الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

ميدان: علوم طبيعة وحياة

الشعبة: العلوم البيئية

تخصص: بيئة ومحيط

الفصل الخامس

الميزانية الحرارية للأرض

محاضرات خاصة بطلبة السنة الثالثة ليسانس (ل.م.د)

من إعداد الدكتور: خزاني بشير

أستاذ محاضر قسم (أ)

الموسم الجامعي:2022-2023

الفصل الخامس

الميزانية الحرارية للأرض

The Earth's Heat Budget

أولا: تذكير حول طرق انتقال الحرارة

تنتقل الطاقة الحرارية عبر الأجسام والمواد المختلفة عبر الطرق التالية:

1- النقل عن طريق التوصيل Conduction

يمكن لأيّ منا أن يلاحظ بوضوح لو قام بتسخين قضيب معدني بتعريضه للنار، حينها سيجد أن الحرارة تنتقل إلى الأصابع هذا الانتقال للحرارة من خلال القضيب المعدني يسمى الانتقال بواسطة التوصيل.

مع الأخذ في الاعتبار أن هناك أجسام موصلة جيدة للحرارة وأجسام أقل توصيلا للحرارة وما يهمنا في نطاق علم المناخ هو أن نعرف أن الهواء موصل ضعيف للحرارة ولذلك لا يستطيع أحدنا أن يلمس معدن تم تسخينه بالنار، ولكن نستطيع وضع أصابعنا بجواره وبالقرب منه وذلك بسبب ضعف انتقال الحرارة عبر الهواء.

2- النقل عن طريق الحمل الحراري Thermal Convection

الحمل الحراري هو انتقال الحرارة عن طريق نقل الكتلة نفسها ولا يحدث الحمل الحراري إلا في المواد السائلة كالماء والغازية كالهواء بسبب سهولة تحريرهما وتفعيل التيارات خلالهما. والحمل الحراري يحدث بصورة مستمرة في الغلاف الجوي حيث أن بعض المناطق من الأرض تكتسب طاقة حرارية من الشمس بشكل أكبر من مناطق أخرى لعدة أسباب مختلفة.

عندما يسخن سطح الأرض يسخن تبعا لذلك الهواء المجاور لسطح الأرض (انتقال الحرارة من سطح الأرض إلى الهواء المجاور تم بطريقة التوصيل (وعندما يسخن الهواء المجاور لسطح الأرض يتمدد ويصبح أخف وزنا ويصعد إلى الأعلى وعند صعود الهواء إلى أعلى يصل إلى طبقات باردة فيبرد ويثقل ويتمدد أفقيا ثم يهبط ويتجه مرة أخرى نحو المكان الذي يتم فيه التسخين ليصعد مرة أخرى وهكذا تستمر الدورة. وهذه الحركة العمودية للهواء صعودا وهبوطا تسمى في علم المناخ الحمل الحراري.

3- النقل عن طريق الإشعـــــاع Radiation

في الطاقة المنتقلة عبر الإشعاعات ميزة وهي انتقال الحرارة من جسم إلى آخر من دون التأثير على ما يقع بين هذين الجسمين ومثال ذلك لو الإنسان أمام شمس الظهيرة الحارقة فإنه سوف يحس بالحرارة تلفح وجهه رغم أن الهواء بينه وبين الشمس ليس بتلك السخونة.

ماهو الإشعاع ؟

من الثابت علميا أن جميع الأجسام التي تكون درجة حرارتها فوق الصفر المطلق ترسل إشعاعا وهذا الإشعاع ناتج عن نشاط الإلكترونات الموجودة بالملايين في كل جسم. كما أن الأجسام المتعرضة لأشعة الشمس تمتص الحرارة وفي نفس الوقت هذه الأجسام هي مشعة أيضا. إذن هناك **إشعاع** وهناك **امتصاص** وهذا يقودنا إلى الحديث عن التوازن.

Biodimatology 22-23

الأجسام التي تمتص حرارة أكثر مما تشع تسخن والأجسام التي تشع حرارة أكثر مما تمص تبرد، ففي نهار مشمس، الأرض تمتص طاقة حرارية من الشمس أكثر من الطاقة الحرارية التي تشعها ولذلك يسخن سطح الأرض بينما في الليل الأرض تشع طاقة حرارية أكثر من التي تمتصها ولذلك تبرد وكذلك الأمر ينطبق على باقي الأجسام الأخرى، ولو تعادل الإشعاع مع الإمتصاص لبقيت حرارة الجسم كما هي وسبب الإختلاف بين الأجسام في قوة الإشعاع أو قوة الإمتصاص يعود إلى الخواص السطحية للجسم من لون وكثافة ونعومة ورطوبة إضافة إلى درجة حرارته كما أسلفنا.

ثانيا: الإشعاع

1- الإشعاع الشمسي Solar Radiation

1-1 تعريف الإشعاع الشمسي ونصيب الأرض منه:

الإشعاع الشمسي بمعناه العام هو الطاقة الإشعاعية التي تطلقها الشمس في كل الاتجاهات، والتي تستمد منها كل الكواكب التابعة لها وأقمارها كل حرارة أسطحها وأجوائها، وهي طاقة ضخمة جدا يقدرها البعض بنحو 170 ألف حصان لكل متر مربع من سطح الشمس، ولكن الأرض لا يصيبها إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من هذه الطاقة، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي، وهو الذي نقصده عادة عند الكلام على الإشعاع الشمسي كعنصر من عناصر المناخ.

