

Etude des variations de l'intensité d'ionisation « α » et « γ » au voisinage du sol

Par PHILIPPE GREVET, *Laboratoire de Physique des Nuages et d'Electricité Atmosphérique,
Faculté des Sciences, Paris*

(Manuscrit reçu le 17 octobre, 1965)

ABSTRACT

We plan to consider the variations of ionization produced in the air, near the ground, by the radiations “ α ” and “ γ ”. The equipment we used consists of two chambers of 120 liters: one, hermetically sealed, detects the component γ ; the other, with circulation of ambient air, detect α plus γ , which gives the possibility to estimate per difference, the component α . The chambers and the electronic measuring devices have been designed for permanent operation in open air. Another chamber, without wall, permits also to estimate directly the total intensity of ionization and to deduct from it an approximate value of component β . Series of recordings have been made around Saclay where natural radioactivity is at an average level and also where the level of radioactivity is either low or high (near the sea and in the mining branch of the E.A.C.). It is thus possible to make visible the variations of the component γ in function of the location where the measurements take place (from 3.7 to 6.3 I/cm³·s) and the very great variations of component α at the same identical location (for instance, from 1.5 to 45 I/cm³·s at Saclay). It is then possible to show that the variations of this component are accurately tied to the values of different meteorological parameters: rain, fog, pressure, wind and gradient of temperature.

1. Principe et appareils de mesure

L'appareillage mis au point pour étudier les variations de l'ionisation produite dans l'air, au voisinage du sol, par les rayonnements α et γ , est basé sur l'utilisation de deux chambres d'ionisation et des montages électroniques associés fonctionnant en permanence. Une autre chambre sans paroi permet par ailleurs d'évaluer directement l'intensité totale d'ionisation et d'en déduire une valeur approchée de la composante β . Le choix de la méthode de séparation des différentes composantes et les caractéristiques des chambres sont basés sur le fait que l'on ne peut isoler presque parfaitement que la composante γ . La mesure dite « $\alpha + \gamma$ » est faite avec une chambre identique à celle utilisée pour la détermination de γ seul ce qui permet par déduction d'évaluer la composante α .

1.1. Intensité d'ionisation γ

Le volume de la chambre d'ionisation permet d'avoir une bonne sensibilité. En effet le courant mesuré par un électromètre à condensateur vibrant est théoriquement dans ce cas de 1,92 10^{-14} ampère par I/cm³·s aux corrections près d'étalonnage.

L'enceinte est définie par une paroi d'aluminium de 2,5 mm d'épaisseur justifiée par la nécessité d'absorber les rayonnements α et β extérieurs et par la résistance mécanique et l'étanchéité nécessaires pour s'assurer que l'air contenu dans la chambre demeure inactif. Par contre il y a alors une absorption possible des rayonnements γ ce qui nous a conduit à considérer l'énergie des photons émis par les produits radioactifs naturels dont on peut avoir à mesurer les effets. Or il s'agit en majeure partie d'énergies comprises entre 140 keV et 2,5 MeV pour lesquelles le phénomène d'absorption est produit par effet Compton. On peut alors penser qu'il y a pratiquement une compensation entre la diminution du pouvoir ionisant des photons diffusés et l'augmentation d'ionisation apportée par des électrons secondaires. Cela a pu être vérifié expérimentalement à l'aide d'une chambre sans paroi, en utilisant des sources radioactives d'énergies différentes avec et sans interposition d'une paroi d'aluminium. D'autre part, pour la faible proportion de rayonnements d'énergie comprise entre 30 et 120 keV, l'erreur sera relativement plus faible bien que l'absorption soit plus importante si l'on tient compte

de la valeur de l'ionisation par les photons en fonction de leur énergie (un photon de 70 keV est dix fois moins ionisant qu'un photon de 600 keV). Après étalonnage on a pu définir un rendement moyen de détection des rayonnements γ naturels de 95 % et faire les corrections correspondantes sur les mesures (GREVET, 1965).

L'ionisation spécifique est proportionnelle au nombre de molécules d'air car toute l'énergie des rayonnements γ n'est pas perdue dans le volume de la chambre. Il faut donc toujours tenir compte dans les résultats des conditions réelles de pression et de température de l'air ambiant par rapport à celles de l'air contenu dans l'enceinte, la correction pouvant atteindre 10 %.

