

Les sols au cœur de la zone critique de la Terre

Par Christian VALENTIN

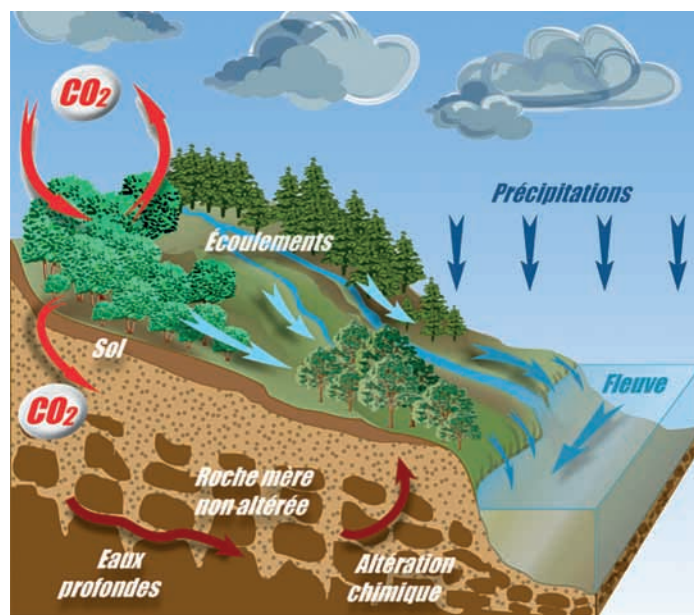
Institut de recherche pour le développement, iEES-Paris, Académie d'Agriculture

Lieux d'échanges d'énergie, d'eau et de matières, les sols constituent le cœur de la zone critique de la Terre. Cette zone correspond à l'« environnement hétérogène et proche de la surface où des interactions complexes impliquant la roche, le sol, l'eau, l'air et les organismes vivants régulent l'habitat naturel et déterminent la disponibilité des ressources biologiques ». Bien qu'à la convergence de trois conventions des Nations Unies – sur la désertification, le climat et la biodiversité –, les sols demeurent largement méconnus du grand public, des décideurs et même de la communauté scientifique, car peu d'enseignements y sont consacrés dans les universités. Ils offrent pourtant des réponses aux grandes questions des dérèglements climatiques, de la sécurité alimentaire et de la réhabilitation des environnements dégradés. Menacés par de nombreuses formes de dégradation (érosion, imperméabilisation, pollution, salinisation...) et grands oubliés des droits français, européen et international, les sols sont l'objet de multiples conflits d'usage (urbanisation, production de produits bio-sourcés non alimentaires, accaparement...).

Qu'est-ce que la zone critique ?

La zone critique est l'« environnement hétérogène et proche de la surface où des interactions complexes impliquant la roche, le sol, l'eau, l'air et les organismes vivants régulent l'habitat naturel et déterminent la disponibilité des ressources biologiques ».

Ce concept a été proposé par des scientifiques américains lassés de voir le sol être perçu uniquement dans sa fonction de production agricole. Ainsi, la classification américaine des sols ne prend en compte que les deux premiers mètres depuis la surface, soit plus ou moins la profondeur d'enracinement du maïs, alors que la quasi-totalité des autres spécialistes considèrent que le sol s'étend jusqu'à la roche saine non altérée, donc jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres. Cette définition, qui est fidèle à celle de Dokoutchaïev ⁽¹⁾, le fondateur russe de la pédologie, a bien été accueillie par la plupart des communautés scientifiques s'intéressant aux sols. Par exemple, en France, un projet Equipex (Critex ⁽²⁾) et une infrastructure de recherche (Ozcar ^(3,4)) regroupent la plupart des organismes de recherche et d'enseignement supérieur autour d'observatoires à long terme de zones critiques allant de petits bassins versants jusqu'à de grands bassins fluviaux (en France et dans des pays du Sud) en passant par les glaciers et l'Antarctique, prenant en compte des écosystèmes particuliers, comme les tourbières et, bien sûr, les nappes phréatiques.



La zone critique.

Source : Institut de physique du globe de Paris.

(1) Vassili Dokoutchaïev (1846-1903) est l'auteur de Tchernozeme (terre noire) de la Russie d'Europe, 1879, Saint-Petersbourg.