1-2 تركيب الإشعاع الشمسي:

1-2-1 الإشعاع قصير الموجة Shortwave Radiation

وهي أشعة ذات طول موجي قصيرة جدا (أقل من 0.1 ميكرون) كأشعة جاما والأشعة السينية. والتي تستعمل في العديد من الميادين كالطب.

1-2-2 الأشعة ما فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation

وهي الأشعة ذات الموجات الأقصر والتي يقع طول موجاتها بين 0.1 و 0.4 ميكرون (المتر = مليون ميكرون) وتشكل الأشعة فوق البنفسجية حوالي 9 % من مجموع الأشعة الشمسية الواصلة لسطح الغلاف الجوي.

ويعمل غاز الأوزون في طبقة الستراتوسفير على امتصاص الجزء الأكبر من هذه الأشعة القاتلة فلا ينفذ منها إلى الأرض إلا جزءا ضئيلاً جداً ولكنه رغم صغره فإنه يضر بالإنسان إذا ما تعر ض للأشعة فوق البنفسجية لفترة زمنية طويلة وخاصة عندما تكون زاوية الشمس مرتفعة في منتصف النهار بينما تعد الأشعة فوق البنفسجية نافعة إذا ما تعرض لها الإنسان لفترة قصيرة وعندما تكون الشمس مائلة في الصباح أو المساء.

1-2-3 الأشعة المرئية Visible Radiation

تستجيب العين البشرية للأشعة المرئية فتميز ألوان الطيف: البنفسجي والأزرق والأخضر والأصفر والبرتقالي والأحمر، ويتراوح طول موجات الأشعة المرئية من حوالي0.4 إلى 0.7 ميكرون فلكل لون موجات محددة أطولها موجات اللون الأحمر واقصرها اللون البنفسجي وإن طريقة انتشارها أو امتصاصها أو اختلاطها تعطي جميع الألوان التي يراها الإنسان. وتشكل الأشعة الضوئية حوالي 45 % من مجموع الأشعة الشمسية.

1-2-4 الأشعة ما تحت الحمراء Infrared Radiation

Bioclimatology 2023

وهي الأشعة الشمسية التي يتراوح طول موجاتها 0.8- 3.2 ميكرون وتشكل حوالي 46 % من مجموع الأشعة الشمسية وتعرف بالأشعة الحرارية لأنها تسبب ارتفاع درجة حرارة الأجسام.

1-2-5 الإشعاع طويل الموجة Longwave Radiation

يزيد طول هذا الإشعاع عن 4 ميكرون وتتمثل في أمواج الراديو والرادار والبث التلفزي.

2- الإشعاع الجوي Atmospheric Radiation

يقصد بالإشعاع الجوي تلك الموجات الإشعاعية التي تنطلق من الغازات التي يتكون منها الغلاف الغازي وما به من المواد العالقة سواء كانت ذرات الغبار أو ذرات بخار الماء ، ويجب أن نعرف أن المصدر الأصلي لهذا الإشعاع الجوي هو ما استمدته مكونات الغلاف الغازي من الإشعاع الشمسي ، وبعد ذلك تقوم الغازات والمواد العالقة بإشعاعه مرة ثانية في جميع الاتجاهات في صورة إشعاعات **حرارية وضوئية** ، ويصل جزء من هذه الإشعاعات إلى سطح الأرض ، خاصة تلك الإشعاعات الحرارية التي تنطلق من بخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف.

3- الإشعاع الأرضي Terrestrial Radiation

قبل أن يصل الإشعاع الشمسي إلى الأرض يكون قد فقد نصيباً كبيراً منه في الغلاف الغازي البعيد وكذلك في الغلاف القريب من سطح الأرض .كما سبق ذكره . بواسطة الامتصاص من ناحية والانعكاس من ناحية أخرى ، فالمعروف أن سطح الأرض يمتص قدراً من أشعة الشمس التي تسقط عليه بينما يرد الباقي إلى الفضاء بتأثير الألبيدو الأرضي، ويقوم سطح الأرض بتحويل الأشعة الشمسية التي امتصها إلى **طاقة حرارية** تنطلق إلى الغلاف الجوي في شكل موجات طويلة، وبالتالي يستمد الغلاف الجوي حرارته من هذه الموجات الطويلة الصادرة من سطح الأرض في الوقت الذي لم يستطع الهواء امتصاص الموجات القصيرة المكونة لأشعة الشمس عند احتراقها له، ولذلك يمكن القول بأن الهواء يستمد حرارته من الإشعاع الأرضي.

ويختلف الإشعاع الأرضي عن الإشعاع الشمسي في **أن أشعته غير مرئية وحرارية وطويلة** (يتراوح طول موجاتها ما بين 3 إلى 80 ميكرون) بينما تتفاوت أطوال موجات الإشعاع الشمسي ما بين 0.17 إلى 4.0 ميكرون ، ويتميز كذلك الإشعاع الأرضي عن الإشعاع الشمسي بأنه يستمر طوال الأربع والعشرين ساعة (طول اليوم . ليلاً ونهاراً) في حين أن الإشعاع الشمسي يبدأ مع شروق الشمس وينتهي عند غروبها ، كما يتزايد الإشعاع الأرضي تدريجياً بعد شروق الشمس ويبلغ أقصاه بعد الظهر (الزوال) بقليل ، ويرجع ذلك لأن الأرض تستمر محافظة على حرارتها فترة من الوقت بعد تعامد الشمس في وقت الزوال ، بينما يأخذ الإشعاع الشمسي في الهبوط تدريجياً بعد أن يمر وقت الزوال مباشرة.

