

*Détection des rayonnements  
gamma*

## 1. Les rayonnements ionisants :

Ce sont des rayonnements ayant suffisamment d'énergie pour arracher un ou plusieurs électrons aux atomes du milieu absorbant en les transformant en ions positifs [25]. On distingue deux types de rayonnement ionisants :

- **Les rayonnements directement ionisants :**

Ce sont des particules chargées qui délivrent leur énergie directement à la matière traversée, par l'intermédiaire des forces coulombiennes. Les transferts d'énergie dépendent du type de particules et de leurs énergies (proton, deuton, alpha, ions lourds et électrons). [25]

- **Les rayonnements indirectement ionisants :**

Ce sont des rayonnements électriquement neutres et susceptibles de transférer une fraction ou la totalité de leur énergie, en une seule interaction aux particules chargées qui ionisent par la suite le milieu. Dans ce cas, l'ionisation se fait en deux étapes. Les rayonnements électromagnétiques X et  $\gamma$ , et les neutrons font partie de cette catégorie. [25]

Un rayonnement gamma est défini comme étant un mode de propagation de l'énergie dans l'espace sous forme d'onde électromagnétique. Il ne peut être détecté et caractérisé que grâce à son interaction avec la matière dans laquelle il se propage.

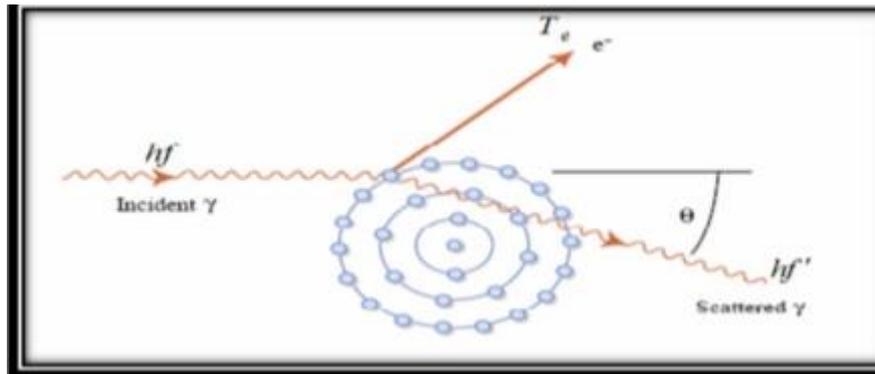
## 2. Détection des rayonnements gamma :

Les rayonnements gamma, en tant qu'ondes électromagnétiques, interagissent avec les atomes du milieu environnant selon trois phénomènes principaux en fonction de leur énergie et du milieu en présence : Diffusion Compton, Effet photoélectrique et Production de pair [26].

### 2.1 Diffusion Compton :

La diffusion Compton est un processus élastique au cours duquel le photon  $\gamma$  transfère une partie de son énergie ( $E_\gamma$ ) à un électron faiblement lié du cortège électronique d'un atome du milieu. Le plus souvent, cette interaction se produit avec les électrons des couches externes de l'atome qui sont les moins liées.

Il s'ensuit que le photon  $\gamma$  incident est dévié de sa direction d'un angle  $\theta$  et perd une partie de son énergie qui est transférée à l'électron comme énergie cinétique, ce dernier est éjecté selon un angle  $\varphi$  par rapport à l'axe du photon incident  $\gamma$  (Figure 2.1) :



**Figure 2.1** Schéma de la diffusion Compton [27].

En appliquant les lois de conservation masse-énergie totale et du moment linéaire, les énergies du photon diffusé  $E_{\gamma'}$  et de l'électron de recul  $E_{e^-}$  sont fonction des angles de diffusion et sont données par les équations suivantes :

L'électron éjecté en voie de sortie possède une énergie cinétique  $E_{e^-}$  décrite par l'équation suivante :

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \alpha(1 - \cos(\theta))} \quad (2.1)$$

$$E_{e^-} = E_{\gamma'} - E_{\gamma} = \frac{E_{\gamma}^2(1 - \cos\theta)}{m_0 \cdot c^2 + E_{\gamma}(1 - \cos\theta)} \quad (2.2)$$

Où  $m_0$  est la masse au repos de l'électron.

