

LOS ORIGENES ECONOMICOS Y CIENTIFICOS DE LA REVOLUCION VERDE EN SAHEL

texto presentado como conferencia por invitación de

**LA AGENCIA CANADIENSE PARA EL DESARROLLO
INTERNACIONAL**

en la reunión del

CLUB SAHEL

**Pointe-au-Pic
QUÉBEC
Canadá**

por

Gilles Lemieux

Profesor del Departamento Ciencias de la Madera y del Bosque
Facultad de Ciencias Forestales y Geomática

UNIVERSIDAD LAVAL

Quebec G1K 7P4

QUEBEC

Canadá

PUBLICACION N° 55 (esp)

versión española: D^r Antonio González

Editado por el Grupo de Coordinación sobre la madera rameal
octubre 1995

LOS ORIGENES ECONOMICOS Y CIENTIFICOS DE LA REVOLUCION VERDE EN SAHEL

RESUMEN

La rápida evolución de los conocimientos a lo largo de este último cuarto de siglo ha conducido a ciertas constataciones que asustan a más de uno, pero que son portadoras de una gran esperanza. La agricultura, en un principio actividad cosechera y después de producción, se ha adentrado por senderos marcados por la química, la física y la fisico-química durante el siglo pasado. Los resultados obtenidos pueden considerarse como los más importantes desde que nuestra civilización existe. En el transcurso de las últimas décadas, los hechos nos incitan a pensar que hemos alcanzado un nivel, a partir del cual la rentabilidad de las técnicas es puesta en tela de juicio, con repercusiones sobre la industria, el valor de la moneda y la productividad real. Las dificultades económicas y sociales de las que somos testigos hoy son la prueba. Hemos optado por desarrollo sostenible en lo que respecta los recursos renovables, pero nos perdemos en conjeturas al tomar las tendencias actuales como un modelo a largo plazo. Todo el mundo creyó que este hundimiento era exclusivo de los países del sur y que nuestros conocimientos preservarían a los del norte de las catástrofes anunciadas, aunque éstas se materializan bajo los más diversos aspectos. Así pues, desde el final de los años 70, ino hemos explorado sectores en los que la pobreza parece complacerse y desarrollarse, pero en presencia de todo género de riquezas? Mucha gente ve la riqueza solamente bajo la forma de metales, preciosos o abundantes, con importancia industrial y lo mismo para el bosque y la producción agrícola. La gestión de esta riqueza nos ha hecho olvidar colectivamente la mayor de todas: la vida, con todos sus componentes. Mientras pensábamos que los científicos se ocupaban del mar para mantener su fertilidad y productividad, nosotros hemos vuelto los ojos a lo que creíamos lo más humilde y mejor conocido: el suelo. Nuestra sorpresa fue total al constatar que todos los aspectos biológicos, es decir, la vida misma, con toda su complejidad y significación había sido considerada muy someramente, excepto en lo concerniente a la mineralización de los elementos nutritivos. Esto nos ha conducido a examinar con más detalle los procesos de humificación, cuyo modelo universal es el bosque. Fue así como llegamos, en el correr de los años, a reconocer la relación existente entre la cima de los árboles y el suelo que los soporta. Los descubrimientos realizados en estos últimos diez años han puesto de relieve la importancia de la lignina y, más específicamente, aquella que está poco polimerizada, en la génesis y la fertilidad de los suelos forestales. Además de una alta concentración en elementos nutritivos, las ramas contienen una considerable energía bajo la forma de azúcares, celulosas, hemicelulosas y ligninas a lo que hay que añadir todos los aminoácidos y un gran número de proteínas, vitaminas, hormonas y enzimas. Hemos pensado, pues, en fragmentar estas ramas que, en todas las latitudes y en todos los tiempos, fueron consideradas como el símbolo mismo de la pobreza y de la decadencia, e incorporarlas al suelo o a los residuos vegetales superficiales, según se trate de la agricultura o de las ciencias forestales. Rápidamente los resultados se han traducido en importantes aumentos del rendimiento tanto en cultivos agrícolas extensivos como hortícolas así como en notables efectos sobre la germinación en el bosque. Habiendo aceptado la hipótesis de que los procesos que observamos debían tener ámbito universal, emprendimos una serie de experiencias en África y Las Antillas. Los resultados fueron superiores a los obtenidos en climas templados, abriendo, con ello, la puerta a una revolución verde que no habíamos previsto en un principio. Es, precisamente, al integrar al suelo el conjunto de los elementos nutritivos y los mecanismos implicados en la creación y el mantenimiento de las cadenas tróficas como los suelos agrícolas pasan a un régimen "forestal". Todo esto activa la "máquina biológica de producción" asegurando, a la vez, la gestión de los suelos, del agua y la disponibilidad de los nutrientes, cuando éstos son necesarios, evitando así el consumo inútil y la contaminación que esto trae consigo. La solución más económica, en lo que respecta al África saheliana, nos parece que va ligada a la producción de madera rameal fragmentada (MRF), a partir de plantaciones mejor que destinan estas ramas a la combustión o al abandono. Los argumentos que aportaremos son importantes y merecen ser tomados en consideración desde el punto de vista social y económico, por razones biológicas, científicas e históricas.

Agradezco la invitación que me han hecho para dirigirles la palabra sobre un tema particularmente difícil, para el que pensamos poder aportar varios elementos nuevos y susceptibles de modificar las actuales tendencias, tanto en las regiones sahelianas como en otras partes del mundo.

Me permito, pues, establecer el contexto en el que se inscriben los diversos descubrimientos que han conducido a los temas que me propongo abordar. Dichos temas están ligados a las dificultades económicas y sociales perceptibles ya en los hechos, al comienzo de los años 70. Se han manifestado por la crisis del medio ambiente, fruto de un avance fulgurante de la técnica y de la productividad industrial.

Dos polos se hallan en el origen de nuestros descubrimientos, a saber, la pobreza en el medio forestal y la contaminación causada por los productos químicos utilizados en el blanqueo del papel, entre los cuales el mercurio fue identificado como el residuo más peligroso y pernicioso.

Utilizando la madera rameal fragmentada y tras mezclarla a los primeros centímetros del suelo, obtuvimos rendimientos agrícolas que oscilaban entre el 30 y 300%, según los cultivos y, todo esto, sin la utilización de abonos ni enmienda alguna. Por sorprende que parezca, la bibliografía científica nunca mencionó este material ni sus efectos. Al comienzo de los años 80, otros ensayos, en un medio forestal esta vez, revelaron sus efectos sobre la regeneración, la morfología del suelo, las reacciones físico-químicas, la flora, etc., sin que nadie sepa a qué atribuir tales modificaciones.

La percepción tradicional que poseemos sobre las ramas y el suelo nos colocaba de lleno en la óptica de los desechos que se desarrollaba rápidamente en esta época, y que ha llegado a ser la preocupación principal de nuestra sociedad industrial y urbana. Así pues, estas observaciones fueron relegadas a la categoría de hechos inexplicables, sin más. Sin embargo, al estudiar los distintos componentes de las ramas hubo que rendirse a la evidencia de que eran muy ricas en elementos nutritivos. Poseen una substancia particular que es la lignina poco polimerizada bajo forma de monómeros fácilmente atacables biológicamente.

Al principio de nuestros trabajos, la famosa enfermedad de Minamata causada por el envenenamiento con el mercurio, forzó a los científicos, financiados por la gran industria y los Estados, a encontrar nuevas técnicas para blanquear el papel, puesto que la lignina da una tonalidad inapropiada al papel. Así fue como debutaron en el mundo los importantes trabajos sobre la degradación de la lignina por vía enzimática, en particular, la de las coníferas. Por primera vez, se consagró un considerable esfuerzo a esta molécula extremadamente compleja y muy energética, que para la industria papelera no tenía la menor utilidad, por lo que era evacuada al medio ambiente, acompañada de productos secundarios, como los compuestos organo-mercúricos.