ثالثا : الميزانية الحرارية للأرض Heat budget of the Earth

1- درجة الحرارة الافتراضية والفعلية للأرض

المقصود بالميزانية الحرارية للأرض هو أن يكون هناك تعادل بين كمية الإشعاع التي يكتسبها جوها وسطحها، وكمية الإشعاع التي تنصرف منها إلى الفضاء . ويعتبر هذا التعادل شرطًا أساسيًّا لبقاء حرارة سطح الأرض وجوها ثابتة تقريبًا من سنة إلى أخرى لأنه لو حدث تفوق مستمر في الحرارة المكتسبة على حساب الحرارة المفقودة لالتهب سطح الأرض بكل ما عليه، ولو حدث من ناحية أخرى تفوق مستمر في الحرارة المنصرفة على حساب الحرارة المكتسبة لتجمد سطح الأرض بكل ما عليه.

Bioclimatology 2023

ولكن هذا التوازن لا يظهر عادة إذا حسب في كل إقليم أو في كل فصل من فصول السنة على حدة، إذ إن ظروف بعض الأقاليم تساعدهم على ارتفاع مكسبها الحراري أو زيادة خسارتها من وقت إلى آخر أو على مدار السنة ولكنه، أي التوازن الحراري، ويظهر إذا ما حسب بالنسبة لكل سطح الأرض، ولكل غلافها الجوي من سنة إلى أخرى حيث تؤدي عمليات التوزيع الحراري بواسطة الرياح والتيارات البحرية وعمليات الحمل Convection والتبخر والتكاثف إلى انتقال الحرارة من المناطق التي يتوفر فيها الإشعاع الشمسي إلى المناطق التي يوجد فيها عجز لهذا الإشعاع فيؤدي هذا الانتقال إلى أن يبقى إجمالي حرارة جو الأرض ثابتًا من سنة إلى أخرى.

حتى مع هذا التوازن الضروري في كمية الإكتساب الحراري من خلال الإمتصاص وكمية الفقد الحراري من خلال الإشعاع فإن معدل درجة الحرارة المفترض على وجه الأرض سيبلغ **18–**درجة مئوية تقريباً مع تفاوت بين مناطق وأخرى. وهذه الدرجة باردة جداً وليست مناسبة لاستمرار الحياة على وجه الأرض.

فقد وجد العلماء أن بخار الماء وبعض الغازات التي تحيط بالأرض تعيد بعض إشعاعات الأرض ولا تسمح لها بالخروج إلى الفضاء وهذا الأمر يمنع فقد الأرض للحرارة وبالتالي يمنع زيادة برودتها رغم أن هذه الغازات تسمح بدخول أشعة الشمس ولا تردها، لكنها ترد الإشعاعات الصادرة من الأرض وقد وُجد أيضا أن من صفات بعض هذه الغازات أنها انتقائية في السماح والمنع بحسب نوع الموجة الإشعاعية التي تمر من خلالها وهذه العملية توفر 33 درجة مئوية إضافية وهو الرقم المطلوب لجعل معدل درجة الحرارة على وجه الأرض 15 درجة مئوية تزيد وتنقص من منطقة إلى أخرى بحسب موقعها الجغرافي.

علماً بأن أقل درجة حرارة ليلية (قرب سطح الأرض) تحدث في الليلة الطويلة الجافة ذات الرياح الهادئة والسماء الصافية. لماذا؟

+ الليلة الطويلة تعطي وقتا طويلا للإشعاع الأرضي وفقد الحرارة الليلة.

+ الجافة لكون الرطوبة أيضاً تمتص إشعاعات الأرض بواسطة بخار الماء وتعيد إشعاعها إلى الأسفل مرة أخرى مثل السحب.

+ الليلة هادئة الرياح كون الرياح تجبر الهواء البارد الملامس لسطح الأرض والذي تبرد بفعل برودة سطح الأرض على الخلط مع الهواء الدافئ الموجود فوقه وبالتالي يعيد الدفء إلى الأرض

+ السماء الصافية لكون السحب تعكس الأشعة وتعيدها.

2– عناصر وقيم المخطط الحراري للأرض

الرقم	العنصر	تعريفه	قيمته (واط/م2)
1	A	الطاقة التي تسقط في أعلى الغلاف الجوي	342
2	B	الطاقة التي تنعكس من الغلاف الجوي وسطح الأرض	107
3	C	الطاقة الممتصة من طرف الغلاف الجوي G وسطح الأرض H	235
4	G	الطاقة الممتصة من طرف الغلاف الجوي	67
5	H	الطاقة الممتصة من طرف سطح الأرض	168

Bioclimatology 2023

6	D	الطاقة المنبعثة من سطح الأرض	390
7	K	الطاقة الممتصة من طرف الغلاف الجوي	350
8	L	جزء من الطاقة المنبعثة من سطح الأرض دون امتصاصها من طرف الغلاف الجوي	40
9	I	الطاقة المنبعثة من طرف الغلاف الجوي نحو الأرض	324
10	J	الطاقة المنبعثة من طرف الغلاف الجوي نحو الفضاء	195
11	F	طاقة متحولة إلى الغلاف الجوي	24
12	E	الطاقة الكامنة الضائعة أثناء عمليات التبخر	78