1.2. Intensité d'ionisation α

L'intensité d'ionisation créée par l'émission α des produits radioactifs naturels gazeux ou fixés sur les aérosols sera mesurée par circulation de l'air ambiant dans une chambre identique à la précédente. Cela nécessite la détermination simultanée de la tension interélectrodes et du débit de l'air en tenant compte de l'entraînement des ions et de la formation possible de dépôt actif. Il apparaît d'ailleurs que ce dépôt est faible mais comme on ne peut l'éviter, une décontamination périodique des parois est nécessaire lors des mesures.

La paroi absorbe des rayonnements β extérieurs mais on doit estimer la part des émissions β prenant naissance dans la chambre. Pour cela nous sommes partis des mesures de concentration du dépôt actif du radon et du thoron dans l'atmosphère et de la valeur du rapport β/α des activités des aérosols naturels mesurée à Saclay par des appareils du type E.A.R. 600. Il apparaît ainsi que l'ionisation créée par les aérosols émetteurs β introduits dans l'enceinte représente environ 2 % de l'ionisation due aux rayonnements α du radon, du thoron et de leurs produits de désintégration.

La sensibilité de la chambre peut alors être trouvée sans étalonnage expérimental car le parcours des α est faible et toute l'énergie du rayonnement est perdue par ionisation dans le volume. Il faut cependant faire une correction à cause de la présence de la paroi. Celle-ci délimite un volume qui devrait être ionisé non seulement par les rayonnements α prenant naissance dans la chambre mais aussi par ceux ayant leur origine à l'extérieur, au voisinage de

la paroi. Le calcul montre que l'absorption de ces derniers entraîne une erreur de 9 % par défaut.

1.3. Intensité totale d'ionisation

On utilise une chambre cylindrique sans paroi d'un volume plus faible que les précédentes (40 litres). Nous rappelons sommairement son principe, cet appareil ayant fait l'objet d'une étude précédente (GREVET, 1965). L'électrode externe est en fil de cuivre enroulé en hélice autour d'une cage d'écureuil, un grillage de protection réalisé de la même manière étant placé extérieurement à une distance supérieure au parcours des rayonnements α . On a ainsi une surface d'absorption inférieure à 10 % et par là même un effet de paroi pratiquement négligeable et une faible surface offerte au dépôt actif.

Les parois d'extrémité, supports de la chambre, sont constituées de plaques de laiton et d'isolant absorbant les rayons β en provenance de certaines directions. Le calcul de la valeur moyenne de l'angle mort ainsi créé conduit à effectuer une correction de 14,5 % sur la valeur de l'ionisation due aux β , en admettant toutefois que le rayonnement est isotrope.

On peut déduire de l'intensité totale une valeur approchée de l'ionisation β . Celle-ci est toujours très faible par rapport à celle des rayonnements α et γ (environ 10 %) et les erreurs de détermination sur ces derniers ne sont pas négligeables par rapport à la valeur de β .

2. Résultats des mesures

Ce matériel a été utilisé pour effectuer plusieurs séries de mesure aux environs de Saclay où le niveau de radioactivité naturelle est moyen et dans des régions de niveau exceptionnellement faible et exceptionnellement élevé (voisinage de la mer et division minière du C.E.A.). Toutes ces mesures ont été faites en plein air, à une distance suffisante de tout bâtiment, l'axe des chambres étant placé à 1 m du sol.

2.1. Ionisation γ

Les rayonnements γ ont pratiquement leur origine dans le sol. La contribution des aérosols, descendants solides du radon et du thoron, est très faible. Une expérience faite au C.M.A.G.¹ nous a permis de le vérifier : la chambre a été placée sur un socle et entourée sur ses quatre

¹ Centre de Mesures Atmosphériques de Guyancourt.

faces d'une épaisseur de 10 cm de plomb. L'ionisation γ ambiante qui était de 6 I/cm³·s est passée dans ces conditions à 1,9 I/cm³·s. Déduction faite de la part des rayons cosmiques et tenant compte de la géométrie de la surface d'absorption on peut estimer que l'activité de l'air crée au maximum 0,2 I/cm³·s. Il faut cependant faire exception pour la division minière où l'on a pu observer que lorsque le vent soufflait en provenance de la mine, parallèlement à une montée d'activité α on notait une montée d'activité γ en provenance de l'air. Sur tous les autres sites les montées d'activité α , identiques aux précédentes mais produites par exemple lors d'une inversion de température, n'étaient jamais accompagnées du même phénomène en γ , du moins d'une manière sensible pour l'appareillage de mesure.