(2) <https://www.critex.fr/?lang=fr>

(3) <http://www.insu.cnrs.fr/node/5680>

(4) GAILLARDET J. & ARNAUD N., Libération, 30 juin 2016.

Cette approche permet de décloisonner des disciplines aussi différentes que l'écologie, l'hydrologie, la pédologie, la géologie, la géophysique et la géochimie. Pour mieux attirer l'attention sur ces interactions multiples, une série de six ouvrages destinés à l'enseignement, intitulée « Les sols au cœur de la zone critique », est en cours de publication⁽⁵⁾. Cette zone est considérée comme critique pour l'humanité, car, sans elle, nos sociétés n'auraient pu se développer et se maintenir sur Terre. Ce concept séduit d'autres disciplines. Ainsi, Bruno Latour, philosophe et sociologue des sciences, l'utilise pour aborder les questions posées par l'ère de l'Anthropocène⁽⁶⁾.

Le sol, face cachée – mais essentielle – de notre environnement

Les sols se trouvent à la convergence des trois conventions de l'ONU sur la désertification, le climat et la biodiversité. La dégradation des sols des régions arides, semi-arides et subhumides constitue le cœur de la convention sur la désertification et la dégradation des terres. Le GIEC attache une importance croissante aux sols et à leurs usages⁽⁷⁾. Ceux-ci jouent en effet un rôle important dans les émissions de gaz à effet de serre. De plus, la fonte des pergélisols fait peser la menace d'une émission massive de méthane dans l'atmosphère. Il reste que les sols constituent, après les océans, et devant la végétation, le plus important réservoir de carbone atmosphérique⁽⁸⁾. Dès lors, comme le souligne l'initiative internationale « 4 pour 1 000 »⁽⁹⁾, une modification des pratiques agricoles, notamment une plus grande production de biomasse, devrait permettre de séquestrer dans les sols une partie du CO₂ atmosphérique en excès et réduire ainsi le réchauffement climatique. L'IPBES est en train d'achever un rapport sur la dégradation et la restauration des terres⁽¹⁰⁾. Bien qu'encore largement méconnue, la biodiversité des sols doit représenter environ un quart de la biodiversité terrestre⁽¹¹⁾. Elle comprend à la fois des organismes visibles à l'œil nu (comme les vers de terre, les termites...) et de très nombreux microorganismes (bactéries et virus), dont certains peuvent être pathogènes. Il est à noter, toutefois, que la majorité des antibiotiques connus trouvent leur origine dans des bactéries du sol, y compris la pénicilline et la streptomycine⁽¹²⁾. Par ailleurs, les sols assurent la régulation des grands cycles hydrologiques et biogéochimiques (carbone, azote, phosphore, potassium, soufre, fer), et l'on y trouve de nombreux éléments à l'état de traces. Ils assurent des fonctions tampons pour la température et l'hygrométrie et des fonctions d'épuration et de filtration pour l'eau et les déchets organiques qui sont appelés à jouer un rôle majeur dans l'économie circulaire. Pour les architectes et ingénieurs des travaux publics, les sols s'arrêtent à la profondeur des fondations des bâtiments, mais ils fournissent également des matériaux (argiles, oxydes de fer et de manganèse...). Enfin, l'archéologie montre que les sols conservent une partie des archives de l'humanité. Mais en dépit de tous ces services et fonctions, les sols demeurent le parent pauvre de l'environnement, comme le montre le nombre des occurrences de ce terme sur Google (pour le mot « eau », on obtient 450 millions de réponses ; pour « climat » : 41 millions ;

« biodiversité » : 9 millions ; « air » : 4 millions, mais pour « sol » : 1 million seulement). Alors que les besoins en spécialistes s'avèrent de plus en plus nombreux et diversifiés, notamment pour la dépollution des sols, ce domaine de recherche (la pédologie) reste très peu enseigné. En particulier, il n'existe pas de formation à la caractérisation et à la gestion de la zone critique dans l'ensemble de ses composantes, l'enseignement universitaire demeurant très segmenté entre des disciplines relativement étanches : géologie, hydrologie, écologie...