La probabilité de la diffusion Compton  $\sigma$  augmente linéairement avec le numéro atomique  $Z$  du matériau cible, ce processus est dominant pour les énergies intermédiaires :

$$\sigma = Z \cdot f(E_{\gamma}) \quad (2.3)$$

## 2.2 Effet photoélectrique :

Lors du processus d'interaction par effet photoélectrique, un photon incident d'énergie  $E_{\gamma}$  cède totalement son énergie à un électron fortement lié du cortège électronique d'un atome du milieu absorbant. Le surplus d'énergie communiqué à l'atome est ensuite évacué via l'éjection d'un électron d'une couche électronique, généralement de la couche K, de l'atome [28]. L'énergie du photoélectron éjectée est donné par :

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (2.4)$$

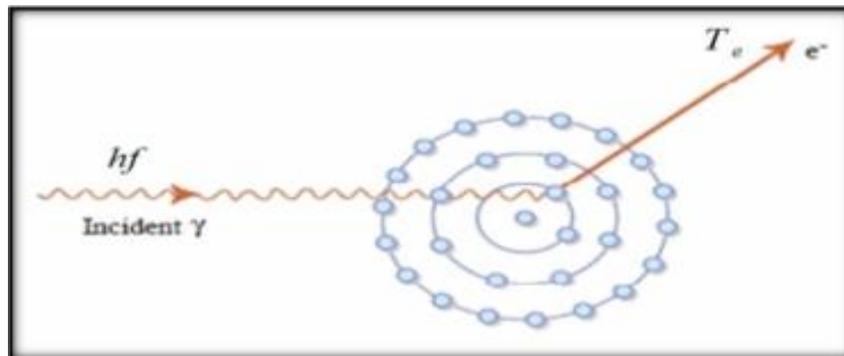
Où  $E_b$  est l'énergie de liaison de l'électron dans l'atome.

L'éjection du photoélectron laisse place à une lacune électronique sur la couche électronique dont il est originaire, qui donne lieu à un réarrangement instantané des couches électroniques, par l'émission d'un ou de plusieurs rayon(s) X de fluorescence, ou d'un ou plusieurs électron(s) Auger (Figure 2.2).

L'effet photoélectrique est une réaction à seuil ( $E_\gamma \geq E_b$ ). Sa section efficace  $\sigma_{PE}$  dépend du numéro atomique  $Z$  de la cible et de l'énergie du photon incident  $E_\gamma$  :

$$\sigma_{PE} \propto \frac{Z^n}{E_\gamma^{3.5}} \quad (2.5)$$

Où  $n$  varie de 4 à 5 ;



**Figure 2.2** : Schéma de l'effet photoélectrique [27]

L'effet photoélectrique est privilégié pour les rayons  $\gamma$  dont l'énergie du photon est faible et dans les matériaux possédant un numéro atomique  $Z$  élevé.

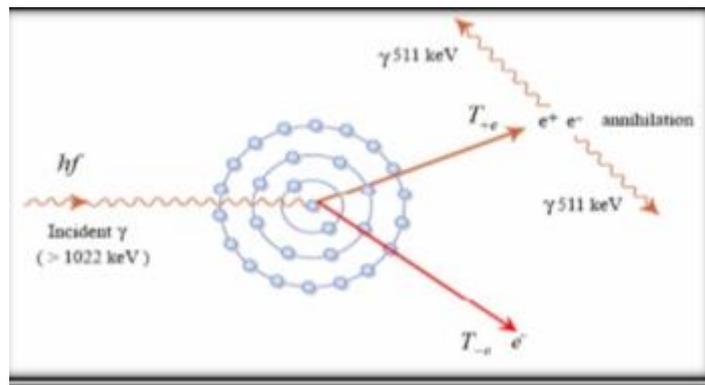
### 2.3 Production de paires :

La production de paires ou matérialisation n'est possible que lorsque l'énergie du photon incident est égale ou dépasse le double de l'énergie de l'électron au repos (1.022 MeV). Ainsi une paire électron-positron ( $e^-$ ,  $e^+$ ) peut être créée par interaction du photon avec la matière, ce processus a lieu dans le champ coulombien du noyau [28].