Tous les résultats énoncés ci-après s'entendent déduction faite de la part attribuée aux rayons cosmiques, soit : 1,7 I/cm³·s (HESS & VANCOUR, 1950; CLAY, 1953; GREVET, 1965; ISRAEL, 1957).

Les variations de l'ionisation γ peuvent être définies à partir de deux critères : 1°) suivant le lieu de mesure (nature géologique du sol différente) par observation directe des résultats; 2°) en fonction des variations de pression et de température en un même lieu, ce que l'on évalue théoriquement.

(a) L'état physique de l'air introduit dans la chambre demeurant identique pour toutes mesures (17°C et 993 mb), on peut faire des comparaisons suivant la nature du sol :

Environs de Saclay	4,3 I/cm ³ ·s
Chatenay-Malabry	3,3
La Hague (bord de mer)	3,65
Villard (division minière)	6,3

Notons que dans le cas d'un vent soufflant de la mine, on se reportera à la représentation graphique des enregistrements (figure 3) qui met en évidence des montées d'ionisation γ à 6,8 et jusqu'à 8,3 I/cm³·s.

(b) Les variations avec la pression et la température en un même lieu sont notables. Entre un été pluvieux (basse pression) et un hiver de froid sec (haute pression) les écarts peuvent être de 12 %. Toutefois ces variations ne sont pas enregistrées directement car la mesure γ impose que l'air introduit dans la chambre soit exempt de radon. Or on ne peut concilier cette condition à celle qui consisterait à maintenir en permanence la pression et la

température identiques à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre.

Remarque. Lors des expériences faites à la station du Centre de Saclay, on a pu fréquemment observer des montées importantes de l'ionisation γ , dues au passage du panache radioactif émis dans l'atmosphère par les piles situées à 800 m du lieu de mesure. Ce panache est essentiellement composé d'argon 41, émetteur β et γ . Cela s'est traduit par des pointes de très courte durée dont l'intensité variait suivant la diffusion du panache, la direction du vent étant bien précise. On a ainsi enregistré des pics correspondant à une augmentation d'ionisation de 5 à 14 I/cm³·s.

2.2. Ionisation β

La chambre utilisée ne nous a pas permis de faire des enregistrements continus mais des mesures de courte durée qui mettent cependant en évidence deux sortes de variations : 1°) locales comme pour l'ionisation γ (nature du sol); 2°) dans le temps comme pour l'ionisation α .

Les valeurs numériques indiquées dans ce paragraphe n'ont qu'un titre indicatif et on ne peut les considérer que comme des ordres de grandeur car l'erreur probable qui les entache est importante ainsi que nous l'avons noté précédemment.

Prenons comme base les mesures effectuées en différents lieux lorsque l'ionisation α est faible (par beau temps, l'après-midi); l'ionisation β de l'air est alors presque négligeable. Les résultats trouvés sont les suivants : C.E.N. Saclay : 0,9 I/cm³·s (en l'absence de rejet des piles); C.M.A.G. : 0,8 I/cm³·s; Chatenay-Malabry et La Hague : très faible et pas mesurable; Villard : 1,2 I/cm³·s.

L'ionisation β créée par les produits de filiation du radon et du thoron dans l'air est faible mais on a remarqué que ses variations suivaient exactement celles des aérosols émetteurs α . Très rarement décelables sauf lors que quelques expériences de nuit où par moyenne et très forte inversion de température on a pu enregistrer au C.M.A.G. : 1,4 et 1,7 I/cm³·s, soit une augmentation de 0,6 à 0,9 I/cm³·s. Dans le cas particulier de la division minière, lorsque le vent soufflait de la mine, le sol étant couvert de neige on a eu des montées allant de 1,5 à 4,2 I/cm³·s.