Fue diez años más tarde cuando encontramos en la bibliografía un artículo de dos eminentes investigadores europeos, los doctores Leisola, del *Finnish Sugar Institute*, y García, del Instituto Pasteur, que describían el papel desempeñado por varios enzimas en la producción del ácido húmico a partir de la lignina, el elemento principal de la pedogénesis, es decir, la formación del suelo y de su fertilidad.

Por vez primera, fuimos capaces de comprender mejor la forma en la que la madera rameal fragmentada (MRF) ejercía un impacto tan potente sobre los rendimientos, haciendo caso omiso de la presencia adicional de elementos nutritivos de naturaleza química, bajo la forma de fertilizantes de síntesis. También, por vez primera, tuvimos que abandonar el enfoque tradicional, es decir, el de la mineralización y su cortejo químico. Hemos aquí, lanzados sobre una pista biológica, pero esta vez, en una óptica forestal en la que, rápidamente, hubo que hacer frente a los partidarios del compost y del estiércol, en la lógica de los productos desechables, que tan cara le era a esta economía de fin de milenio.

Conviene subrayar aquí que todos los trabajos referentes a la lignina son realizados bajo una óptica de degradación, de transformación y de eliminación. No hemos encontrado ningún trabajo reciente sobre la agradación, es decir, sobre la estructuración energética del suelo a partir de los núcleos bencénicos incorporados al nuevo medio. Estamos aún en el período del desecho, en el que solamente se considera la degradación, sin la menor mención al fenómeno más importante: **la agradación energética, biológica y estructural del suelo, ese mundo viviente.**

Son las características de esta lignina las que han permitido al hombre desarrollarse por el mundo. Toda el Africa estuvo bajo el influjo del bosque de hoja caduca, en una época o en otra. El bosque

tropical es de hoja caduca y, en esas condiciones, genera los mejores rendimientos tanto agrícolas como forestales. La Historia nos enseña que todo el Sahel estuvo un día bajo este tipo de bosque, que se va retirando con los golpes de la presión demográfica y de la evolución del clima que de ello se deriva.

Pese a que la hipótesis de que la lignina fuese la base del humus natural, haya sido enunciada en varias ocasiones, desde 1926, pocas personas le han prestado atención. Los trabajos más importantes y más recientes no aluden para nada a esta evolución de la lignina. Todos tratan de comprender la degradación de esta molécula y no su evolución positiva. La transformación del humus en el suelo tiene como principal característica evolucionar, conservando intactos, o poco modificados, los núcleos bencénicos, que es la base de otros compuestos complejos, que aumentan la energía almacenada. Por el contrario, la mineralización consume y disminuye las reservas energéticas. Este fenómeno se inscribe en el campo de la entropía, al aumentar la energía y su dispersión en la materia, al contrario de la entalpía, -caso de la mineralización,- donde la energía es concentrada y expulsada de la materia. La agricultura actual no tiene en consideración más que el segundo fenómeno, es decir, la mineralización, con todas sus consecuencias inherentes: la degradación y la polución son dos de sus facetas bien conocidas. Lo mismo sucede en la agricultura tradicional, en la que se queman los residuos para liberar así los elementos nutritivos, con el consiguiente detrimento de la formación de cadenas tróficas.

LO QUE LA GEOGRAFIA Y LA HISTORIA NOS ENSEÑAN

Tras algunas observaciones, reflexiones y deducciones, llegamos, forzosamente, a la conclusión de que fue bajo las masas arbóreas de especies caducifolias donde se desarrollaron las grandes civilizaciones de nuestro planeta. Fue al utilizar los suelos de estos bosques cuando se encontraron los mejores rendimientos en todas las condiciones, en función del tiempo. La acumulación de riquezas se hizo realidad con el crecimiento de la población y de las distintas civilizaciones. **Todas las tentativas realizadas para utilizar los suelos derivados de los bosques de coníferas condujeron al fracaso, en todas las latitudes y en todos los climas.** Se han propuesto varias explicaciones para explicar estos fracasos pero, la verdad es que, nunca se ha logrado.

No puede decirse lo mismo de los suelos agrícolas derivados de formaciones de monocotiledóneas, generalmente fértiles, pero donde se manifiestan tendencias xéricas que hacen interesante el cultivo de

gramíneas. Estas grandes formaciones herbáceas se encuentran tanto en las Américas como en Asia y, ocasionalmente, en Europa. En ellas se encuentran poblaciones de una densidad media. **La utilización de los suelos de manera intensiva conduce las más de las veces a la desertización total, parcial o temporal,** en estas condiciones climáticas precarias.

El bosque de hoja caduca, por doquier en el planeta, sería el responsable de la vida del Hombre y de un gran número de especies animales, como los Primates, nuestros parientes próximos. En estas condiciones es cuando la diversidad biológica es máxima. La desaparición de este bosque detiene el ciclo del agua y conduce, inexorablemente, a la desertización bajo los trópicos. Es cierto que grandes ciclos favorecen el paso de un estado al otro, asegurando así la adaptación y la creación de nuevas especies de las que, precisamente, nosotros somos un perfecto ejemplo.

De la misma forma que la Tierra posee una memoria debida a sus diferentes componentes, nos parece evidente que el suelo sea la memoria del bosque y que se transformará muy lentamente, conservando una reserva génica sin igual, que le permite reconstituir las condiciones necesarias para la elaboración de nuevos equilibrios biológicos. Sólo el bosque caducifolio posee verdaderas climas, tanto en medio templado como tropical, pudiendo aspirar a la "autoperpetuación" como sociedad, en tanto en cuanto los parámetros fundamentales permanezcan estables.

LA EXPERIMENTACION CANADIENSE, AFRICANA Y ANTILLANA

Después de haberse interrogado acerca de los resultados obtenidos al incorporar $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ de madera rameal a los primeros centímetros del suelo, nos fue necesario proponer hipótesis de trabajo capaces de explicar los mecanismos causantes de dichos resultados. La primera hipótesis nos obligó a formular reglas amplias, capaces de conducir a la formulación de los principios fundamentales universales. Para conseguirlo era necesario verificar esta hipótesis bajo condiciones diferentes. Las nuestras, en clima templado, muestran un gran número de factores limitantes, muy diferentes de aquellos de los climas tropicales.

Al establecer como hipótesis de base que estábamos en presencia de un fenómeno universal, pues eso es la pedogénesis, establecimos los principios de experimentación. Fue así como estimamos que en control del ecosistema hipogeo estaba asegurado por factores biológicos más o menos claros cuyo tipo de lignina era la base y el centro. Se fijó el punto de partida y nos arriesgamos a la experimentación en Africa, en la región subsaheliana de Senegal así como en las Antillas, utilizando una sola y única especie, *Casuarina equisetifolia*. Al cabo de algunos meses nos llegaron los resultados: **nos confirmaban totalmente los que habíamos obtenido y, con frecuencia, multiplicados por un factor que variaba entre 4 y 6 para los cultivos hortícolas.** En Africa, los resultados son aún mejores, utilizando especies locales a medida que nos aproximamos al bosque ecuatorial.

Tanto en Canadá como en Africa y las Antillas, **el aumento del rendimiento no se debe al abonado, es decir, a la adición de elementos nutritivos de naturaleza química.** Todos los parámetros biológicos, químicos, físico-químicos y físicos tienden hacia un equilibrio, cosa que discutiremos más tarde.

EL RETORNO A LOS EQUILIBRIOS BIOLÓGICOS FORESTALES EN MEDIOS AGRÍCOLAS

La Historia nos enseña que para hacerse un hueco en la vida, el Hombre ha tenido que luchar duramente contra el bosque y sus habitantes. De esta corta frase puede deducirse que el bosque precedió al Hombre sobre la faz de la tierra en varios millones de años y, como consecuencia, un equilibrio suelo-bosque-animales imperturbable hasta hace poco tiempo. Dicho equilibrio, más o menos mantenido durante milenios en ausencia de la tecnología, ha sobrevivido con éxito a todas las guerras y epidemias imaginables.