Toute l'énergie excédentaire captée par le photon au-dessus de 1.022 MeV va être partagée entre les énergies cinétiques du positron et de l'électron comme suit :

$$E_\gamma - 2m_0c^2 = E_{e^-} + E_{e^+} \quad (2.6)$$

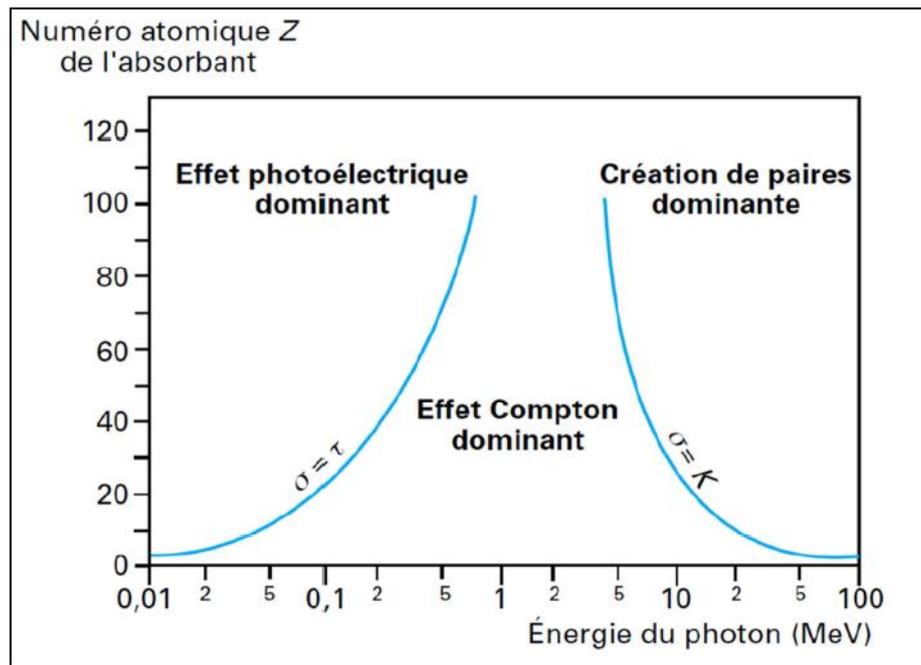
Le positron s'annihilera avec un électron suite à son ralentissement dans le milieu absorbant (par des collisions), en créant deux photons d'annihilation d'énergie 511 keV, émis à 180° chacun (Figure 2.3) :



**Figure 2.3 :** Schéma du processus de production de paires [27]

Contrairement aux deux processus précédents, l'effet photoélectrique et la diffusion Compton, la section efficace de création de paires augmente avec l'énergie des photons incidents, elle croît comme le carré du nombre atomique  $Z$  du milieu absorbant, elle est dominante aux hautes énergies.

L'importance relative des trois processus décrits est fonction des énergies des photons et du numéro atomique  $Z$  du milieu absorbant, elle est commodément représentée sur la Figure 2.4.



**Figure 2.4** : Types d'interactions prépondérantes suivant l'énergie du photon et le numéro atomique Z du milieu [29]

### 3. Détection des rayonnements gamma dans l'environnement

La détection des rayonnements ionisants consiste à faire interagir un champ de rayonnements au sein d'un volume sensible et à mesurer une grandeur physique, vecteur de l'interaction, pour la convertir en un signal électrique interprétable.

Le choix du détecteur dépend de la grandeur physique à mesurer qui est dans notre cas les rayons gamma de l'environnement, c'est-à-dire le rayonnement terrestre en évitant de mesurer le rayonnement cosmique. Le détecteur le plus approprié est le détecteur **Thermo Scientific RadEye**.

#### 3.1 Détecteur Thermo Scientific RadEye

##### ✓ Description :

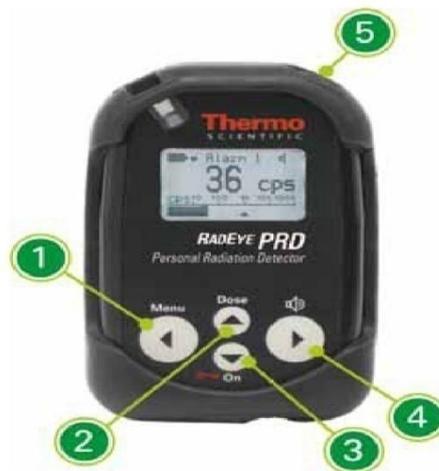
Le détecteur RadEye PRD mesure des débits de doses, en R/h (R désigne une ancienne unité le röntgen) ou en Sv/h. Il est utilisé dans plusieurs domaines tels que : pour localiser des sources orphelines, pour détecter la radioactivité générée par des radionucléides artificiels émis lors des accidents nucléaires, pour détecter des sources naturelles pouvant causer des problèmes dans des chantiers ou dans des lieux publics, ... [30].