Les valeurs trouvées peuvent paraître faibles

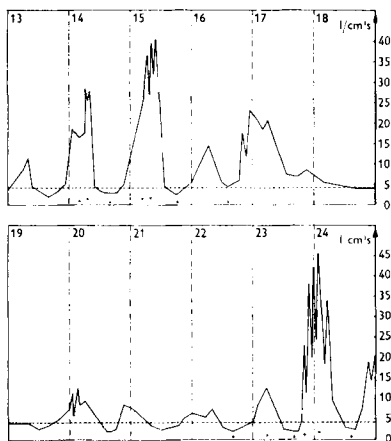


FIG. 1. Intensité d'ionisation α , β et γ , C.M.A.G. Enregistrement continu du 13 au 24/8/64. α :—; β :+; γ :.....

par rapport à celles données par V. F. HESS (1953), pour l'ionisation β au dessus des roches. De ce fait il faut préciser que nos mesures ont été faites à 1 m au dessus d'un sol sans roches apparentes et recouvert d'herbe.

2.3. Ionisation α

Il apparait que si l'ionisation créée dans les basses couches de l'atmosphère par les rayons β , γ et cosmiques représente suivant les endroits de 4 à 8 $I/cm^3 \cdot s$, celle créée par les émanations du radon, du thoron et de leurs produits de désintégration est au minimum de 2 $I/cm^3 \cdot s$ mais elle peut varier dans de très grandes proportions (jusqu'à 50 $I/cm^3 \cdot s$). C'est donc elle qui déterminera les variations de l'intensité totale d'ionisation en un endroit donné.

Nous avons choisi de représenter sur la figure 1 une période d'enregistrement continu de 12 jours qui illustre un certain nombre de cas que l'on est susceptible de rencontrer sur le plateau de Saclay. Plus généralement cela est valable en un lieu éloigné d'une grosse agglomération, possédant les caractéristiques d'une région continentale au relief très peu accusé et au sous-sol de teneur moyenne en produits radioactifs naturels. La figure 2 donne les mêmes variations en un lieu possédant des caractéristiques identiques aux précédentes mais où le sous-sol est riche en uranium.

Toutes les mesures que nous avons effectuées laissent penser que la capacité de dégagement du sol à un endroit précis est constante et que

seuls les paramètres météorologiques sont cause des variations. Il est impossible d'établir une règle précise car les facteurs sont nombreux mais on peut toutefois les classer en deux catégories : 1°) ceux affectant l'émanation propre du sol : les précipitations; 2°) ceux qui pour une émanation donnée modifient la concentration des émetteurs dans les basses couches : pression, vent, brouillard, gradient de température.

Etudions successivement chacun de ces paramètres pour noter leur influence :

(a) Les précipitations; l'émanation du sol se trouve réduite lorsque la terre est détrempée ou couverte de neige. Les autres facteurs météorologiques jouent un rôle minime et l'intensité d'ionisation α sera faible.

— lors d'une longue période de pluie on a noté plusieurs jours de suite au C.M.A.G. une valeur de 1,8 à 2,5 $I/cm^3 \cdot s$

— sur la figure 1, la nuit du 18 au 19, de faibles pluies ramènent à 4 $I/cm^3 \cdot s$ l'ionisation α qui est au moins de 10 $I/cm^3 \cdot s$ les autres nuits. On n'obtient toutefois pas de baisse brutale à un niveau minimum, la pluie ayant eu plus pour effet de lessiver l'atmosphère et donc de réduire la concentration en aérosols que de diminuer notablement le dégagement du sol.

(b) Le brouillard : le dégagement nocturne du radon et du thoron est maintenu dans les premiers mètres au dessus du sol ce qui favorise aussi la concentration des aérosols : au C.M.A.G. : 20 $I/cm^3 \cdot s$ de nuit et 8 $I/cm^3 \cdot s$ de jour; à

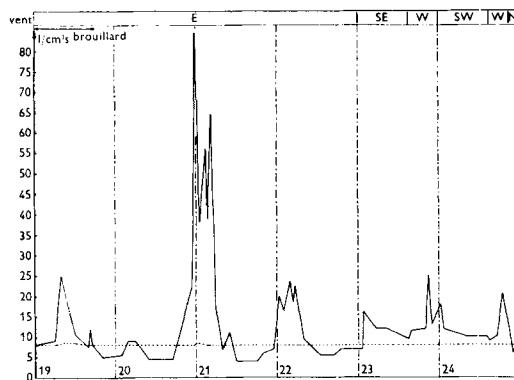


FIG. 2. Station de Villard (mines). Enregistrement continu du 19 au 24/11/64. α :—; γ :.....