La aparición de la fuerza motriz y los conocimientos aportados por la química han alterado todos estos equilibrios, mediante una carrera desenfrenada hacia la productividad expresada en volumen. La “**memoria**” del suelo, por ser inmensa, le hizo acusar el golpe, pero sólo en las condiciones más favorables. En otros sitios, sucedió la catástrofe. Si tal cosa no sucede aún, ya se está perfilando en el horizonte; no es que no seamos capaces de soslayar esta situación gracias a la técnica, es que será la economía quien pague las consecuencias. Todo está listo para un retorno a las guerras tribales, al hambre y a las epidemias gigantescas.

Ha sido de esta manera como hemos querido apostar para hacer la demostración de que los equilibrios microbiológicos del suelo eran el resultado de la historia de la evolución ecológica en medio forestal. La agricultura utilizará, de esta forma, las características físicas y biológicas propias de cada región en un incesante proceso de degradación, para una productividad cada vez mayor, pero cuyo mantenimiento artificial por la técnica alcanza costos que la economía soporta cada con más dificultad.

Es devolviendo al suelo la parte más productiva de los árboles del bosque como lograremos equilibrar todas las cadenas tróficas, en las que los elementos nutritivos permanecen cautivos, completamente al abrigo de los ciclos químicos y físico-químicos que, con tanto ardor, medimos desde hace más de un siglo. Es así como entramos en una serie de sistemas de regulación de elementos nutritivos estrictamente de orden biológico. Todas las reglas de la química del suelo quedan trastocadas, los ciclos y los controles se llevan a cabo ya sea por grupos de seres vivos o, simplemente, por cadenas constituidas por varios niveles de vida y, finalmente, por series de enzimas derivados de esta actividad.

Para que estos equilibrios se establezcan tras la "degradación agrícola" hay que proceder a la instalación de todos los mecanismos de **pedogénesis**, es decir, todos aquellos que contribuyen a la constitución del suelo y sus equilibrios de todo tipo. En clima templado, los bajos rendimientos han contribuido a mantener un cierto equilibrio, sobre todo en presencia del complejo arcilla-humus, bien estructurado. En clima tropical, lo más frecuente en un medio forestal, la agricultura de rotación corta cultivo-bosque es la que mejor ha protegido estos equilibrios. La tala de los árboles y el cultivo industrial constituyen una catástrofe sin nombre, de la que empezamos solamente a medir los efectos.

Ahora reconocemos que los suelos tropicales son relativamente pobres en elementos nutritivos, por razones que nos parecen hoy evidentes. La gran diversidad biológica en microorganismos y la energía disponible impedirían el crecimiento de la vegetación superior, si los nutrientes no estuvieran almacenados en las ramas, más que en el mismo suelo. Recientes estudios realizados en la selva amazónica de muestran que todos los tipos de microorganismos viven igualmente en la cubierta de copas, pero en equilibrio con el soporte que es ahora estrictamente vegetal: las ramas de los grandes árboles y sus hojas.

A la luz de estos enunciados, se comprende más fácilmente por qué, cuando se reincorporan las ramas al suelo se obtienen rendimientos que nos asombran a veces. Nosotros cerramos un ciclo que la naturaleza se abstiene de hacerlo. Hay que preparar estas ramas para un ataque masivo por parte de los microorganismos y, particularmente, aquellos de una familia de hongos llamados **Basidiomicetos**. Los elementos nutritivos contenidos en la MRF (madera rameal fragmentada), pasarán directamente a la masa de los hongos, de las bacterias, de los protozoos, de las algas y así sucesivamente, más bien que a la solución del suelo. Quiero hacer hincapié aquí en que estos hongos son los más importantes, no las bacterias como es el caso en los compost.

El primer mecanismo implicado será, pues, la constitución de cadenas tróficas mientras que el segundo será la despolimerización de la lignina en dos componentes mayores: los ácidos húmicos y fúlvicos. No se trata de mecanismos de degradación, como muchos autores han pretendido hasta ahora bajo la óptica de la **mineralización**. Así pues, el ácido húmico derivado de la lignina es el primer constituyente de los agregados del suelo que, en presencia de la arcilla, forma este complejo arcilla-humus responsable de la estabilidad y la fertilidad de los suelos. En clima tropical, los agregados formados son, a su vez, rápidamente metabolizados permitiendo la concentración de los elementos nutritivos en las partes verdes de las plantas.

Son los hongos Basidiomicetos y la despolimerización de la lignina, no su degradación, quienes hacen la MRF sea capaz de inducir los mecanismos básicos que rigen la **pedogénesis**, es decir, la creación y el mantenimiento de un suelo y de aumentar su contenido en energía y en elementos nutritivos asimilables por las plantas. Se trata de un **proceso entrópico** de oriegn forestal que nada tiene en común con las **técnicas entálpicas** actuales propias a la agricultura.

Fundamentalmente, **la transformación de la lignina es el punto en torno al cual gira toda la pedogénesis**. Su estructura química permitirá a otros mecanismos auxiliares producir mayores efectos, como la quelación del hierro y la producción de polifenoles así como sobre los mecanismos de podzolización o laterización, en ciertos casos.

La utilización de la MRF permitirá, pues, provocar y mantener suelos forestales en medios agrícolas y controlar su fertilidad y la estructura durante largos períodos: es como **la agricultura forestal sin árboles o el verdadero sector agroforestal**, la propia base del **desarrollo duradero**, tan buscado y con razón.

LA INTERPRETACION DEL EFECTO DE LA MRF SOBRE EL SUELO EXIGE CAMBIOS FUNDAMENTALES.

Si bien la regulación de los nutrientes es bien conocida en clima templado, no parece ocurrir lo mismo en clima tropical, lo que explicaría los sucesivos fracasos y la pobreza endémica de la mayoría de los habitantes de este planeta.

En clima templado, y solamente en presencia de depósitos finos de arcilla o limo, la regulación de los nutrientes queda asegurada, sobre todo, gracias al complejo arcilla-humus. Incluso bajo las mejores condiciones climáticas, la ausencia de este complejo conlleva repercusiones mayores sobre la población y la economía locales. Aunque las especies forestales precedentes hayan sido muy productivas, la productividad agrícola disminuye. Hay una falta de lógica fundamental que nosotros atribuimos tanto a la ignorancia como a las deficiencias técnicas.

Es necesario admitir, pues, que los aumentos de rendimiento, las modificaciones en la estructura del suelo, la utilización del agua y una reducción de parásitos y enfermedades, durante varios años y diversas condiciones climáticas, deben tener una profunda significación. En clima tropical se admite que los suelos bajo cubierta forestal son de mala calidad para las necesidades agrícolas. Sacamos, entonces, la conclusión de que si la productividad forestal es buena es porque las nutrientes se encuentran alojados en las mismas plantas y, en particular, en la cima de los árboles, el lugar inmediato de la fotosíntesis.

Esta hipótesis ha sido corroborada por la experimentación de Notto en Senegal, desde 1993, con un espectacular aumento de la producción de frutos de tomate amargo, *Solanum oethiopicum*, con la desaparición total de la fauna de nemátodos a nivel radicular. El segundo año, la cosecha dobló aún con la puesta en circulación de los nutrientes de la MRF de *Casuarina equisetifolia*. La experiencia fue repetida en Costa de Marfil con MRF procedente de distintas especies de hoja caduca: los resultados, en términos de materia seca, son del mismo orden, es decir, superiores a los del maíz.

La reticencia que hemos encontrado, y que aún sentimos, proviene, sin duda, de un error de interpretación de los mecanismos en juego y en los que la lignina de las caducifolias y la biomasa microbiana constituyen el motor. La agricultura actual se basa exclusi-

vamente en la mineralización. Es la interpretación que se hace de la acción del compost y del estiércol. Con la MRF aportamos otra realidad muy distinta, mucho más importante y omnipresente, la de la pedogénesis, que pone en su sitio a todos los mecanismos biológicos y nutritivos. Esto nos permite "cebar la bomba" hacia una rectificación autoregulada, un instrumento para el hombre, según sus necesidades y sin igual hasta hoy.