رابعا: التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي The geographical distribution of the solar radiation

تكلمنا فيما سبق على الطاقة الإشعاعية الشمسية بالنسبة للكرة الأرضية عمومًا وأوضحنا دور الغلاف الجوي في تقليلها وكيف أن جملة ما تكسبه الأرض وجوها من هذه الطاقة في السنة لا بد أن يتعادل مع جملة ما يرتد منها إلى الفضاء، وأن هذا التعادل هو الذي يجعل للأرض ميزانية حرارية ثابتة من سنة إلى أخرى.

ولكن ليس معني هذا التوازن أن تكون كل أجزاء سطح الأرض أو كل أيام السنة متعادلة في مكسبها أو خسارتها من الإشعاع الشمسي؛ لأن توزيع هذا الإشعاع يختلف من مكان إلى آخر ومن فصل إلى آخر نتيجة لتأثره بعدة عوامل هي:

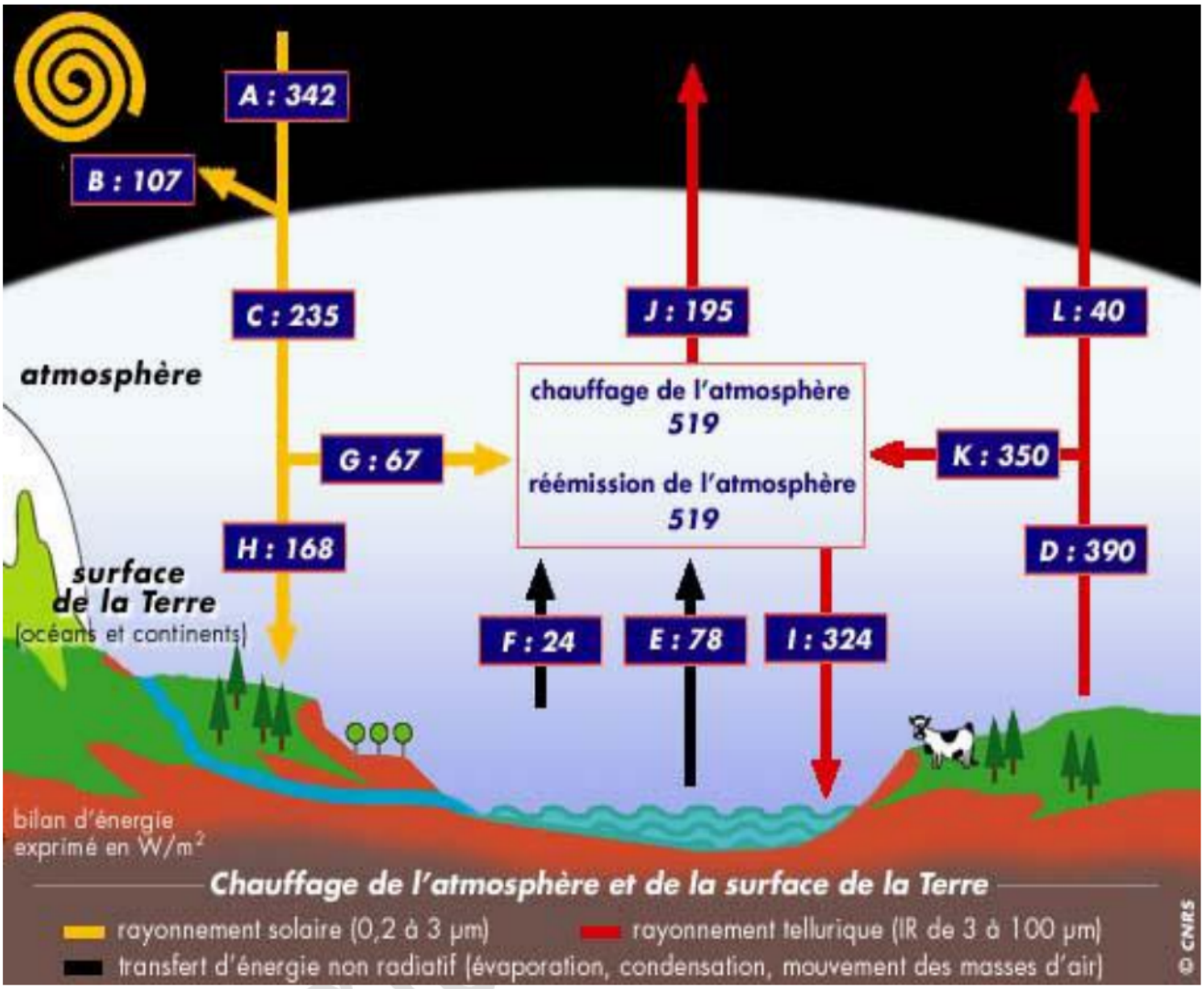
1- اختلاف الألبيدو الأرضي من مكان إلى آخر ومن وقت إلى آخر.
2- اختلاف البعد بين الأرض والشمس في الصيف عنه في الشتاء.
3- اختلاف طول الليل والنهار في العروض المختلفة وفي الفصول المختلفة.
4- اختلاف الزاوية التي تسقط بها أشعة الشمس على سطح الأرض.