De nouveaux usages source de conflits

Alors que la FAO rappelle régulièrement que 95 % de notre nourriture est encore produite à partir des sols et que la production agricole doit augmenter de 50 % d'ici à 2050⁽¹³⁾ si nous voulons pouvoir faire face aux besoins alimentaires, la pression sur les terres n'a jamais été aussi forte qu'aujourd'hui. Les causes en sont nombreuses : étalement urbain, nouvelles infrastructures (autoroutes, lignes de chemin de fer, aéroports, mines, champs d'éoliennes, « fermes » solaires...) (14). De plus, une part croissante des terres agricoles n'est plus destinée à l'alimentation, mais à d'autres productions bio-sourcées, d'où l'expansion des plantations de coton, d'hévéas (latex), de différentes plantes agro-énergétiques de première génération (maïs, canne à sucre, palmier à huile...) ou de seconde génération (jatropha, miscanthus, taillis à courte ou à très courte rotation...). Le développement de la chimie verte devrait encore accroître cette pression. Déjà plus de 50 millions d'hectares ont été accaparés dans le monde⁽¹⁵⁾, non pas tant pour la sécurisation de filières alimentaires que pour la production d'agro-carburants et la spéculation foncière. Ces bouleversements, qui s'accompagnent d'une forte menace pesant sur l'agriculture familiale, posent la question de la gouvernance territoriale des terres. À cet égard, le sol est le grand oublié du droit, qu'il s'agisse du droit français, du droit européen ou du droit international⁽¹⁶⁾. Doit-il devenir un bien commun, aux dépens du

(5) Éditions ISTE, Londres. En français et en anglais (parution cette année).

(6) Face à Gaïa, La Découverte, 2015, et <http://www.bruno-latour.fr/node/650>

(7) IPCC (2017), "Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems", https://www.ipcc.ch/report/sr2/pdf/sr2_background_report_final.pdf

(8) Voir, dans ce même numéro de Responsabilité & Environnement, l'article de Pierre Barré.

(9) <https://www.4p1000.org/>

(10) http://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/ldr_pri-mer_en.pdf

(11) DECAËNS T. (2010), "Macroecological patterns in soil communities", Global Ecology and Biogeography, n°19(3), pp. 287-302.

(12) BERTHELIN J., BABEL U. & TOUTAIN F. (2006), "History of soil biology", in WARKENTIN B. (ed.), Foot Prints in the Soil-People and Ideas in Soil History, Elsevier, Amsterdam, pp. 279-306.

(13) <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-2/en/>

(14) Voir l'article suivant (ndlr).

(15) <http://www.landmatrix.org/en/>

(16) Voir, dans ce numéro de Responsabilité & Environnement, l'article de Philippe Billet.

droit privé et de la souveraineté des États ? Le sol peut-il n'être considéré que comme une surface cadastrale, ou doit-il plutôt être considéré comme un volume permettant de multiples échanges d'énergie et de matières (eau, éléments particuliers et dissous) ?

Les sols, une ressource qui se dégrade plus vite qu'elle ne se régénère

S'il est relativement facile d'observer l'artificialisation des terres et la réduction des surfaces agricoles, l'état mondial de la qualité des sols est très mal connu. Les processus de dégradation (réduction des teneurs en carbone organique, érosion, tassement, pertes d'éléments nutritifs, acidification, salinisation, pollutions métalliques et organiques) demeurent difficiles à quantifier. Bien que seulement dressée à dire d'experts, la carte mondiale publiée en 1991⁽¹⁷⁾ reste une référence. Les deux autres tentatives fondées sur la télédétection et la modélisation, sans vérifications sur le terrain, se sont avérées être des échecs. Selon l'approche utilisée, les sols dégradés couvrent de 1 à plus de 6 milliards d'hectares⁽¹⁸⁾, soit l'équivalent de 20 à 100 % de la surface agricole utile mondiale, et de 2 à 12 % des surfaces émergées ! Cette incertitude favorise la surestimation des terres disponibles, notamment pour des usages agricoles non alimentaires (agrocarburants, chimie verte). De plus, ces cartes diffèrent quant à la distribution géographique des terres dégradées, ce qui peut peser dans la définition des priorités pour les politiques de conservation et de réhabilitation. Pour disposer de données fiables, indispensables pour orienter les politiques publiques, il importe de mettre en place un système de suivi régulier de la qualité des sols par des prélèvements, tous les dix ans, selon le modèle français du réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS)⁽¹⁹⁾. Le financement de ce suivi reste toutefois menacé : le dispositif anglais a dû cesser, faute de moyens, après avoir réalisé seulement trois séries de mesures. En Europe, le *Land Use and Coverage Area frame Survey* (LUCAS)⁽²⁰⁾ comporte depuis 2009 une composante d'échantillonnage des 20 premiers centimètres du sol, une nouvelle campagne ayant été effectuée en 2015 et une autre étant prévue en 2018. Au niveau mondial, un tel système s'avère indispensable, mais il requiert une réelle volonté politique. Il est, hélas, plus facile de développer des programmes pour aller sur Mars que de suivre l'état de nos sols...