Nos es necesario admitir que es la humificación de las cadenas tróficas inducidas la base de la fertilidad a corto, medio y largo plazo. Es el complejo **biomasa microbiana-humus** estable quien rige la disponibilidad de los nutrientes, así como su dosificación apropiada para el crecimiento de la vegetación. En clima tropical, sería el complejo **biomasa microbiana-vegetación leñosa arborescente**.

Actualmente estamos en condiciones de mantener que la lignina de las caducifolias es más apta para estructurar los suelos y añadirles la energía necesaria para **constitución de cadenas tróficas capaces de regular cuali y cuantitativamente el flujo de nutrientes**. De la biomasa microbiana, creemos que son los Basidiomicetos los más importantes en la depolimerización de la lignina, que dará lugar a la formación de los ácidos húmicos y fúlvicos que son la base de la estructuración física y química del humus, primera fuente energética del suelo.

Por tanto, pensamos que el futuro reposa sobre una agricultura practicada sobre suelos forestales, sin la presencia de árboles; estos últimos pueden cultivarse únicamente para la producción de MRF. He aquí una afirmación que el comienzo de nuestros trabajos no nos permitía, en absoluto, formular.

Enunciamos aquí los fundamentos de una ley universal que vale tanto para el bosque como para la agricultura: **la dinámica de los nutrientes se lleva a cabo por medio de la biomasa microbiana controlada por la lignina y sus derivados**.

Como corolario a esta ley, proponemos que **los suelos agrícolas están regidos por los mecanismos forestales fundamentales los cuales giran en torno a la lignina y sus derivados**.

PROPOSICIONES CONCRETAS

Bajo la óptica deseada y deseable del desarrollo duradero, que nosotros hemos calificado, más bien, de **ecoviabilidad**, nos parece que

ha llegado el momento de dar paso a las técnicas más adaptadas, a través de la **biodiversidad** que todos buscamos.

Los mecanismos que acabo de exponer son la base misma de la ecoviabilidad y la biodiversidad, siendo así que habíamos puesto el énfasis sobre la productividad, por alto que fuere su precio, la uniformidad y el volumen. No debería existir incompatibilidad entre la ecoviabilidad y la productividad, con tal de que comprendamos todas sus implicaciones.

De la misma forma que el bosque, al alcanzar la fase final en una sucesión vegetativa (clímax), parece eterno, con altos rendimientos, estas características podrían, a bajo coste, ser atribuidas a la agricultura, cuya base fuese la **humificación controlada**, al contrario, precisamente, de lo que sucede actualmente en el mundo, es decir, **mineralización incontrolada**.

Esto nos permite proponer que la agricultura y la dasonomía modernas, tanto en medios tropicales como templados, se rijan por los mecanismos de humificación basados sobre la constitución y el mantenimiento de las cadenas tróficas, en las que la lignina y sus derivados son responsables.

En una etapa inicial, la prioridad debería concederse a la producción de madera rameal, más que a la caulinar tradicional. En clima tropical, sobre todo subsaheliano, la producción debería ser más rápida y producir grandes volúmenes en pocos años, incluso meses. La simplicidad de las técnicas de fragmentación y de molienda, rápidamente asociada a aumentos de rendimientos espectaculares, se propagaría entre la población como fuego en rastrojera. Habría que tomar las medidas para que gran parte de la MRF producida se encamine hacia el sector forestal para aumentar lo más rápidamente posible la instalación de un bosque estable y productivo. Ésa será la misión de los países que ayudan dando y después prestando los fondos y la experiencia necesarios.

Con una serie de **técnicas ganadoras** como las que proponemos, deberían producirse grandes cambios en un plazo de 20 años. Más al sur, donde las precipitaciones son más abundantes, la utilización de especies locales, como fuente de MRF, debería contribuir ampliamente a estabilizar la población, pues de otra forma no sería factible.

Hay que reconocer, cueste lo que cueste, el valor de las plantaciones forestales para la producción de MRF. **Es de absoluta necesidad hacerlo para romper el ciclo infernal de la desertización, de la pobreza y de la inestabilidad física y social de la población.** Para llevarlo a cabo, hay que proceder lo más racionalmente posible y modificar un gran número de criterios de evaluación para la elección de proyectos y la atribución de fondos.

Una de las prioridades es modificar la elección de las especies actualmente favorecidas; dichas especies son utilizadas porque son independientes del suelo degradado, y pueden, no obstante, producir madera. La insistencia en querer hacer plantaciones partiendo de especies de origen australiano, como *Eucalyptus spp.*, *Casaurina equisetifolia*, *Acacia mangium..* debe modificarse ya que estas especies rinden bien en sitios pobres y no poseen ninguna capacidad para mejorar el suelo, ni a medio ni a largo plazo. Hay que proceder a una selección más juiciosa como nos lo indican las experiencias de **Aman y Despatie**, en Bouaké (Costa de Marfil). Es necesario dar rápidamente, por vía experimental, el valor propio de la MRF de las distintas especies según los criterios deseados. **Una codificación de la flora dendrológica indígena y alóctona es un prioridad absoluta**

PLANIFICAR PAUSADAMENTE EL RETORNO DEL BOSQUE Y DE UNA AGRICULTURA SUBSIDIARIA

Me permito insistir aquí sobre la absoluta necesidad de apuntar hacia el retorno del bosque constituido de especies autóctonas, cuya **experiencia** es el fruto de millones de años. De la misma manera que nosotros, dichas especies son, a la vez, muy frágiles e increíblemente robustas, toda la paradoja de la vida sobre la tierra. La reconstitución de un suelo fértil debería permitir un retorno rápido y estable.

El retorno a la **biodiversidad** en los países sahelianos sería un justo retorno de las cosas, ya que parece que el fenómeno actual es parte integrante de la Historia de Africa. Tales esfuerzos estarían de acuerdo con el sentido de la Historia biológica de esta parte del globo. Nosotros pensamos que el uso de técnicas ligadas a la MRF representa la única solución científica y económica aceptable a medio y largo plazo. Puede ser iniciada y proseguida por los propios Africanos con la ayuda de los medios proporcionados o no por los países ricos de este planeta.

La normalización de esta región del mundo no puede hacerse sino reintroduciendo el bosque que desapareció y no mediante plantaciones monoespecíficas. La Historia nos enseña, dolorosamente,

que las técnicas agrícolas desarrolladas en climas templados no son viables en climas tropicales, particularmente sahelianos. Hay que pasar por las horcas caudinas del saber y de la técnica para conocer las razones de nuestra ignorancia. Proponemos, pues, esta técnica simple cuyas resonancias científicas son extremadamente complejas y de un gran realidad!

Hay que invertir las tendencias **entálpicas** de esta parcela del planeta introduciendo en ella por vía técnica y voluntaria las tendencias **entrópicas**, estas leyes de la física que han permitido el desarrollo de nuestro mundo industrial. Hay que reorientar las inversiones de nuestros países desarrollados hacia cosas inéditas, pero de una lógica imperturbable. Es necesario contribuir al aumento de los conocimientos fundamentales específicos de este mundo particular que es el Sahel, sabiendo que contribuimos a las nuestras, ya que la pedogénesis es uno de los fenómenos más importantes de este planeta.

Es preciso conocer la necesidad de crear un organismo embrionario de obediencia internacional, cuyo único fin sería, en una primera fase, unificar a la vez la experiencia científica y la tradicional de las técnicas del suelo relacionadas con los mecanismos químicos y microbiológicos, pero asimismo antropogénicos, en lo tocante a la influencia sobre los climas, las enfermedades del Hombre y de los animales.

El conjunto de estas proposiciones fundamentales no son más que la clave para un cambio. Sería fácil perderla en las arenas de un desierto que ha llamado a la puerta de millones de individuos y que se prepara a hacer cosas aún peores. Cuando pienso en el porvenir de mis hijos en el mundo que nos hemos fabricado, me dan más ganas de llorar que de reír, pero el retorno a la vida de este tesoro universal que es el suelo, me dice que no está todo perdido. Tras la noche llega la luz!