Le détecteur RadEye PRD intègre un scintillateur à haute sensibilité NaI(Tl) doté d'un photomultiplicateur miniature permettant la détection de très faibles niveaux de rayonnement.

Il a une gamme d'énergie allant de 60 keV à 1.3 MeV avec une excellente détection à partir de 30 keV. Sa gamme de mesures est comprise entre 0.01 $\mu$ Sv/h à 250  $\mu$ Sv/h [30].

✓ **Caractéristiques :**

Le détecteur RadEye PRD est robuste, fiable et résistant aux chocs. Il fonctionne avec un menu au format intuitif et facile d'emploi, il est muni de composants bénéficiant d'une technologie de basse puissance et des commandes entièrement automatisés.



1- Ouvre le menu de configuration, une fois le menu ouvert, les fonctions sont sélectionnées par 1, 2, 3 et 4.

2- Affichage d'informations supplémentaires.

3- fonctionnement similaire à l'interrupteur et au verrouillage des touches de votre téléphone portable.

4- et 5- Fonctionnement de l'indicateur sonore et d'acquiescement de l'alarme.

### 3.2 Fonctionnement d'un scintillateur :

Un scintillateur est une substance radio-luminescente qui a la propriété d'émettre des photons lumineux suite à l'absorption d'un rayonnement ionisant. Si le rayonnement est un photon sa détection avec un scintillateur passe par une succession de quatre étapes : conversion du photon incident en électron, excitation du scintillateur, émission de la lumière et conversion en signal électrique [31].

Le matériau scintillateur doit posséder les propriétés suivantes :

- La transparence à la lumière pour éviter les pertes et pour une bonne collection des photons.
- Temps d'émission court pour générer des impulsions rapides.
- Conversion d'énergie du rayonnement ionisant en photon détectable doit être plus linéaire possible pour que le nombre de photons lumineux soit proportionnel à l'énergie déposée.
- Son indice de réfraction doit être proche de celui de verre pour bonne récupération des photons au niveau du photomultiplicateur.

✓ **Scintillateur NaI (Tl) :**

Un scintillateur NaI (Tl) est un monocristal d'iodure de sodium activé au thallium, ce cristal a une bonne sensibilité de détection des rayonnements gamma à cause de son numéro atomique élevé qui donne une grande section efficace pour les interactions des photons, il a un bon rendement lumineux 12% de l'énergie déposée par un rayonnement ionisant est convertie en énergie lumineuse. Il produit environ de 38000 photons lumineux de 3 eV par MeV d'énergie déposée. Le scintillateur NaI (Tl) permet d'obtenir une meilleure résolution en énergie et un temps de réponse rapide, sa réponse aux rayonnements gamma peut être considérée linéaire sur une plage d'énergie comprise entre 10 keV et 2 MeV [32].

La production des photons est liée à la structure en bandes d'énergies de ce matériau cristallin. Le gap pour le NaI pur est de l'ordre de quelques eV (6 eV), à la suite de l'absorption de rayons gamma une excitation permet de faire passer un électron à la bande de conduction, ce dernier laisse alors un trou dans la bande de valence qui peut se déplacer, la désexcitation entraîne alors l'émission d'un photon de 6 eV correspondant à une longueur d'onde de 207 nm se situant en dehors du spectre visible.

Afin d'augmenter l'efficacité de ce scintillateur, on le dope par un activateur : le thallium qui forme des sites spéciaux dans la maille du cristal et crée des états d'énergie dans la bande interdite (BI) (réduit la bande interdite) donnant la possibilité aux électrons de se désexciter en passant par ces états, et en conséquent l'émission de photons dans le domaine visible [32] comme présenté dans la Figure 2.5.

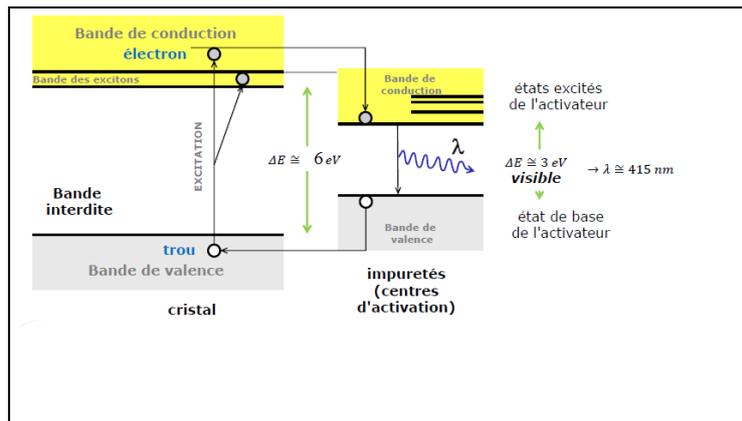


Figure 2.5 : Mécanisme de scintillation dans le cristal NaI (TI) [32]