Alors que d'un siècle à un millénaire sont nécessaires pour produire 1 centimètre de sol, celui-ci peut être érodé en un an, si ce sol reste nu. À cet égard, il est vain de considérer que des plantations d'arbres protègent le sol si celles-ci ne s'accompagnent pas d'un sous-bois et d'une litière permettant d'amortir le choc des gouttes de pluie^(21,22).

Pour répondre à la dégradation des terres, la convention des Nations Unies contre la désertification a proposé récemment le concept de neutralité⁽²³⁾. La réhabilitation⁽²⁴⁾ des sols dégradés exige des efforts et des investissements plus conséquents⁽²⁵⁾ que ceux requis par leur conservation. Celle-ci est possible grâce à des pratiques qui, le plus souvent, ont été abandonnées (association agriculture-élevage, rotations des cultures incluant des

légumineuses, bocage...) au profit d'itinéraires cultureux simplifiés coûteux en énergie et de paysages biologiquement plus pauvres.

Cultures hors-sol, offshore, ou de plein champ ?

La pression exercée sur les terres et leur dégradation poussent à une production agricole de plus en plus urbaine, avec des circuits courts, proche des consommateurs et impliquée dans l'économie circulaire. Ainsi des productions maraîchères se développent-elles sur des technosols constitués de débris urbains et organiques, dont les résultats semblent prometteurs (voir à ce sujet les essais menés sur les toits d'AgroParisTech⁽²⁶⁾). D'ores et déjà, des cultures hydroponiques représentent 70 % des tomates produites en France. La montée des eaux océaniques et la subsidence des deltas peuvent également favoriser une certaine « offshorisation » de l'habitat et des productions alimentaires, auxquelles s'ajoutent des raisons idéologiques et économiques de certains groupes de riches libertariens qui recherchent une totale autarcie énergétique et alimentaire (et fiscale...) sur des îles... artificielles⁽²⁷⁾ !

Il reste que de telles infrastructures (serres hydroponiques, « fermes verticales », îles artificielles) ont un coût très élevé, non seulement de construction⁽²⁸⁾ et d'entre-

(17) <http://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>

(18) GIBBS H. K. & SALMON J. M. (2015), "Mapping the world's degraded lands", *Applied geography*, n°57, pp. 12-21.

(19) <http://acklins.oreans.inra.fr/programme/rmqs/rmqs.php>

(20) ORGIAZZI A., BALLABIO C., PANAGOS P., JONES A. & FERNANDEZ-UGALDE O. (2018), "LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review", *European Journal of Soil Science*.

(21) RIBOLZI O., ÉVRARD O., HUON S., ROUW A., SILVERA N., LATSACHACK K. O., SOULILEUTH B., LEFÈVRE I., PIERRET A., LACOMBE G., SENGTAHEUANGHOUNG O. & VALENTIN C. (2017), "From shifting cultivation to teak plantation: effect on overland flow and sediment yield in a montane tropical catchment", *Scientific Reports* 7(1), p. 3987.

(22) LACOMBE G., VALENTIN C., SOUNYAFONG P., DE ROUW A., SOULILEUTH B., SILVERA N., PIERRET A., SENGTAHEUANGHOUNG O. & RIBOLZI O. (2018), "Linking crop structure, through-fall, soil surface conditions, runoff and soil detachment: 10 land uses analyzed in Northern Laos", *Science of The Total Environment* 616, pp. 1330-1338.