GLOSARIO

- agradación:** neologismo que indica la evolución de un proceso por enriquecimiento, lo inverso de la degradación.
- agregados:** conjunto de partículas ligadas unas a otras por un cemento de origen biológico, la base de la estructura del suelo. Es la base de la dinámica que sirve también de alimento a la vida microbiana.

- agrodasonomía:** técnicas de producción agrícolas bajo cubierta forestal pero, asimismo, sobre suelos agrícolas modificados por MRF.
- alóctono:** que procede de otra parte. Se dice de los árboles de origen extranjero que reemplazan a los árboles indígenas.
- arcilloso-húmico:** complejo que engloba una mezcla de humus y de arcilla, la base de los agregados, ellos mismos responsables de la fertilidad del suelo.
- Basidiomicetos:** familia de hongos con sombrero de la que un gran número son comestibles y crecen en el bosque. Son los principales agentes para la utilización de la lignina, despolimerizándola pero sin romper los núcleos bencénicos.
- bencénicos (núcleos):** se denominan también *ciclos*. Molécula altamente energética relacionada con el benceno. Se los conoce asimismo como núcleos aromáticos.
- biodiversidad:** caracterización de un estado en el que las formas de vida son diversas reinando la armonía entre ellas. Por ejemplo: el bosque de caducifolias es el más diversificado tanto en su fauna como en su flora.
- biomasa microbiana:** conjunto de seres microscópicos que viven en el suelo.
- caducifolio (bosque):** conjunto de árboles Fanerógamos Dicotiledóneos, de hoja caduca o perenne formando un bosque
- climácico:** adjetivo que permite caracterizar todos los fenómenos relacionados con la clímax.
- clímax:** se dice de las comunidades vegetales en equilibrio con todos los factores del medio y que, como tal, se perpetúan.
- compost:** procede de materias orgánicas diversas sometidas al ataque microbiano que destruye su estructura emitiendo calor, y haciendo disponibles los nutrientes para las plantas.
- coníferas (bosque):** Bosque compuesto principalmente de coníferas o resinosas. Por ejemplo: el abetal, el pinar, el cedrero, etc.
- degradación:** conjunto de fenómenos que caracterizan la pérdida de la integridad de una sustancia o de un estado con una reducción de los valores energéticos.
- dendrológica (flora):** conjunto de especies leñosas de un bosque, de un país, etc.
- desechable:** adjetivo que designa todo lo relacionado con los desechos
- desertización:** conjunto de acciones del hombre y de la naturaleza que conducen a la formación de conjunto biológicos inmovilizados por ciertos factores límites, entre los que el agua es el más importante.
- despolimerización:** fenómeno propio de la química orgánica mediante el cual las moléculas se escinden en sus componentes básicos.

- duradero:** término propuesto por las agencias internacionales indicando una tendencia a la perennidad de la producción en armonía con la utilización. Ejemplo: desarrollo duradero, agricultura duradera. Suele emplearse también, como sinónimo, el término sostenible.
- ecosistema:** sistema biológico que permite a los seres vivos de distintos niveles vivir en armonía según ciclos más o menos próximos.
- ecoviabilidad:** neologismo que ilustra la necesidad de la armonía y de los ciclos cerrados con o sin referencia a la productividad en todos los sectores de la vida.
- entalpía:** término propio a la termodinámica que designa la suma de la energía interna sin referencia a su dispersión.
- entropía:** término propio a la termodinámica que califica el estado de desorden de un sistema en evolución hacia otro.
- enzimas:** moléculas de estructura compleja, de origen proteico, que ayudan, aumentan o permiten reacciones que serían muy difíciles, o imposibles, sin ellas.
- estiércol:** designación de la aplicación o de un fertilizante específico. Ejemplo: un estiércol nitrogenado u orgánico, etc.
- fertilizantes:** productos de origen químico u orgánico cuya utilización en agricultura tiene como fin aumentar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos
- flora:** conjunto de plantas autótrofas que caracterizan una secuencia topográfica, una región o un país. Ejemplo: la flora de Quebec, la flora ribereña del San Lorenzo, la flora de las Praderas canadienses. El término se aplica, asimismo, a individuos heterótrofos que poseen un sistema digestivo, como, por ejemplo, la flora de la panza de los bóvidos
- fragmentación:** acción por la cual las ramas se reducen a fragmentos o virutas en carpintería

- fúlvico (ácido):** Uno de los dos ácidos, de bajo peso molecular, producido por la despolimerización de la lignina bajo la acción de la lignoperoxidasa dependiendo del manganeso o de la laccasa producidos por los basidiomicetos. Es uno de los elementos fundamentales en la pedogénesis.
- génico (depósito):** medio biológicamente muy diversificado donde los intercambios y la mutación de genes son posibles, a nivel de microorganismos.

- gramíneas:** plantas de hoja estrecha, pertenecientes a la monocotiledóneas, de las que forman parte la mayoría de las plantas alimentarias. Ejemplo: trigo, maíz, arroz.
- hipogeo:** se refiere a algo que está debajo lo contrario de epigeo, es decir, que está encima.
- húmico (ácido):** compuesto químico, de alto peso molecular originado de la despolimerización de la lignina, principal agente de la pedogénesis.
- humificación:** proceso natural por el que residuos naturales se transforman en humus.
- humus:** sustancia negra o pardocastaña, rico en derivados de la lignina, polifenoles, taninos y nutrientes, que constituye la base en la formación de los suelos, turbas, etc.
- lateritas:** suelo tropical originado por la subida del manto freático a causa de la evaporación que provoca la disociación del hierro, el aluminio y la sílice mediante un proceso llamado ferralización en el que los agentes biológicos juegan un papel muy importante.
- materia orgánica:** término genérico, de una gran ambigüedad que se refiere a los residuos orgánicos en el suelo sin referencia precisa al humus o a la humificación.
- Minamata (enfermedad de):** ciudad del archipiélago nipón que ha dado su nombre a una enfermedad del sistema nervioso causada por la ingestión de productos ricos en derivados orgánicos del mercurio.
- mineralización:** proceso de degradación que permite concentrar los elementos nutritivos químicos bajo la acción de los microorganismos del suelo.
- monocotiledóneas:** grupo de plantas vasculares caracterizadas por la presencia de un solo cotiledón en la germinación de la semilla, y que forman el grupo de las plantas cultivadas más importantes, bajo el punto de vista alimentario. Ejemplo: el trigo, el maíz, el arroz, la avena, la cebada, el centeno, el sorgo, la caña de azúcar, etc.
- monómeros:** molécula orgánica simple que puede dar lugar a complejos por polimerización, es decir, por nuevos enlaces que contribuyen a formar un conjunto en el que esta mo.
- morfología (suelo):** forma que adquiere el suelo a causa de su textura y de su estructura los cuales le confieren propiedades físicas y biológicas particulares.
- MRF:** Madera Rameal Fragmentada. Madera de las ramas, rica en elementos nutrientes, de un diámetro inferior a 7 cm y caracterizada por una lignina joven, poco polimerizada, asociada directamente a sistemas bioquímicos de una gran complejidad, una transición hacia la madera caular (tronco).

