

Atelier 11 : interface entre la basse atmosphère et les surfaces continentales

L'interface entre l'atmosphère et les surfaces continentales est un lieu d'échanges importants d'énergie et de matière liquide, solide ou gazeuse. Il s'y déroule des processus spécifiques qui nécessitent d'étudier cette interface en tant qu'objet propre et non comme un simple lieu de transfert.

La complexité particulière liée à l'analyse des échanges entre surface et atmosphère vient en grande partie des hétérogénéités spatiales de la surface (en nature, en couverture, en type d'usage...). En fait dès que l'on s'éloigne de l'échelle intra-parcellaire, seule échelle pour laquelle la mesure directe de ces échanges est possible, la difficulté d'intégration à des échelles plus larges de ces hétérogénéités limite notre capacité à décrire l'évolution biologique, physique ou chimique des milieux continentaux. En effet, pour les échelles supérieures (parcelles, sub-régionale, régionale, continentale voire globale), les effets de ces hétérogénéités doivent être intégrés sans que l'on connaisse toujours parfaitement les lois, processus, fonctions de moyennage... permettant d'effectuer ces intégrations. Au côté de cette hétérogénéité spatiale, les surfaces évoluent également au cours du temps (notamment en terme d'organisation du paysage) et cette dynamique, qui peut induire des modifications de flux et/ou de fonctionnement qui doivent bien évidemment être également prises en compte.

Si la fluidité du milieu atmosphérique le rend plus homogène spatialement que les surfaces continentales, cette fluidité induit une autre source de complexité liée à une variabilité temporelle très forte de ses grandeurs caractéristiques, tant à basse qu'à haute fréquences, notamment en raison des processus turbulents. Cette variabilité impose donc une attention toute particulière à l'étude des processus rapides qu'ils soient météorologiques (comme les orages ou les coups de vent) ou chimiques.

Cet ensemble de complexités fait qu'aujourd'hui, la façon dont nous pouvons décrire les interactions entre les surfaces continentales et l'atmosphère reste un des principaux facteurs limitant notre compréhension de l'évolution de l'environnement, du climat et des cycles biogéochimiques. Par ailleurs, ces interactions sont mal prises en compte dans les modèles régionaux et globaux qu'ils soient climatiques ou biogéochimiques.

Les surfaces continentales sont par ailleurs le lieu de vie des populations humaines. Elles sont en particulier le lieu de production de la plus grande partie de l'alimentation et celui où est concentré la totalité de l'habitat. Face à une démographie croissante, les surfaces continentales ont donc subi au cours du temps (et notamment lors du passé récent) des modifications profondes de nature, de structure et/ou de fonction, avec des effets avérés sur le fonctionnement du système terrestre aussi bien aux échelles locales et régionales que globales. De plus, les rejets liés aux activités humaines ont conduit à une modification significative de la composition de l'atmosphère, de l'eau et des sols, avec un surcroît notable en espèces-trace (gaz à effet de serre, polluants toxiques, perturbateurs endocriniens...). La conséquence en est d'une part, une évolution du climat, c'est-à-dire des flux d'énergie et d'eau en surface, et d'autre part, une évolution des services écosystémiques rendus par les sols et plus largement la zone critique.

Comprendre et quantifier ces évolutions et leurs interactions est un enjeu de premier ordre pour essayer d'anticiper au mieux les conséquences de nouvelles et futures évolutions des surfaces

continentales, que ce soit sous l'effet du climat ou de la pression anthropique. Rétroactivement, l'effet des modifications d'organisation du paysage et le fonctionnement qui en découle (flux d'énergie, gaz à effet de serre et d'espèces-trace) sur le climat et les cycles biogéochimiques, tant à court qu'à long terme doit être évalué. Pour cela, les interactions surfaces continentales (y compris la cryosphère) /atmosphère et les processus qui les pilotent, tant dans leur dimension naturelle que perturbée, doivent faire l'objet d'une attention accrue. On s'attachera en particulier à identifier les processus aux interfaces dans le système/continuum sol-eau-plante-atmosphère. Des verrous devront être levés en ce qui concerne les changements d'échelle via le développement d'outils de modélisation adaptés et/ou de télédétection.

De façon générale, les principales questions d'intérêt concernent l'évaluation des rôles respectifs du changement climatique d'une part et de l'usage des sols d'autre part sur les modifications des flux entrants et sortants d'énergie, d'eau et d'espèces-trace gazeuses, dissoutes ou particulaires (notamment en zones agro-pastorales et urbaines).

De nombreux challenges demeurent tant en ce qui concerne l'identification de certains processus que la quantification de flux atmosphériques « entrant » et « sortant » sur les surfaces continentales (quantification des émissions, dépôts secs et occultes de contaminants mais aussi de nutriments). Les couplages de modèles «transport atmosphérique/dépôt atmosphérique/transfert au travers du couvert végétal/transfert au sein des sols/impact sur les écosystèmes » constituent un des grands défis des prochaines décennies si nous voulons être à même de prédire le rôle des changements climatiques et autres impacts anthropiques sur les surfaces continentales.