(23) Voir, dans ce numéro de Responsabilité & Environnement, l'article de Monique Barbut.

(24) La restauration des sols vise à rétablir leur état initial, et ce dans toutes ses composantes et fonctions. Elle n'est généralement possible que lors des premières phases de dégradation des sols. La réhabilitation concerne, quant à elle, les sols déjà très dégradés. Elle cherche à inverser la tendance, mais elle n'a en aucun cas pour ambition un retour à l'état initial des sols.

(25) Voir, dans ce numéro de Responsabilité & Environnement, l'article de Corinne Leyval.

(26) GRARD B. J. P., CHENU C., MANOUCHEHRI N., HOUOT S., FRASCARIA-LACOSTE N. & AUBRY C. (2018), "Rooftop farming on urban waste provides many ecosystem services", *Agronomy for Sustainable Development* 38(1), p. 2.

(27) MARRIS E. (2017), "Why fake islands might be a real boon for science", *Nature News* 550, n°7674:22.

(28) Le projet de construction d'une ferme verticale dans le XV^e arrondissement de Paris est estimé à une dizaine de millions d'euros (sans que la surface soit mentionnée).

tien, mais aussi en termes de consommation d'énergie et de recyclage de l'eau. De plus, elles conviennent davantage à la production maraîchère qu'à celle des céréales. Une étude⁽²⁹⁾ fondée sur de nombreux exemples dans des pays du Nord a conclu que leur modèle économique est moins fondé sur la vente de leur production que sur les subventions publiques ou privées et sur le bénévolat.

Dès lors, la production alimentaire de plein champ, bien que menacée par les pressions foncières et les différentes formes de dégradation des sols, est loin d'être condamnée. Les nouvelles pratiques agricoles doivent s'appuyer sur une meilleure connaissance des processus à l'œuvre au sein de la zone critique. Il s'agit non seulement de se fonder sur l'ingénierie écologique⁽³⁰⁾ et sur la biodiversité des sols, mais aussi de prendre en compte l'ensemble des interactions, depuis l'atmosphère jusqu'à la roche et la nappe phréatique, et donc l'ensemble de la zone critique. À titre d'exemple, des racines très pro-

fondes (jusqu'à 32 mètres de profondeur, dans le nord-est de la Thaïlande⁽³¹⁾), dont l'existence même était jusqu'ici ignorée, peuvent puiser de l'eau dans des nappes profondes et absorber des éléments nutritifs libérés par le front d'altération des roches.

(29) CHAPELLE G. & JOLLY C.-E. (2013), « Étude sur la viabilité des business modèles en agriculture urbaine dans les pays du Nord », rapport final de la recherche réalisé pour le compte de l'Institut bruxellois de gestion de l'environnement, http://document.leefmilieu.brussels/opac_css/electfile/etude_agricultureUrbaine_viabilite_Greenloop_avril2013.PDF?langtype=2067

(30) Voir, dans ce numéro de Responsabilité & Environnement, l'article de Luc Abbadie.

(31) PIERRET A., MAEGHT J.-L., CLÉMENT C., MONTOROI J.-P., HARTMANN C. et GONKHAMDEE S. (2016), "Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research", *Annals of Botany*, 118(4), pp. 621-635.

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »
Charles Coquebert, *Journal des mines* n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



Sols en danger : réduire l'artificialisation

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES
FONDÉES EN 1794

Publiées avec le soutien
de l'Institut MinesTélécom

N° 91
JUILLET 2018

Sols en danger : réduire l'artificialisation

03

Introduction

Les sols : préservons ce socle de la vie pour les prochains siècles !

Dominique DRON et André-Jean GUÉRIN

Les enjeux et les rôles des sols dans l'économie du vivant

06

Les sols au cœur de la zone critique de la Terre

Christian VALENTIN

10

Fertilité des sols : la qualité par la vie

Luc ABBADIE

13

L'état des sols en France : l'artificialisation et les autres sources de dégradation

Véronique ANTONI et Marlène KRASZEWSKI

19

Les sols, facteurs d'atténuation ou, au contraire, d'aggravation du changement climatique

Suzanne LUTFALLA, Lauric CÉCILLON et Pierre BARRÉ

24

Le statut juridique des sols face à l'artificialisation : état des lieux et perspectives

Philippe BILLET

Les réponses des États à l'artificialisation des sols

29

Orientations et outils de gestion de la consommation d'espace au plan national

Laetitia CONREAU-MANTZIARAS et

Hélène FAUCHER

34

Les friches industrielles : une nouvelle ressource secondaire ?