- nemátodos:** pequeños animales, las más de las veces microscópicos, del orden de los Nematelmintos, que viven parasitando plantas y animales.
- nutrientes:** conjunto de minerales y productos orgánicos que sirven para el crecimiento de las plantas.
- organo-mercúrico:** compuestos donde el mercurio se asocia a moléculas orgánicas que, con frecuencia, se comportan como poderosos tóxicos para el hombre, actuando sobre el sistema nervioso central.
- pedogénesis:** conjunto de procesos de origen natural que permiten la constitución de un suelo manteniendo las características dentro de una cierta dinámica. Esto permite la regulación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y para el mantenimiento de los equilibrios biológicos hipogeos y epigeos.
- podzoles:** término de origen ruso para caracterizar los suelos que poseen un horizonte color ceniza eluvial, asociada a una hojarasca fibrosa, propia de los bosques de resinosas. Son numerosos los fenómenos químicos, bioquímicos y biológicos que entran en juego.
- polifenoles:** conjunto de compuestos derivados del fenol y formados por núcleos bencénicos.
- quelación:** fenómenos químicos naturales o artificiales que inactivan las moléculas aprisionándolas en un sistema complejo donde no pueden reaccionar.
- química-física:** ciencia que trata, a la vez, la química y la física en las propiedades que les corresponden. Ejemplo: la noción de pH, que mide la disociación de los iones hidrógeno.
- radicular (o radical):** todo lo relativo a las raíces o a su caracterización.
- regeneración:** proceso natural a través del cual la masa arbórea se regenera tanto por vía vegetativa como por plantitas de semilla, en asociación con la vegetación y con la fauna característica.
- trituration:** técnicas que permiten, mediante máquinas especializadas, reducir la madera a partículas; se denomina, también, fragmentación.
- tróficas (cadenas):** término por que se designa el conjunto de plantas y animales que participan en la transformación de los tejidos vegetales y en la transferencia de nutrientes y de la energía del suelo hacia las plantas.
- xérico:** se dice de los medios que muestran una deficiencia en agua disponible para una vida óptima. Estas condiciones son creadas ya sea por el clima, la exposición o la textura y la morfología del suelo.
-

THE BASICS OF THE ECONOMICAL AND SCIENTIFICAL GREEN REVOLUTION OF SAHEL

Abstract

For the last quarter century the boom of knowledge has led to many to frightening conclusions but has also brought hope as never before. A cropping activity at first, agriculture rushed into the high production fields lead by chemistry, physics and physico-chemistry at the end of the last century. The results achieved must be seen as the most important since man has existed on earth. However, the last ten years has shown a threshold from which the economic profitability of techniques is deeply questioned. This is underlined by a decrease in industrial productivity, money value and basic real productivity. Our social and economic problems seem to reflect this reality. We have taken sustainable development as a goal to achieve with regard to renewable resources. By the same token we guess about rules we know very little about while using current models as to make long term predictions. We all agreed upon the fact that this economic collapse was limited to the Third World, since our knowlge and skills was so high, afforded an unbeatable shelter against predictable catastrophies, even if they were taking place in various forms. At the end of the seventies we have explored fields where poverty was flourishing in the face of abundance and wealth. Most of the time one's wealth is seen as abundant precious metals or material of industrial value such as wood and agricultural products. Management of such a common wealth has led us to forget the most important wealth of all: life and all its components. While we thought that scientists were taking care of oceans in order to maintain fertility and productivity, we paid little attention to what we thought to be the best known and humble: the soil. We were stricken by the fact that its biological aspects, in other words the life in all its complexity, were never seriously taken into account; only nutrient and mineralization mechanisms were seriously studied. Our curiosity motivated us to examine more closely the humification process; the universal model for this process is found in forest ecosystems. As time went by, we recognized the relation existing between the canopy and the underlying soil. The scientific discoveries of the last decade have shown the importance of lignin and more spcifically the less polymerized lignin, that generates fertility in forest soils. Twigs and branches having this "young", lignin also contain more than 70% of all the nutrients necessary for plant growth. In addition to chemical nutrients, these branches also contain sugars in many forms, celluloses, hemicelluloses and lignin, with all amino acids, a high number of protein, vitamins, hormones and a large number of enzymes. We have chipped those branches in small pieces those branches, material that was always perceived through the centuries as a symbol of poverty, and mixed the material with agricultural soil or forest litter. Rapidly, yield increases were achieved in agriculture and remarkable effects were noted on germination and regeneration in forestry. We then put forward the hypothesis that this process was universal and established scientific experiments in Africa and the Caribbean Islands. Results achieved were much more important than those under our climatic conditions, giving access to a potential green revolution. It is by the integration of nutrients and energy to the soil and mecanisms allowing food web installation and maintenance that agricultural soils are falling under a "forested" regime.. This puts the "biological production machine" back on its feet with the proper management of water, and nutrient availability, and when necessary, by stopping pollution. The most economical solution with regards to Sahelian Africa is to favour economical production and utilization of Ramial Chipped Wood (**RCW**) from plantations instead of burning or leaving this precious material to rot. Arguments put forward are important and must be taken into account from the social and economical standpoint, for biological, scientific and historic reasons.

LES GERMES ÉCONOMIQUES ET SCIENTIFIQUES DE LA RÉVOLUTION VERTE AU SAHEL

Résumé

L'évolution rapide des connaissances au cours du dernier quart de siècle a conduit à des constatations qui en effraient plus d'un, mais qui apportent des espoirs sans pareil. L'agriculture, d'abord activité de récolte, puis de production, s'est engouffrée dans les sentiers tracés par la chimie, la physique et la physico-chimie au siècle dernier. Les résultats obtenus peuvent être considérés comme les plus importants depuis que notre civilisation existe. Au cours des dernières décennies, les faits nous incitent à comprendre que nous avons atteint un seuil à partir duquel la rentabilité des techniques est mise en cause avec des répercussions sur l'industrie, la valeur des monnaies et la productivité réelle. Les difficultés économiques et sociales que nous subissons en sont la preuve. Nous avons opté pour un développement durable en ce

qui regarde les ressources renouvelables, mais nous nous épuisons en conjectures en prenant les tendances actuelles comme modèle à long terme. Tous ont cru au début que cet effondrement était le lot des pays du sud et que nos connaissances préservaient ceux du nord des catastrophes annoncées, bien que celles-ci prennent forme sous les aspects les plus divers. Ainsi, dès la fin des années 70, n'avons-nous pas exploré des domaines où la pauvreté semble se plaire et se développer, mais en présence de richesses de toutes sortes? Plusieurs ne voient la richesse que sous forme de métaux, précieux ou abondants, d'importance industrielle, tout comme pour les bois et les productions agricoles. La gestion de ces richesses nous a fait collectivement oublier la plus grande de toutes: la vie avec toutes ses composantes. Alors que nous pensions que les scientifiques s'occupaient de la mer pour en maintenir la fertilité et la productivité, nous nous sommes penchés sur ce que nous croyions de plus humble et de mieux connu: le sol. Notre surprise fut totale en constatant que tous les aspects biologiques, c'est-à-dire la vie, même dans toute sa complexité et sa signification, n'avait été prise en considération que d'une manière bien timide, sauf en ce qui regarde la minéralisation et les nutriments. Ceci nous a amené à examiner de plus près le processus d'humification, dont le modèle universel est celui de la forêt. C'est ainsi que nous en sommes venus, au fil des ans, à reconnaître la relation qui existe entre la cime des arbres et le sol sous-jacent. Les découvertes des dix dernières années ont montré l'importance de la lignine, et plus particulièrement celle qui est peu polymérisée, dans la genèse et la fertilité des sols forestiers. En plus d'une forte concentration de nutriments, les rameaux contiennent une énergie considérable sous formes de sucres, celluloses, hémicelluloses et lignines, auxquels s'ajoutent tous les acides aminés et un grand nombre de protéines, vitamines, hormones et enzymes. Nous avons donc imaginé de fragmenter ces rameaux qui, sous toutes les latitudes et de tous les temps, ont été perçus comme le symbole même de la pauvreté et de la déchéance, et de les incorporer au sol ou à la litière, selon que nous sommes en agriculture ou en foresterie. Très rapidement, les résultats se sont manifestés par des augmentations de rendement importantes des produits agricoles et maraîchers, ainsi que par des effets remarquables sur la germination et la régénération en forêt. Ayant émis l'hypothèse que les processus que nous observions devaient être universels, nous entreprîmes des expériences agricoles en Afrique et aux Antilles. Les résultats furent supérieurs à ceux obtenus sous climat tempéré, ouvrant ainsi la porte à une révolution verte que nous n'avions pas prévue au départ. C'est en intégrant au sol l'ensemble des nutriments et les mécanismes impliqués dans la création et le maintien des chaînes trophiques que les sols agricoles passent à un régime «forestier». Ceci remet en activité la «machine biologique de production» en assurant la gestion à la fois des sols, de l'eau et la disponibilité des nutriments, lorsqu'ils sont nécessaires, évitant ainsi le gaspillage et la pollution qui peuvent en découler. La solution la plus économique, en ce qui a trait à l'Afrique sahélienne, nous semble liée à la production économique de bois raméal fragmenté (**BRF**) à partir de plantations, plutôt que de réserver les rameaux au bois de feu ou à l'abandon. Les arguments que nous apporterons sont importants et méritent qu'on s'y attarde du point de vue social et économique, pour des raisons biologiques, scientifiques et historiques.