### 3.3 Fonctionnement d'un photomultiplicateur :

Le photomultiplicateur convertit les photons qui touchent la couche de la photocathode en électrons par effet photoélectrique. Lorsque ces électrons sont accélérés, focalisés et projetés sur la première dynode, leur nombre augmente et se multiplie et ainsi de suite avec le reste des dynodes, jusqu'à collection complète des électrons sur l'anode. Une tension, de l'ordre de 1000 à 2000 V est appliquée aux bornes du photomultiplicateur, cette tension est répartie à l'aide d'un point diviseur de tension sur les différentes dynodes (Figure 2.6) [31].

Les impulsions électriques sont ensuite comptées à l'aide d'une électronique de comptage, cette dernière est calibrée pour pouvoir afficher la valeur du débit de dose correspondant aux énergies des rayons gamma absorbés dans le cristal NaI (TI).

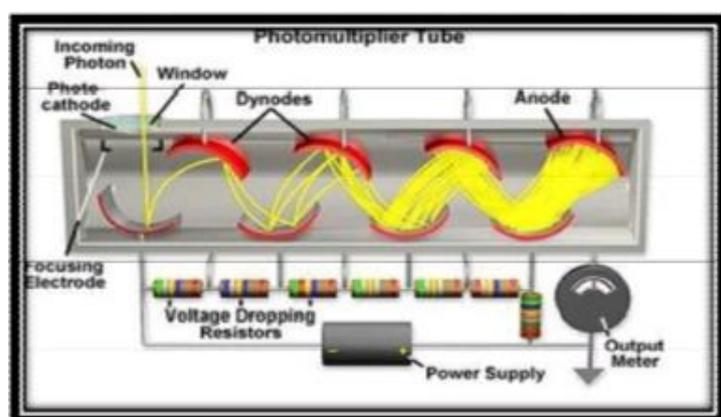


Figure 2.6 : Schéma de fonctionnement d'un photomultiplicateur [33]

# *Chapitre 3*

*Mesures du gamma ambient  
dans la région de Jijel*

### 1. La carte géographique de la région de Jijel :

La région de Jijel fait partie de la zone du sahel et des zones littorales caractérisée par des conditions climatiques très favorables ou dominant les cultures maraichères et plus particulièrement par la plasticulture.

- **Situation géographique :**

Localisation géographique de la wilaya Jijel :



**Figure 3.1** : situation géographique de la ville de Jijel

La wilaya de Jijel est d'une position géographique stratégique, elle est située au Nord-est entre les latitudes  $36^{\circ} 10$  et  $36^{\circ} 50$  Nord et les longitudes  $5^{\circ} 25$  et  $6^{\circ}30$  Est, le territoire de la wilaya dont la superficie s'élève à  $2396 \text{ km}^2$  avec une façade maritime de  $120 \text{ km}^2$ . La région appartient au domaine nord atlastique connu localement sous le nom de la chaîne des Babors, elle est bordée : au nord par la méditerranée, au sud par la wilaya de Mila ; au sud-est par la wilaya de Constantine ; au sud-ouest par la wilaya de Sétif ; à l'est par la wilaya de Skikda ; à l'ouest par la wilaya de Bejaia [34].

- **La population :**

La population de la wilaya de Jijel a atteint 636 948 habitants en 2008 [35], soit une densité de  $266 \text{ hab/km}^2$ .

- **Organisation administrative :**

La wilaya de Jijel compte 28 communes organisées en 11 Daira [36].