Philippe MERLE et Jean-Luc PERRIN

38

Favoriser la réutilisation des friches commerciales

Michel VALDIGUIÉ et Philippe SCHMIT

41

La fiscalité peut-elle contribuer à limiter l'artificialisation des sols ?

Guillaume SAINTENY

47

Avis du CESE (du 13 mai 2015) : « La bonne gestion des sols agricoles, un enjeu de société »

Cécile CLAVEIROLE

51

La réhabilitation des terres dégradées dans les zones sèches

Monique BARBUT

Article incluant l'encadré « La restauration de la qualité des sols agricoles en Afrique : l'agroforesterie par les arbres fertilisateurs au Togo », rédigé par Bruno

DEVRESSE

Actions locales ou privées contre l'artificialisation des sols

56

La consommation d'espaces naturels en Île-de-France : bilan, enjeux, outils

Martin OMHOVÈRE et Martin WOLF

62

Préserver la terre, stimuler l'activité agricole : 30 ans d'aménagement et d'urbanisme dans le département des Bouches-du-Rhône

Marc BEAUCHAIN

68

Quelle gouvernance pour les relations des villes avec leur *hinterland* ?

Fabienne TROLARD et Guilhem BOURRIÉ

74

Réduire l'étalement urbain : mission (im)possible ?

Christian GARNIER

82

Après la remédiation, le double enjeu de la restauration et de la requalification des sols

Corinne LEYVAL

86 Traductions des résumés

90 Biographies des auteurs

Le dossier est coordonné par Dominique DRON et André-Jean GUÉRIN

UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES MINES**
FONDÉES EN 1794

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

ISSN : 1268-4783

Série trimestrielle • n°91 - juillet 2018

Rédaction

Conseil général de l'Économie, de l'Industrie,
de l'Énergie et des Technologies, Ministère de
l'Économie et des Finances
120, rue de Bercy - Télédock 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

François Valérian
Rédacteur en chef

Gérard Comby
Secrétaire général

Delphine Mantienne
Secrétaire générale adjointe

Liliane Crapanzano
Relectrice

Myriam Michaux
Webmestre

Membres du Comité de Rédaction

Pierre Couveinhes
Président du Comité de rédaction
Ingénieur général des Mines honoraires

Pierre Amouyel
Ingénieur général des Mines honoraire, honoraire

Paul-Henri Bourrelrier
Ingénieur général des Mines honoraire, Association
française pour la prévention des catastrophes naturelles

Mireille Campana
Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie
Haut fonctionnaire de développement durable

Dominique Dron
Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

Pascal Dupuis
Chef du service du climat et de l'efficacité énergétique,
Direction générale de l'énergie et du climat, MTES

Jérôme Goellner
Chef du service des risques technologiques,
Direction générale de la prévention des risques, MTES

Jean-Luc Laurent

Richard Lavergne

Conseil général de l'Économie
Ministère de l'Économie et des Finances

Philippe Saint Raymond

Ingénieur général des Mines honoraire

Bruno Sauvalle

Ingénieur en chef des Mines, Mines ParisTech

Jacques Serris

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

Claire Tutenuit

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EPE)

François Valérian

Rédacteur en chef des Annales des Mines

Photo de couverture :

Retour des bleuets et des coquelicots dans un champ
de blé en Allemagne.

Ph. © Berndt Fischer/BIOSPHOTO.

Iconographie

Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

Editeur Délégué :

FFE - 15 rue des Sablons 75116 PARIS - www.ffe.fr

Fabrication : Aïda Pereira

aïda.pereira@belvederecom.fr - 01 53 36 20 46

Régie publicitaire : Belvédère Com

Directeur de la publicité : Bruno Slama - 01 40 09 66 17

bruno.slama@belvederecom.fr

N°ISSN : 1268-4783

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. »
correspond à des documents ou photographies pour lesquels
nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées
infructueuses.