Villard (figure 2), le 19 : 25 I/cm³·s par vent d'est.

(c) Pression et température : leur action se limite à celle que l'on a mentionnée pour l'ionisation γ , les concentrations de radon et de thoron variant dans un même volume d'air. L'importance de ces facteurs est ici relativement peu importante par rapport à celle des autres paramètres.

(d) Gradient de température : c'est le paramètre le plus conséquent. Son influence détermine des montées importantes de l'intensité d'ionisation du fait du maintien pendant une durée de plusieurs heures de l'émanation du sol dans les basses couches de l'atmosphère. On a observé une corrélation directe entre l'augmentation d'ionisation et l'inversion de température tant pour l'heure du début et de fin que pour l'importance.

Sur le diagramme de la figure 1 (C.M.A.G.) on remarque ainsi des valeurs de 12; 23; 28,5; 40,5 et 45,5 I/cm³·s liées à l'inversion de température; et sur la figure 2 (Villard) 23,5 et 84,5 I/cm³·s.

(e) Vent : il a d'abord pour conséquence d'effectuer un brassage de l'air par turbulence mécanique et donc de diminuer la concentration. C'est toujours par vent faible ou nul qu'ont eu lieu les montées importantes que nous notions précédemment. Pour les mesures faites au C.M.A.G. (figure 1) on remarque que les pointes sont en dent de scie, chaque minimum correspondant à un souffle d'air (1 m/s au maximum) purement local.

Le vent a une autre conséquence due à sa direction. Il peut en effet y avoir entraînement de masses d'air en provenance d'endroits où le dégagement du radon est différent de celui du lieu de mesure. Ce phénomène n'a pas été observé aux environs de Saclay mais dans les cas particuliers de la division minière et du bord de la mer. Sur la figure 3, on remarque qu'à la station de Villard située à 1 km à vol d'oiseau à l'est de la mine, les vents d'ouest ont un effet important. Ils déterminent des intensités d'ionisation de 30, 40, 58 et 82 I/cm³·s alors que la pluie et la neige limitent en même temps l'émanation du sol sur le lieu même de mesure. Par contre, à La Hague, par fort vent de mer et par temps pluvieux, on a enregistré trois jours de suite de 1 à 1,5 I/cm³·s.

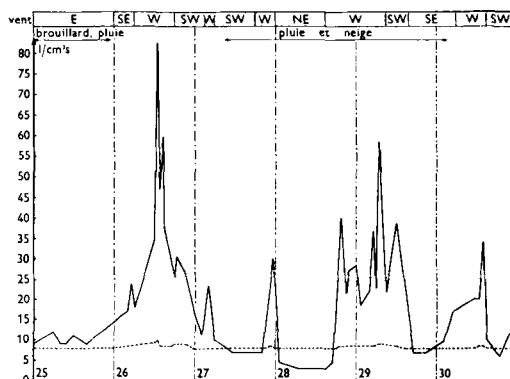


FIG. 3. Station de Villard (mines). Enregistrement continu du 25 au 30/11/64. α :—; γ :----.

2.4. Intensité totale d'ionisation

Il n'est pas possible de faire un bilan précis de l'intensité totale d'ionisation car nous avons vu que les résultats n'auraient alors qu'une signification à la fois locale et temporaire. On peut toutefois donner les valeurs inférieures qui correspondent aux minima enregistrés par beau temps à 16 heures et dans la journée par temps pluvieux. Ce sont ces valeurs qui sont en accord avec les bilans proposés par différents auteurs (HESS & VANCOUR, 1950; HESS, 1953; CLAY, 1953). Les maxima qui ont été mesurés entre minuit et 6 h (sauf à Villard lorsque le vent soufflait de la mine) sont donnés à titre indicatif, toutes les valeurs intermédiaires pouvant être retenues :

	Saclay	La Hague	Villard (vent d'est)	Villard (vent d'ouest)
α	2 (45,5)	1	3 (84,5)	8,2
β	0,8 (1,7)		1,2	4,2
γ	4,3	3,65	6,3 (6,8)	8,3
γ_c	1,7	1,7	1,7	1,7
I_t	8,8 (53,2)	6,4	12,2 (94,2)	96,2

Les variations observées se trouvent être en bon accord avec les résultats des mesures de teneur en radon effectuées à Saclay par d'autres procédés.