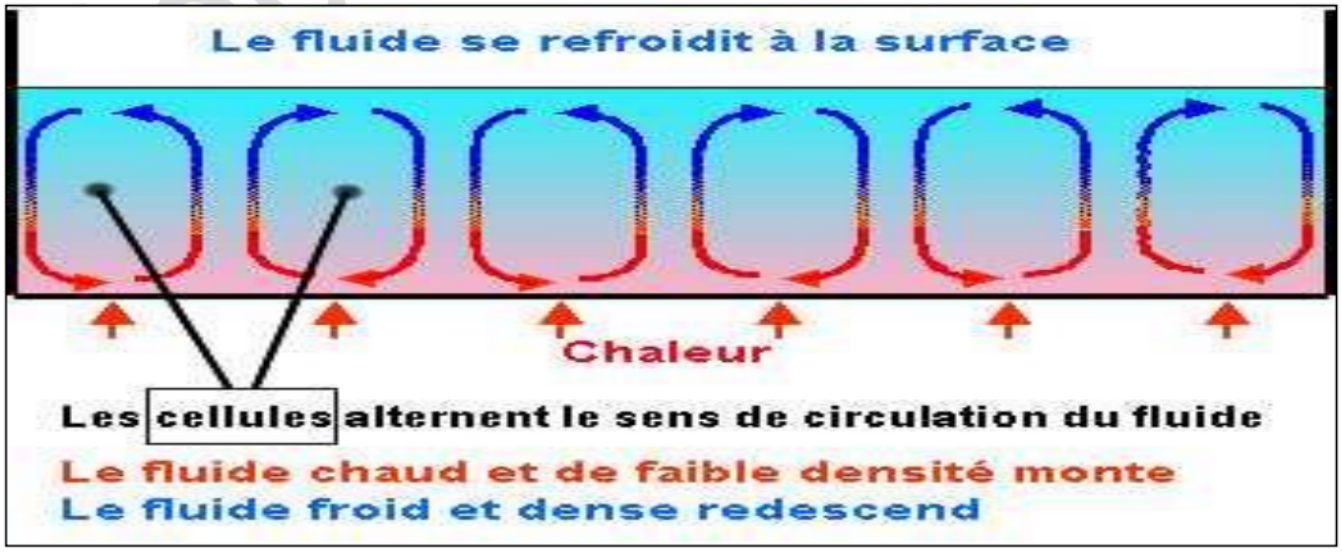
خامسا: الإلبيـــــدو Albedo

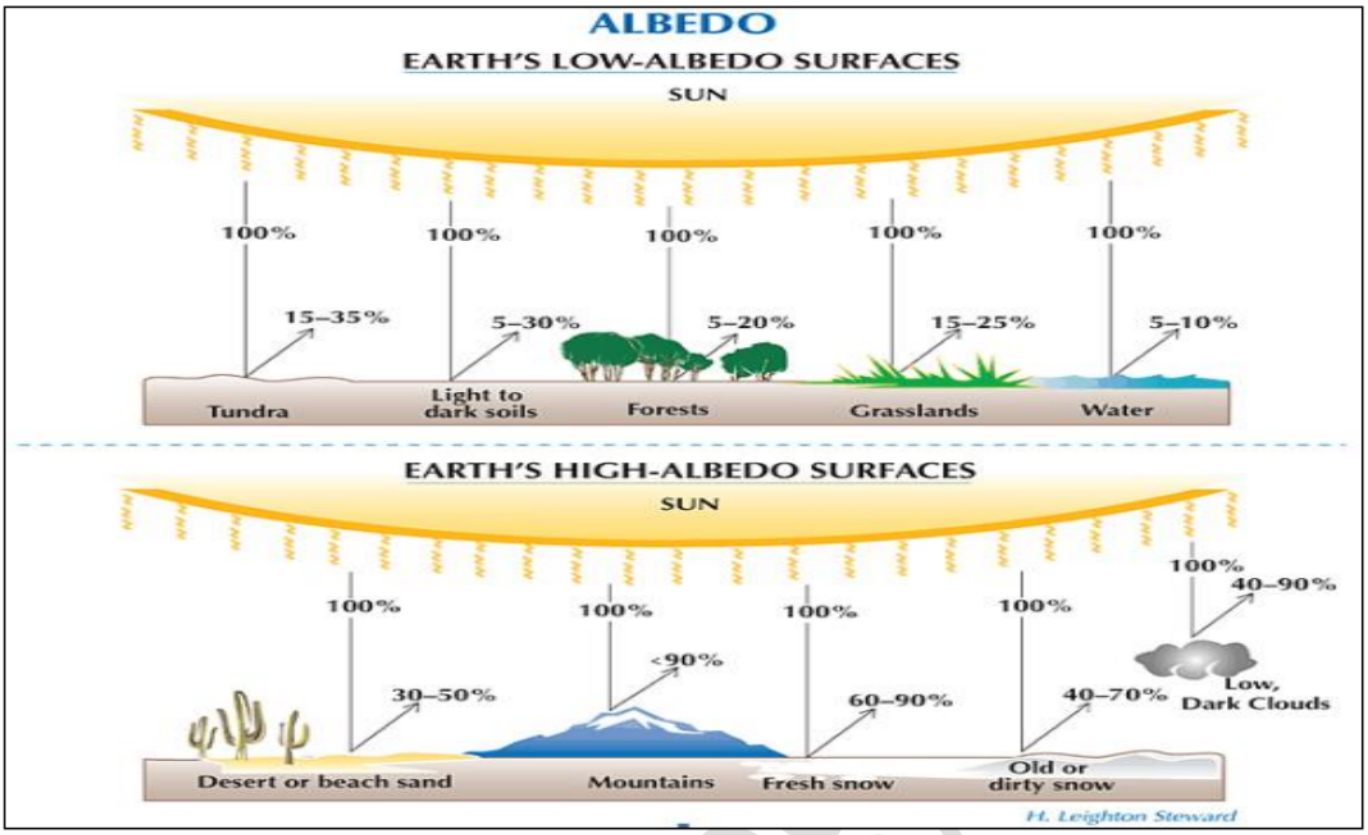
الألبيدو يعني الإنعكاسية ونستطيع تلخيص مفهوم الألبيدو في أنه نسبة الإشعاعات التي يعكسها جسم ما مقارنة بما يتلقاه من إشعاعات.

