, ces fins filaments de soie que l'on voit si souvent luire au soleil du petit matin sous la rosée sont cinq fois plus résistants que l'acier et trois fois plus solides que les fibres aramides. Bien sûr, la partie difficile est la production ou la collecte d'une assez grande quantité de cette fibre pour qu'elle soit plus qu'un objet de curiosité. Au lieu de tenter d'élever des araignées, une entreprise de biotechnologie a isolé le gène permettant à l'araignée de tisser sa toile et l'a inséré dans le code génétique des chèvres. Le site d'expression des gènes étant les cellules mammaires de la chèvre, il suffit alors de traire son lait pour en extraire les protéines servant à la fabrication de la soie et de procéder au filage.

Actuellement, l'entreprise perfectionne un procédé de filage qui transformera les protéines en fibres. Elle compte produire ces fibres d'abord pour des applications médicales comme les microsutures, les plaques chirurgicales pour hernies et les ligaments artificiels pour la reconstruction du genou. D'autres applications militaires et civiles pourraient suivre. Il n'est pas nécessaire

Les plastiques tirés de matières renouvelables

Les plastiques qui auparavant étaient des dérivés du pétrole sont de plus en plus souvent fabriqués à partir de matières renouvelables. On peut extruder l'amidon de certains végétaux comme le maïs ou la pomme de terre dans des conditions déterminées. On obtient ainsi un produit qui remplace les morceaux de polystyrène (ou styromousse) dans les emballages. (Styrofoam® est une marque de commerce de la Dow Chemical Company.)

Plusieurs espèces bactériennes peuvent servir à la production du polyester ou de fibres de polyestérification qui se retrouvent dans les vêtements, les tissus et les tapis. Une des fibres les plus répandues est le PHB (ou poly-3-hydroxybutyrate) que créent la bactérie *Ralstonia eutropha* et l'*E. coli* génétiquement modifié.

On transforme l'acide lactique, produit courant de la fermentation industrielle, en un polymère, le polyacide lactique. On obtient un plastique communément appelé PLA.

À partir d'une combinaison d'amidon et d'alcool vinylique polymérisé, on a fabriqué des ustensiles de table jetables et de la mousse d'emballage qui sont entièrement biodégradables.

(Suite à la page 282)

Plastics from renewable materials (cont'd)

Changing conditions are turning the tide away from synthetic and petroleum-based materials back to those made from agricultural commodities. This holds the promise of not only increasing revenues for farmers but also benefiting society as a whole through an improved environment, increased domestic security, and new and innovative products. One such material being rediscovered is hemp; read more about it, in "From barn to yarn — weaving a niche market for industrial hemp," on page 285.

Les plastiques tirés de matières renouvelables (suite)

L'évolution nous fait progressivement délaisser les matières synthétiques et les dérivés du pétrole pour retourner aux matières issues des produits agricoles. De cette façon, on pourra non seulement accroître les revenus des agriculteurs, mais aussi rendre service à la société tout entière grâce à l'amélioration de l'environnement et de la sécurité nationale, et en fabriquant des produits de pointe. Une des matières que l'on redécouvre est le chanvre. Les intéressés pourront en apprendre davantage à ce sujet en lisant « De la ferme à la fibre — exploiter un créneau pour le chanvre industriel » à la page 285.

required, the raw material is renewable grasses and grains, and the leftover milk is either fed to the kids in the goat flock or sold for industrial uses. The proteins, chiefly casein, are separated from the lipids, or fats, and the lactose in a process called fractionation. The lipids and lactose are used in pharmaceuticals, and the casein in many industrial applications.

Although the biotechnology industry is doing the research on these new technologies, agriculture may also find new markets for its products, be it corn to make into ethanol for gasoline, canola to make diesel fuel more lubricious, or some other product for which science finds an unexpected new use.

d'appliquer un procédé chimique complexe. Les matières premières sont les herbes et les céréales renouvelables, et le lait résiduel sert à l'alimentation des chevreaux ou est vendu pour servir à des applications industrielles. On sépare les protéines (de la caséine surtout) des lipides ou graisses et du lactose par un procédé appelé fractionnement. Les lipides et le lactose entrent dans la fabrication de produits pharmaceutiques, et la caséine est utilisée pour de nombreuses applications industrielles.