La mesure directe de l'intensité totale d'ionisation et la possibilité d'effectuer en parallèle la séparation des différentes composantes à l'aide d'un matériel aisément transportable fonctionnant en plein air trouve son application dans la surveillance au voisinage des sites nucléaires. L'étude détaillée des variations naturelles de

chaque composante permet alors de situer de façon précise ce qui est imputable aux conséquences des paramètres météorologiques et ce qui pourrait provenir d'une contamination radioactive artificielle de la l'atmosphère libre.

Résumé

Nous nous proposons de mesurer la quantité totale de paires d'ions produite dans l'air par unité de temps et de volume. Des enregistrements continus permettent d'étudier les variations à 1 m du sol de l'ionisation due aux rayonnements α et γ . L'appareillage mis au point est formé de deux chambres de 120 litres: l'une hermétiquement fermée détecte la composante γ ; l'autre avec circulation de l'air ambiant détecte « $\alpha + \gamma$ » ce qui permet d'évaluer par différence la composante α . Les chambres et

les dispositifs électroniques associés sont prévus pour fonctionner en permanence, en plein air. Une autre chambre sans paroi sert par ailleurs à mesurer directement l'intensité totale d'ionisation et l'on peut en déduire une valeur approximative de la composante β . Des séries d'enregistrement ont été faites près de Saclay où le niveau de radioactivité naturelle est moyen et dans des régions de niveau faible et élevé (voisinage de la mer et division minière du C.E.A.). On a ainsi mis en évidence les variations de la composante γ en fonction du lieu de mesure (de 3,7 à 6,3 I/cm³·s) et les variations très importantes de la composante α en un même endroit (de 1,5 à 45 I/cm³·s à Saclay par exemple). Pour cette composante on montre alors que les variations sont liées de façon précise à la valeur des différents paramètres météorologiques : pluie, brouillard, pression, vent et gradient de température.

REFERENCES

- CLAY, J., 1953, Ions and condensation nuclei in the atmosphere, balance of ions and value of cosmic radiation at sea-level. *J. of Atmosph. Terrest. Physics*, 3, pp. 132-140.
- GREVET, P., 1965, Mesure de l'intensité totale d'ionisation au voisinage du sol. Séparation des différentes composantes. Thèse, Paris.
- HESS, V. F., 1953, Radon, thoron, and their decays products in the atmosphere. *J. of Atmosph. Terrest. Physics*, 3, pp. 172-177.
- HESS, V. F., PARKINSON, W. D., and MIRANDA, H. A., 1953, Beta ray ionization from the ground. Fordham University, Scientific Report No. 4.
- HESS, V. F., and VANCOUR, R. P., 1950, The ionization balance of the atmosphere. *J. of Atmosph. Terrest. Physics*, 1, pp. 13-25.
- ISRAËL, H., 1957, *Atmosphärische Elektrizität*. Vol. 1, Leipzig.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ « α » И « β » ИОНИЗАЦИИ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Рассматриваются изменения интенсивности ионизации воздуха производимой α и β радиацией вблизи от поверхности земли. Для этого использовалось две 120-литровые камеры: одна, герметически закрытая для определения γ -компонента, другая камера, через которую циркулировал окружающий воздух, для определения α и γ компоненты вместе. Это позволяло оценивать величину α -компоненты, как разность показаний обеих камер. Камеры и электронные измеряющие устройства были сконструированы для постоянной работы на открытом воздухе. Для определения приближенного значения β -компоненты использовалась третья камера без стенок позволявшая непосредственно оценивать полную интенсивность ионизации. Серии

наблюдений были проведены в окрестности Saclay, где естественная радиоактивность имеет средний уровень, и где также имеются места с низкой и высокой радиоактивностью (вблизи от моря и на разрабатываемых отрогах). Можно представить изменения γ и α компонент как функции места измерений. (γ -компонента изменяется от 3,7-6,3 I/cm³ сек., а изменение α -компонент значительно больше, например в Saclay от 1,5 до 45 I/cm³ сек.)

Можно так же показать, что изменения этих компонент связаны с величинами различных метеорологических параметров: дождем, туманом, давлением, ветром и градиентом температуры.