تختلف الأجسام في قدرتها على عكس الأشعة بحسب خصائصها وتكوينها فبينما يستطيع الثلج أن يعكس من 75 إلى 95 في المئة من أشعته لا يستطيع الماء عكس أكثر من 10 في المئة من الأشعة التي يتلقاها والرمل يعكس من 15 إلى 40 في المئة والسحب تعكس إلى 80 في المئة بحسب كثافتها وإذا كانت خفيفة فتقل قيمة الألبيدو بها إلى 30 في المئة، وفي هذه الاختلافات بين خصائص الأجسام في القدرة على عكس الأشعة تأثيرات مهمة في عالم المناخ وإسهامات ضرورية في حفظ التوازن الحراري على سطح الأرض.

Bioclimatology 2023


A : 342
B : 107
C : 235
J : 195
L : 40
atmosphère
chauffage de l'atmosphère
519
réémission de l'atmosphère
519
G : 67
K : 350
H : 168
D : 390
surface
de la Terre
(océans et continents)
F : 24
E : 78
I : 324
bilan d'énergie
exprimé en W/m²
Chauffage de l'atmosphère et de la surface de la Terre
rayonnement solaire (0,2 à 3 µm)
rayonnement tellurique (IR de 3 à 100 µm)
transfert d'énergie non radiatif (évaporation, condensation, mouvement des masses d'air)
© CNRS


Le fluide se refroidit à la surface
Chaleur
Les cellules alternent le sens de circulation du fluide
Le fluide chaud et de faible densité monte
Le fluide froid et dense redescend



L' Albédo (Tableau)

C'EST LE POUVOIR RÉFLÉCHISSANT D'UN CORPS

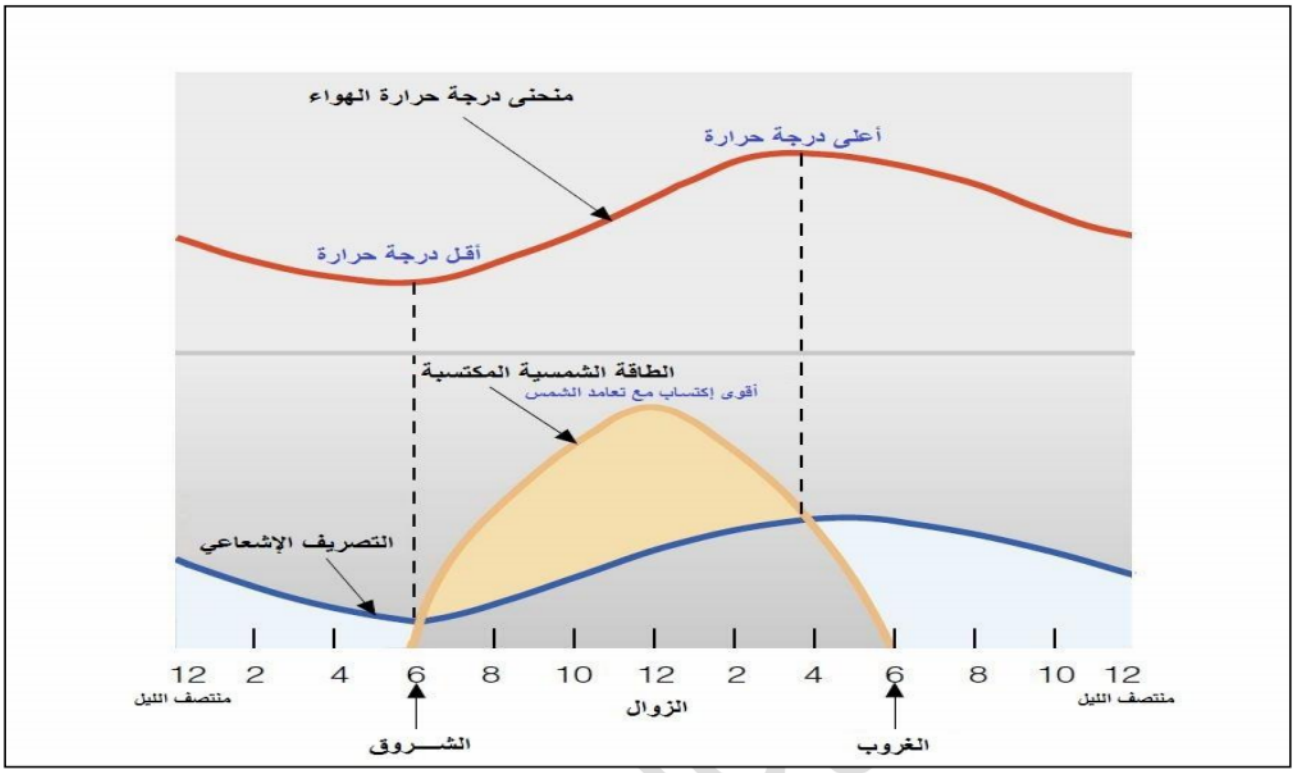
$$0 \leq A = \frac{\Phi_1(\text{diffusé})}{\Phi_1(\text{incident})} \leq 100$$