Les bactéries du sol jouent un rôle clé dans les échanges d'azote avec l'atmosphère. En effet, certaines bactéries ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique en opérant une réduction de celui-ci sous forme d'ammoniac. Des bactéries nitrifiantes vont ensuite transformer celui-ci en nitrates assimilables par la végétation. Lorsqu'ils ne sont pas recyclés, ces nitrates sont ensuite décomposés par les bactéries anaérobies du sol et cette décomposition conduit au retour dans l'atmosphère de l'azote sous la forme de divers composés azotés : azote moléculaire, protoxyde d'azote (N_2O , un puissant gaz à effet de serre) et, pour une plus petite fraction sous forme d'oxydes d'azote ($NO_x=NO + NO_2$). Les échanges d'azote entre l'atmosphère et le sol sont très importants et les émissions naturelles de NO_x sont, quant à elles, environ dix fois supérieures à celles résultant des activités humaines (chauffage, transport...). Par ailleurs, l'ensemble des plantes vasculaires émet dans l'atmosphère des Composés Organiques Volatils (COV) (principalement isoprène, mono et sesqui-terpènes, etc..). Ces émissions représentent aujourd'hui encore près de 80% des émissions globales de COV dans l'atmosphère. Ces composés, très réactifs, contribuent très fortement d'une part à la formation d'ozone et d'autre part à la formation d'aérosols organiques secondaires. Les déterminants de ces échanges devront être mieux identifiés et quantifiés et leur évolution dans le contexte des changements globaux devra être estimée.

L'érosion éolienne des sols est responsable de la majeure partie des particules injectées dans l'atmosphère (1.5 milliards de tonnes par an), quantité très largement supérieure à l'ensemble des émissions anthropiques de particules (<300 millions de tonnes par an). Cette érosion éolienne a, dans les régions-source, des conséquences significatives sur la qualité de la couche superficielle des sols. Par ailleurs, ces aérosols ont des impacts très importants sur le climat, le fonctionnement de certains cycles biogéochimiques et, en zones de retombée, sur l'équilibre de certains écosystèmes terrestre (les systèmes forestiers comme en Amazonie ou les zones de montagne) ou océanique (zones High Nutriments Low Productivity comme l'Océan Austral). Il est aujourd'hui admis que les émissions de poussières depuis les zones arides et semi-arides devraient significativement évoluer dans le futur

puisqu'elles dépendent directement de la vitesse du vent, des précipitations et de la couverture de la surface, autant de paramètres dépendant du climat. Dans ce cadre, les surfaces agricoles et les zones pastorales représentent des sources importantes de particules minérales pour l'atmosphère lorsque le sol est sec, c'est-à-dire dans les zones semi-arides ou en été aux latitudes tempérées. Des travaux récents suggèrent que les modifications des pratiques agricoles dans les pays émergents (mécanisation, introduction d'outils de labour mal adaptés, mise en culture intensive) pourraient dans l'avenir affecter très notablement le contenu de l'atmosphère en aérosol (jusqu'à représenter 50 % des émissions totales de poussières). Les surfaces continentales sont aussi une source anthropique indirecte de polluants atmosphériques (fongicides, herbicides, insecticides, fertilisants...). Pendant l'épandage, en fonction des conditions météorologiques et des modes d'applications, de 25% à 75% des produits phytosanitaires ne se déposent pas sur les aires traitées. Ce taux peut même atteindre jusqu'à 90% sur des sols humides. Les pesticides peuvent donc s'introduire dans l'air lors de l'application (principalement au printemps) mais aussi via leur remobilisation par volatilisation ou sous l'effet du vent après épandage. Ces composés, une fois inhalés sont de nature à affecter la santé humaine et animale. Il n'existe aujourd'hui aucune réglementation concernant la teneur de ces polluants dans l'air bien que la plupart des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) aient décidé de les mesurer.

Un intérêt particulier doit également être porté à l'interface que constitue le milieu urbain au regard des enjeux sociétaux et environnementaux liés à l'urbanisation croissante et à la complexité même de ce milieu du point de vue de ses interactions avec l'atmosphère. Le milieu urbain conduit au phénomène désormais bien connu d'îlot de chaleur, dont l'origine est liée à différents facteurs physiques (présence de matériaux artificiels, morphologie 3D, forte densité de surfaces imperméables, sous-sol remanié) qui modifient la répartition spatiale et temporelle des flux d'énergie dont la restitution vers l'atmosphère influe directement sur la température de l'air et l'humidité et de là, sur d'autres variables du système climatique. À ces modifications liées à la nature des surfaces s'ajoutent les émissions anthropiques directes de chaleur et d'humidité vers l'atmosphère, et de polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère mais aussi sur les surfaces, dans les eaux et les sols urbains. Les mécanismes de transferts à l'origine des flux de chaleur et de polluants urbains, au sein et entre les différents compartiments de la zone critique (atmosphère-surface-sous-sol) sont très complexes du fait de l'hétérogénéité de ce milieu où coexistent des éléments construits et des éléments naturels (eau ou végétation). Comprendre leur rôle respectif sur les échanges d'énergie et l'impact sur le climat urbain nécessite d'aborder le problème sous un aspect multi-échelles et multi-processus intégrant les différents compartiments. La végétation, par exemple, fait partie intégrante des stratégies actuelles d'adaptation de la ville aux divers changements (climatique, modes de vie, croissance de la population et gestion des espaces, demande énergétique, gestion des eaux pluviales), mais est elle-même directement impactée par les facteurs environnants (microclimat local, composition des sols, ressources en eau, pollution atmosphérique de proximité). Le fonctionnement de la végétation urbaine mérite donc une attention particulière afin d'évaluer d'une part ses bénéfices en termes de régulation thermique ou de dispositif alternatif à la gestion des eaux de pluie, d'autre part les effets potentiellement néfastes induits par l'émission des pollens. La compréhension du devenir des particules biologiques et des polluants anthropiques émis au sein du tissu urbain trouve tout son intérêt dans le cadre de la protection du patrimoine bâti, de la préservation de la biodiversité et de la santé des populations. Pour avancer sur ces questions, l'effort devrait porter sur l'observation et le suivi des polluants dans les différents compartiments air, eau et sols, appuyée par des modélisations fines de dispersion atmosphérique au sein du tissu urbain, et sur la modélisation des transferts entre ces compartiments.