L'industrie de la biotechnologie étudie ces nouvelles technologies, mais l'agriculture peut aussi trouver de nouveaux débouchés pour ses produits, qu'il s'agisse du maïs pour l'éthanol de l'essence, du canola pour une plus grande lubrification du carburant diesel ou d'autres produits auxquels la science découvrira de nouveaux usages inattendus.



Photo: Lynda Kemp



Photo: Stewart Wells

The pendulum swings from natural materials to oil — and back

At one time the fields, forests and waters supplied humans with most of the materials we needed for food, energy and clothing, and today they still supply us with many of the things we need. Yet, with advances in organic chemistry, the science of manipulating carbon-based materials, and access to large quantities of raw materials — first coal in the early 19th century, then oil and natural gas in the late 19th century — we stopped relying on renewable resources for many products. They simply could not compete with massive volumes of readily available low-cost oil and natural gas, or offer the unique advantages of these new compounds. Wood, cotton and leather were, by the mid-20th century, competing with new materials made from petroleum — plastics, nylon and vinyl.

However, since the energy crisis of the 1970s, humans have begun to realize that the supply of petroleum is finite. Its price has risen, and sometimes fluctuated unpredictably, in the past 30 years. Many nations must import their petroleum, because it is produced in relatively few places in the world. Thus, petroleum has become a major issue in world politics. As well, burning petroleum does have environmental consequences. What was once an enticingly cheap form of energy and chemical basis for many synthetic products has become more economically, politically and environmentally costly.

So as petroleum has started to look more problematic, there is room for plant- and animal-based materials to regain the ground they lost in the 19th and 20th centuries. But it will not be traditional materials like wood, cotton and leather that will lead the counterattack against petroleum: The new materials will be developed in laboratories and grown on farms.

Le pendule oscille entre les matières naturelles et le pétrole

Jadis, les champs, les forêts et les eaux nous fournissaient la plupart des matières dont nous avons besoin pour nous nourrir, nous vêtir et satisfaire nos besoins énergétiques et c'est encore le cas, en grande partie, aujourd'hui. Pourtant, à cause des progrès de la chimie organique, science de la manipulation des matériaux à base de carbone, et de l'accès à de grandes quantités de matières premières — le charbon, au début du XIX^e siècle, puis le pétrole et le gaz naturel, vers la fin de ce siècle —, nous avons cessé de compter sur les ressources renouvelables pour un grand nombre de nos produits. Celles-ci n'ont pas pu soutenir la concurrence du pétrole et du gaz naturel, produits bon marché offerts en abondance, ou offrir les avantages uniques de ces nouveaux composés. Au milieu du XX^e siècle, le bois, le coton et le cuir affrontaient la concurrence des nouvelles matières tirées du pétrole comme le plastique, le nylon et le vinyle.

Depuis la crise de l'énergie des années 1970, nous avons cependant commencé à comprendre que l'offre de pétrole était limitée. Au cours des 30 dernières années, les cours pétroliers ont augmenté et parfois fluctué d'une manière imprévisible. De nombreux pays doivent importer leur pétrole parce que la production est concentrée dans des régions relativement peu nombreuses dans le monde. Ainsi, le pétrole est devenu un grand enjeu de la politique mondiale. En outre, la combustion du pétrole a des répercussions sur l'environnement. Cette source d'énergie bon marché qui servait de base à de nombreux produits synthétiques est aujourd'hui économiquement, politiquement et écologiquement plus coûteuse.

Depuis cette remise en question du pétrole, les matières tirées des végétaux et des animaux peuvent regagner le terrain perdu aux XIX^e et XX^e siècles. Mais ce ne sont pas des matières traditionnelles comme le bois, le coton et le cuir qui battront la charge contre le pétrole, puisque les nouvelles matières seront réalisées dans les laboratoires et fournies par l'agriculture.



Photo: Canola Council of Canada / Conseil canadien du canola