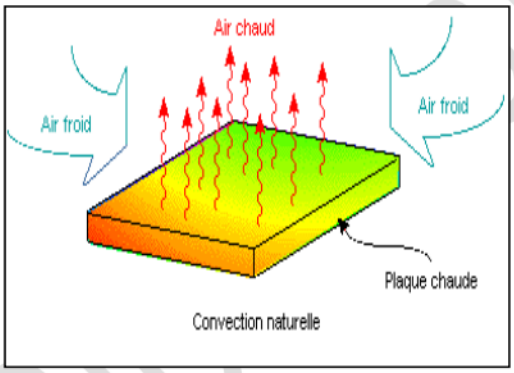
RAYONNEMENT REFLECHI / RAYONNEMENT INCIDENT

Substance	Albédo (%)
Corps noir	0
Lave	4
Basalte	5
Océans	7
Forêts	5-10
Sol noir (cendres)	5-16
Sol	16
Champs	14-17
Béton	17-27
Sable	25-30
Chaux	36
Glace	30-50
Neige tassée	52-81
Craie, Papier	85
Neige Fraiche	81-92
Mirroir parfait	100

La couverture de survie est un miroir parfait à 98%

© Alain Morel


منحنى درجة حرارة الهواء
أعلى درجة حرارة
أقل درجة حرارة
الطاقة الشمسية المكتسبة
أقوى إكتساب مع تعامد الشمس
التصريف الإشعاعي
12 2 4 6 8 10 12 2 4 6 8 10 12
منتصف الليل
الزوال
منتصف الليل
الشـــروق
الغروب