OS PRINCÍPIOS ECONÓMICOS E CIENTÍFICOS DA REVOLUÇÃO VERDE NO SAHEL

Resumo

A evolução rápida dos conhecimentos no decurso do último quarto de século conduziu a resultados que perturbam algumas pessoas mas que auguram esperanças sem paralelo. A agricultura, antes do mais uma actividade de colheita após a produção, tem sido submersa pelos ditames traçados pela química, pela física e pela fisico-química durante o último século. Os resultados obtidos podem ser considerados como os mais importantes desde o início da nossa civilização. No decurso dos últimos decénios, os factos levam-nos a compreender que atingimos um limiar a partir do qual a rendibilidade das técnicas é posta em causa com repercussões sobre a indústria, o valor das moedas e a produtividade real. As dificuldades económicas e sociais que suportamos são a prova disso. Temos optado por um desenvolvimento sustentável no que respeita aos recursos renováveis, mas esgotamo-nos em conjecturas ao tomarmos as tendências actuais como modelo a longo prazo. Inicialmente, todos pensaram que a derrocada apenas afectava os países do sul e que os nossos conhecimentos preservariam os do norte contra as catástrofes anunciadas, ainda que estas se apresentassem sob as formas mais diversas. Assim, desde o final dos anos 70, não explorámos nós os domínios onde a pobreza medra e se

desenvolve, apesar das riquezas de vária ordem? Muitos não vêem a riqueza senão sob a forma de metais preciosos ou abundantes, de importância industrial, o mesmo se passando em relação às produções florestais e agrícolas. A gestão destas riquezas levou-nos colectivamente a esquecer a maior de todas: a vida com todas as suas componentes. Ainda que pensássemos que os cientistas se ocupavam de tudo para manter a fertilidade e a produtividade, nós estamos inclinados para o que pensávamos ser mais simples e melhor conhecido: o solo. A nossa surpresa foi total ao constatarmos que todos os aspectos biológicos, isto é, a vida, mesmo em toda a sua complexidade e significado, não tinha sido tomada em consideração a não ser de uma forma tímida, salvo no que respeita à mineralização e aos nutrientes. Tal facto levou-nos a examinar com mais cuidado o processo de humificação, cujo modelo universal é o da floresta. É assim que, com o decorrer dos anos, chegámos a reconhecer a relação que existe entre a parte aérea das árvores e o solo subjacente. As descobertas dos dez últimos anos mostraram a importância da lenhina, e mais particularmente da que é pouco polimerizada, na génese e fertilidade dos solos florestais. Além de uma forte concentração de nutrientes, os ramos contêm uma energia considerável sob a forma de açúcares, celuloses, hemiceluloses e lenhinas, aos quais se juntam todos os ácidos aminados e um grande número de proteínas, vitaminas, hormonas e enzimas. Em face disso, resolvemos proceder à fragmentação destes ramos, conhecidos, em todas as latitudes e em todas as épocas, como símbolos da pobreza e da degradação, incorporando os fragmentos correspondentes no solo ou utilizando-os em cobertura, consoante as actividades se desenvolvem no domínio da agricultura ou da floresta. Muito rapidamente, os resultados têm-se manifestado através de importantes aumentos de rendimento em culturas arvenses e hortícolas, bem como de efeitos assinaláveis sobre a germinação de sementes e regeneração da floresta. Tendo formulado a hipótese de que os processos observados deveriam ser universais, procedemos ao estabelecimento de experiências agrícolas em África e nas Antilhas. Os resultados foram superiores aos obtidos em climas temperados, abrindo-se assim a porta a uma revolução verde que não havíamos previsto no início. É através da incorporação no solo do conjunto de nutrientes e através dos mecanismos implicados na criação e na manutenção das cadeias tróficas que os solos agrícolas passam a um regime "florestal". Deste modo, torna-se a pôr em actividade a "máquina biológica da produção", assegurando a gestão simultânea dos solos, da água e da disponibilidade de nutrientes sempre que sejam necessários, evitando-se assim o desperdício e a poluição que poderiam resultar. A solução mais económica, no que respeita à África do Sahel, parece-nos estar ligada à produção económica de aparas de ramos fragmentados (ARF) a partir de plantações em vez de reservar os ramos para queimar ou deixá-los ao abandono. Os argumentos que iremos apresentar são importantes e merecem ser encarados sob o ponto de vista social e económico, por razões biológicas, científicas e históricas.

DIE ÖKONOMISCHEN UND WISSENSCHAFTLISCHEN KEIME DER GRÜNEN REVOLUTION IM SAHEL.

Zusammenfassung

Die schnelle Entwicklung der Kenntnisse in den letzten 25 Jahren hat zu Feststellungen geführt, die so mancher in Angst versetzen, die aber zugleich große Hoffnungen erwecken. Die Landwirtschaft, die ursprünglich nur Ernte war, ist später eine Produktionsaktivität geworden und geht jetzt den von der Chemie, Physik und Physikochemie im letzten Jahrhundert vorgezeichneten Weg. Die erreichten Ergebnisse können als das Wichtigste betrachtet werden, was unsere Zivilisation je erreicht hat. In den letzten Jahrzehnten, zeigten uns die Tatsachen, daß wir eine Schwelle erreicht haben, wo die Rentabilität der Techniken in Frage gestellt werden kann, was natürlich Auswirkungen auf die Industrie, den Wert des Geldes und auf die tatsächliche Produktivität hat. Die ökonomischen und sozialen Schwierigkeiten, die wir durchmachen, sind ein Beweis dafür. Wir haben uns für eine dauerhafte Entwicklung entschieden, was die ersetzbaren Reichtümer betrifft, aber wir verlieren uns in Vermutungen, weil wir die jetzigen Tendenzen als Modell annehmen für das, was auf lange Frist geschehen wird. Anfänglich dachten alle, daß dieser Zusammenbruch das Los der südlichen Länder war und daß unsere Kenntnisse den Norden vor den angekündigten Katastrophen schützen würden, obwohl sie in den verschiedensten Formen auf uns zukommen. So haben wir nicht schon seit Ende der 70=er Jahre Bereiche untersucht, wo Armut anscheinend blüht und gedeiht und dies wo allerlei Reichtümer vorhanden waren? So mancher versteht unter Reichtum nur edle Metalle oder das Vorhandensein von Metallen in großen, industriellen Mengen, was auch für Holz und landwirtschaftliche Produktionen gilt. Die Bewirtschaftung dieser Reichtümer hat uns dazu gebracht den wichtigsten Reichtum zu vergessen nämlich das Leben und all seine