Air chaud
Air froid
Air froid
Plaque chaude
Convection naturelle

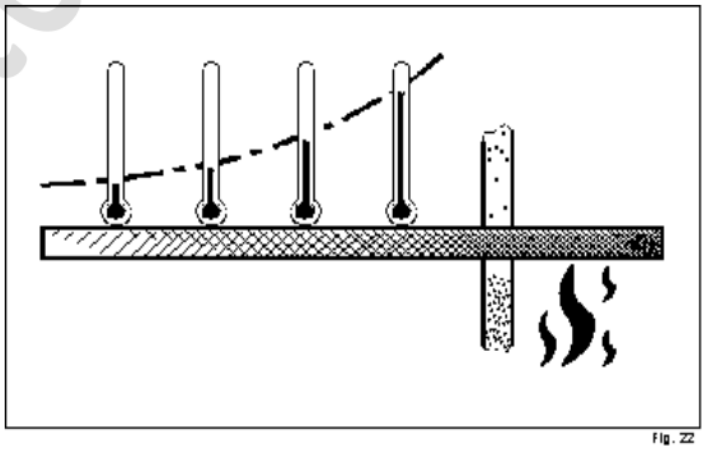
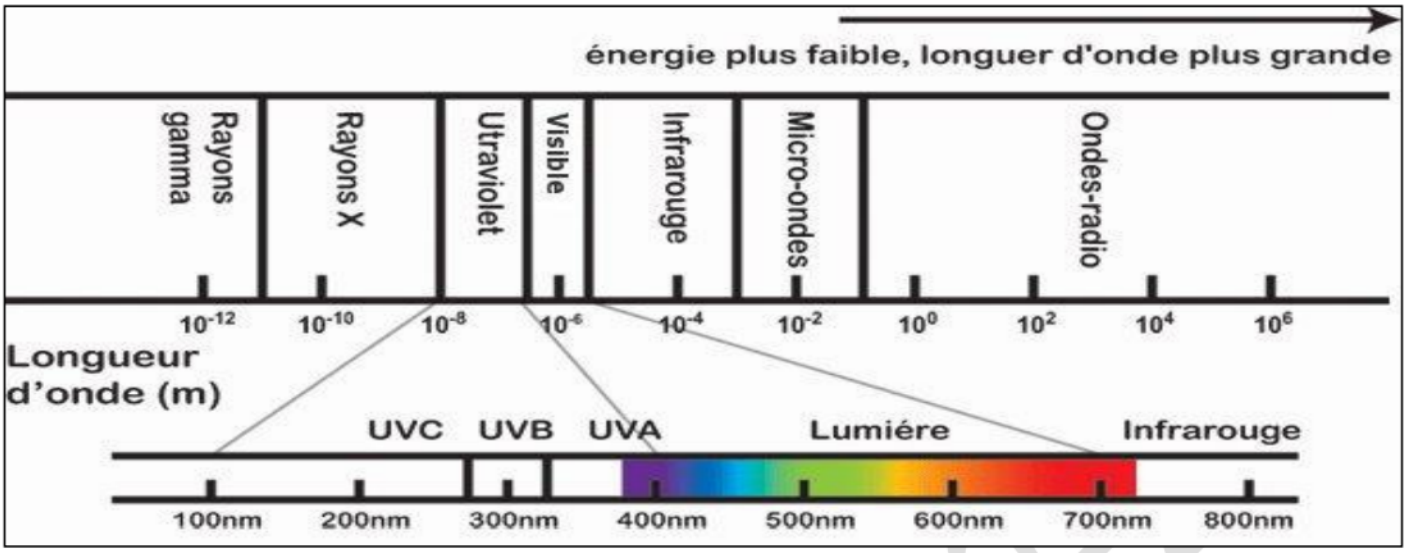
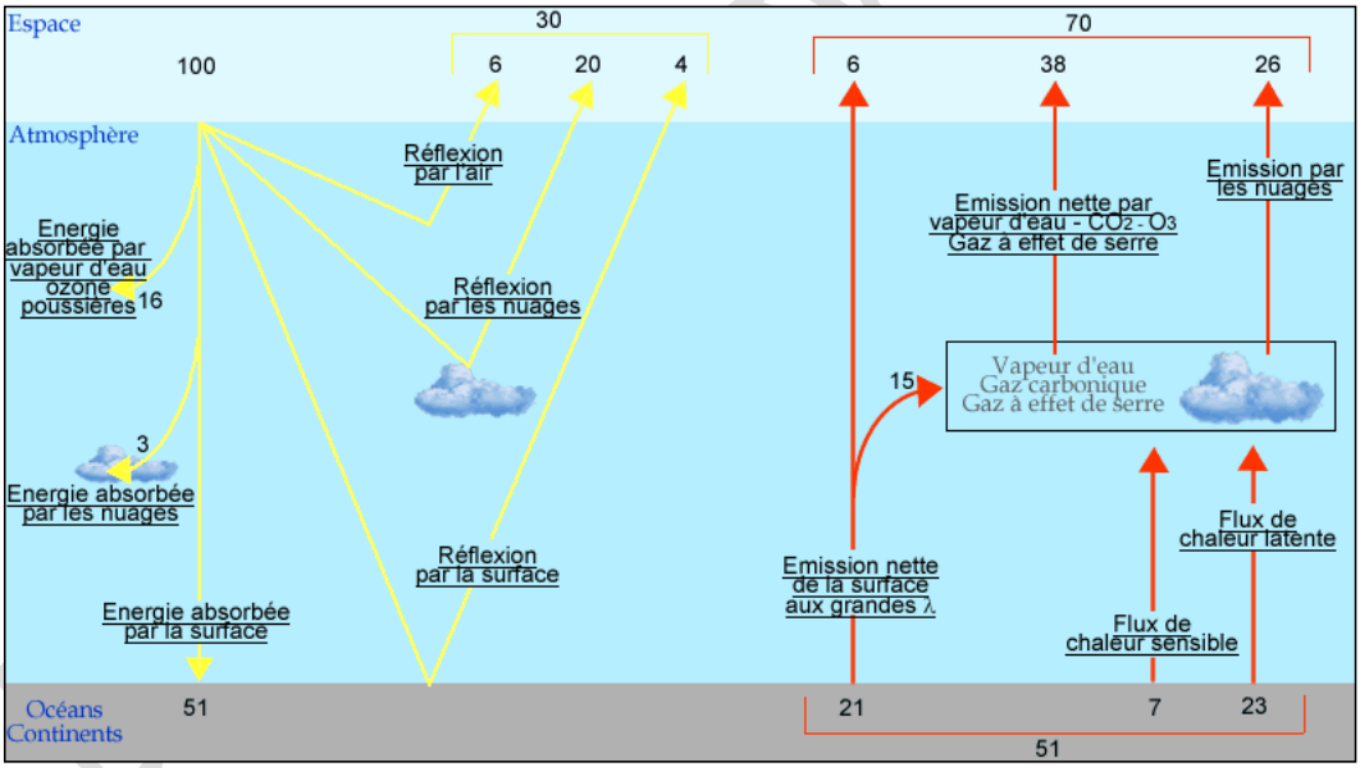


Fig. 22


énergie plus faible, longuer d'onde plus grande
Rayons gamma
Rayons X
Utraviolet
Visible
Infrarouge
Micro-ondes
Ondes-radio
10^{-12} 10^{-10} 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 10^{0} 10^{2} 10^{4} 10^{6}
Longueur d'onde (m)
UVC UVB UVA Lumiére Infrarouge
100nm 200nm 300nm 400nm 500nm 600nm 700nm 800nm


Espace
100
30
6
20
4
70
6
38
26
Atmosphère
Réflexion par l'air
Energie absorbée par vapeur d'eau ozone poussières 16
Réflexion par les nuages
Emission nette par vapeur d'eau - CO_2 - O_3 Gaz à effet de serre
Emission par les nuages
Vapeur d'eau
Gaz carbonique
Gaz à effet de serre
15
3
Energie absorbée par les nuages
Réflexion par la surface
Flux de chaleur latente
Emission nette de la surface aux grandes λ
Energie absorbée par la surface
Flux de chaleur sensible
Océans
Continents
51
21
7
23
51