Bestandteile. Während wir dachten, daß die Wissenschaftler sich für die Erhaltung der Fruchtbarkeit und der Produktivität des Meeres einsetzten, haben wir uns für das interessiert, was man für das bescheidenste und best gekannte Element hielt: den Boden. Unsere Überraschung war desto größer, als wir zu der Einsicht kommen mußten, daß alle biologischen Aspekte, d.h. das Leben selbst, in all ihrer Komplexität und in ihrer Bedeutung, nur sehr schüchtern in Betracht gezogen worden war abgesehen von was die Mineralisierung und die Nährstoffe betrifft. Dies hat uns dazu gebracht den Befeuchtungsprozeß, wobei der des Waldes als allgemeines Modell gelten kann, näher zu untersuchen. Es hat im Laufe der Jahre zu der Einsicht geführt, daß es eine Beziehung gibt zwischen den Wipfeln der Bäume und dem darunterliegenden Boden. Die Entdeckungen der letzten 10 Jahre haben die Wichtigkeit des Holzstoffes gezeigt und besonders die des wenig polymerisierten Holzstoffes bei der Entstehung von Waldboden und für seine Fruchtbarkeit. Die Zweige enthalten nicht nur eine große Menge an Nährstoffen, sie sind auch eine wichtige Energiequelle in Form von Zuckerarten, Zellulosen, Hemizellulosen und Ligninen, zu denen noch die Gesamtheit der Aminosäure, eine große Anzahl an Proteinen, Vitaminen, Hormonen und Enzymen hinzukommen. Wir sind also auf die Idee gekommen, diese Zweige, die überall und zu jeder Zeit als Symbol für Armut und Verfall angesehen worden sind, zu zersplittern und sie der Erde oder dem Streu, je nachdem, ob es sich um Landwirtschaft oder Forstwirtschaft handelt, beizumengen. Es kam sehr schnell zu Ergebnissen: eine große Steigerung des Ertrags der Landwirtschafts- und Gemüseprodukte und eine bemerkenswerte Auswirkung auf die Keimfähigkeit und auf die Regeneration des Waldes. Von der Hypothese ausgehend, daß der festgestellte Prozeß universell sein mußte, hat man landwirtschaftliche Untersuchungen in Afrika und den Antillen unternommen. Es kam noch zu besseren Ergebnissen als in der gemäßigten Zone, was den Weg für eine echte grüne Revolution bahnte, die wir anfänglich gar nicht erhofft hatten. Durch Beimengen der Gesamtheit der Nährstoffe an den Boden und Einführung von aktiven Mechanismen die sorgen für die Entstehung und Erhaltung der trofischen Kette wird der Agrarboden von einer "Waldnahrung" profitieren. Dies alles führt zur Wiederbelebung der biologischen Produktionsmaschine und sorgt für die Erhaltung der Böden, des Wassers und das Vorhandensein der Nährstoffe wenn diese benötigt werden und verhütet eine Verschwendung und Verschmutzung, die sonst durch diese Nährstoffe verursacht würden. Die billigste Lösung für den Sahel bietet uns wahrscheinlich die Produktion von zerstücktem Fragmentiertes Zweigholz (**FZH**) aus der Plantage, dies anstatt diese Zweige als Brennholz zu verwenden oder ungebraucht zu lassen. Die Argumente, die wir hervorbringen werden, sind wichtig und verdienen, daß man sie aus biologischen, wissenschaftlichen und historischen Gründen aus sozialen und ökonomischen Standpunkt näher betrachtet.

DE ECONOMISCHE EN WETENSCHAPPELIJKE KIEMEN VAN DE ECOLOGISCHE OMWENTELING IN SAHEL.

Samenvatting

De snelle ontwikkeling van de kennissen in de loop van de laatste 25 jaar heeft tot vaststellingen geleid die meer dan één schrik aanjagen, maar die tevens ongelooflijke hoop gewekt hebben. De landbouw, die zich oorspronkelijk tot het oogsten beperkte en pas later een produktieactiviteit geworden is, is in de laatste eeuw de kant opgegaan van de chemie, de fysica en van de fysische chemie. Het bereikte resultaat kan beschouwd worden als het belangrijkste wat onze beschaving ooit opgebracht heeft. In de loop van de laatste decennia, laten de feiten ons zien dat we een punt bereikt hebben waar de rentabiliteit van de technieken in twijfel getrokken wordt, wat gevolgen heeft op de industrie, de waarde van het geld en op de feitelijke produktiviteit. De economische en sociale moeilijkheden die we ondergaan zijn een bewijs daarvan. Wat de hernieuwbare rijkdommen betreft, hebben we partij gekozen voor een duurzame ontwikkeling maar daarvoor nemen we de huidige tendenzen als werkhypothesen op lange termijn en raken wij in gissingen verloren. Allen dachten eerst dat deze ondergang het lot was van het zuiden en dat onze kennissen ons voor de aankondigde rampen - hoewel ze de meest gevarieerde vormen aanenmen - zouden beschermen. Zo, hebben we niet reeds sinds het einde van de jaren 70 gebieden bestudeerd waar armoede schijnbaar bloeit en gedijt en dat in aanwezigheid van allerlei rijkdommen? Sommigen verstaan onder het woord rijkdommen alleen maar edele metalen of metalen die in grote hoeveelheden voorkomen en bruikbaar in de industrie; hetzelfde geldt voor het hout of de agrarische produktie. De exploitatie van deze rijkdommen heeft ons allen de grootste rijkdom laten vergeten, namelijk het leven en zijn bestanddelen. Terwijl we dachten dat de wetenschappers zorgden voor de instandhouding van de vruchtbaarheid en de produktiviteit van de zee, hebben we ons geïnteresseerd voor wat ons het meest gekende en het meest

bescheidene element scheen te zijn: de bodem. Onze verrassing was des te groter toen we moesten vaststellen dat alle biologische aspecten, d.w.z. het leven, ook in zijn ingewikkeldheid en in zijn betekenis, bijna buiten beschouwing was gebleven, behalve wat de mineralisatie en de nutriënten betreft. Die heeft ons daartoe gebracht het bevochtigingsproces, waarvan het woud voor universeel model staat, nader te bekijken. Dit heeft ons tot het inzicht gebracht dat er een verband bestaat tussen de kruin van de bomen en de onderliggende bodem. De ontdekkingen van de laatste 10 jaar hebben het belang laten zien van de lignine en meer bepaald van de weinig gepolymeriseerde lignine, bij het ontstaan van bosgrond en voor zijn vruchtbaarheid. Niet alleen bevatten de takken een grote concentratie aan nutriënten, ze zijn ook een ongelooflijke energiebron in vorm van suikers, cellulosen, hemicellulosen en ligninen. Daarbij, moet nog de aanwezigheid van al de aminozuren, een groot aantal proteïnen, vitaminen, en enzymen vermeld worden. We zijn dus op het idee gekomen deze takken die steeds en overal als het symbool van armoede en verval worden beschouwd - tot snippers te verkleinen en ze met de aarde of het stro bij te mengen naargelang het de landbouw of de bosbouw betreft. De resultaten lieten niet op zich wachten: het kwam tot een belangrijke toename van het rendement voor wat de agrarische produkten en de groenteteelt aangaat, evenals tot opvallende resultaten voor wat het kiemen en de regeneratie van bossen betreft. Uitgaande van de hypothese dat het waargenomem proces universeel moet zijn, zijn wij met agarische experimenten in Afrika en in de Antillen begonnen. De resultaten waren nog beter dan onder gematigde klimaat, zodat ze als baanbrekend beschouwd konden worden voor een echte "groene revolutie", die alle verwachtingen overtrof. De invoering in de bodem van alle nutriënten en ook van de processen die zorgen voor het scheppen en het instandhouden van de trofische verbindingen leidt tot de overgang voor de landbouwgronden tot een voedingspatroon kenmerkend voor de bosbouw. Dit wakkert de "biologische produktiemachine" weer aan en zorgt voor het beheer van de gronden, van het water en tevens van de nutriënten, alleen wanneer ze nodig zijn, zodat verspilling en pollutie die daarmee anders gepaard gaan kunnen vermeden worden. De goedkoopste oplossing voor Sahelafrika schijnt ons geboden door de economische productie van versnipperd kruinhout uit de beplantingen, in plaats van die takken ongebruikt te laten liggen of als vuurhout te gebruiken. De argumenten waarop we ons zullen beroepen zijn belangrijk en verdienen om biologische, wetenschappelijke en historische redenen vanuit een sociaal en economisch standpunt nader bekeken te worden.

-----+