#### Wilayas limitrophes de la wilaya de Jijel



**Tableau 3.1** : Organisation administrative de la wilaya de Jijel

Daïra	Nombre de communes	Communes
Chekfa	4	Bordj Tahar - Chekfa - El Kennar Nouchfi - Sidi Abdelaziz
Djimla	2	Boudriaa Ben Yadjis - Djimla
El Ancer	4	Djemaa Beni Habibi - Bouraoui Belhadeb - El Ancer - Kheïri - Oued Adjoul
El Aouana	2	El Aouana - Selma Benziada
El Milia	2	El Milia - Ouled Yahia Khedrouche
Jijel	1	Jijel
Settara	2	Ghebala - Settara
Sidi Maarouf	2	Ouled Rabah - Sidi Maarouf
Taher	5	Boucif Ouled Askeur - Chahna - Emir Abdelkader - Ouadjana - Taher
Texenna	2	Kaous - Texenna
Ziama Mansouriah	2	Eraguene - Ziama Mansouriah

- **Les reliefs :**

La wilaya de Jijel est caractérisée par un relief essentiellement montagneux et exceptionnellement accidenté dont la majeure partie présente des pentes supérieures à 12.5 %, tandis que le territoire communal de Jijel est constitué de petites plaines littorales et est caractérisée par un relief montagneux très complexe dans sa structure et dans sa morphologie. La région de Jijel se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières (figure 3.2). On y distingue principalement deux régions physiques situées au nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El-Aouana, le bassin de Jijel, les vallées d'Oued Kébir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hor. Ces reliefs constituent l'essentiel du territoire de la wilaya (ou 82% de la surface), elles sont composées de deux groupes :

- Groupe 01 : constitué des zones de moyennes montagnes situées dans la partie littorale et centre de la wilaya, elles sont caractérisées par une couverture végétale très abondante, et un réseau hydrographique important.
- Groupe 2 : constitué des zones de montagnes difficiles situées à la limite sud de la wilaya. Elles comportent les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont : Tamasghida, Tababour, Bouazza et Satta [34,37].



**Figure 3.2 :** (a) détail du bassin néo génique de Jijel, (b) bassin autour du littoral Jijelien, (c) la trouée de l'oued Taza dans le massif calcaire, (d) la chaîne calcaire près de ziama.

## 2 La géologie de la région de Jijel :

- **Localisation structurale de la région de Jijel**

La région de Jijel appartient au domaine Nord Atlasique, elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières sur le couloir Kaous-Taher-Chekfa. Sa géologie est liée à celle de la Petite Kabylie, elle présente un ensemble de terrains sédimentaire d'âges Mésozoïque et Cénozoïque couvrant des terrains métamorphiques. Ces formations tertiaires reposent soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains d'âge crétacé ou sur les séries de types flysch.

Des sédiments littoraux couvrent les structures tertiaires individualisées durant le Néogène ; elles constituent le Bassin Néogène de Jijel ou Bassin Sahélien de Jijel. Les plis qui ont touchés la région de Jijel et le nord du massif kabyle sont les plissements anté-crétacés, qui ont produit au nord des principaux massifs les dépôts albiens puis sénoniens, et ensuite les plissements éocènes, qui ont amené l'invasion marine sur la plus grande partie du massif ancien de la région orientale (dépôt des grès de Numidie) de Jijel à Annaba.

On peut individualiser les principaux ensembles structuraux comme suit [41] (figure 3.3) :

1. Les massifs carbonatés du mésozoïque : dans les bassins de Ziama-Mansouriah, ce sont les principaux constituants de la partie orientale de la chaîne calcaire et sont conservés dans les hauts reliefs.
2. Le massif éruptif ou massif de Cavallo : il s'étend des Aftis à l'Ouest jusqu'au village d'El-Aouana à l'Est. Au Sud, il est limité par la gouttière reliant les Aftis au col d'El-Aouana. Cette gouttière est comblée par des dépôts marneux à calcaires marneux parfois péliques du sénonien ou du miocène.
3. Le Bassin Néogène de Jijel : nettement développé à l'Est de Jijel, il est caractérisé par une morphologie de collines arrondies dont les constituants principaux sont les marnes du Burdigalien (miocène inférieur), localement recouvertes par les dépôts détritiques du pliocène.
4. Le Massif Ancien : dans lequel on distingue des terrains métamorphiques et des terrains primaires peu métamorphisés. Ces affleurements sont connus à l'Ouest de Texenna et dans la région d'El-Milia à El-Ancer.
5. Les Flyschs : d'âge crétacé et tertiaire affleurent à la faveur de l'érosion. Ils sont recouverts à l'Ouest par la chaîne calcaire et à l'Est par le massif ancien. Au Nord, ils chevauchent les grès de l'oligocène et le massif éruptif.
6. Les Dépressions ou plaines côtières : comblées par des dépôts non consolidés du plio-quadernaire et constituant les plaines côtières dont les plus importantes sont celles de Kissir, Mencha, Denjean, Nil et El-Kébir [38].

+

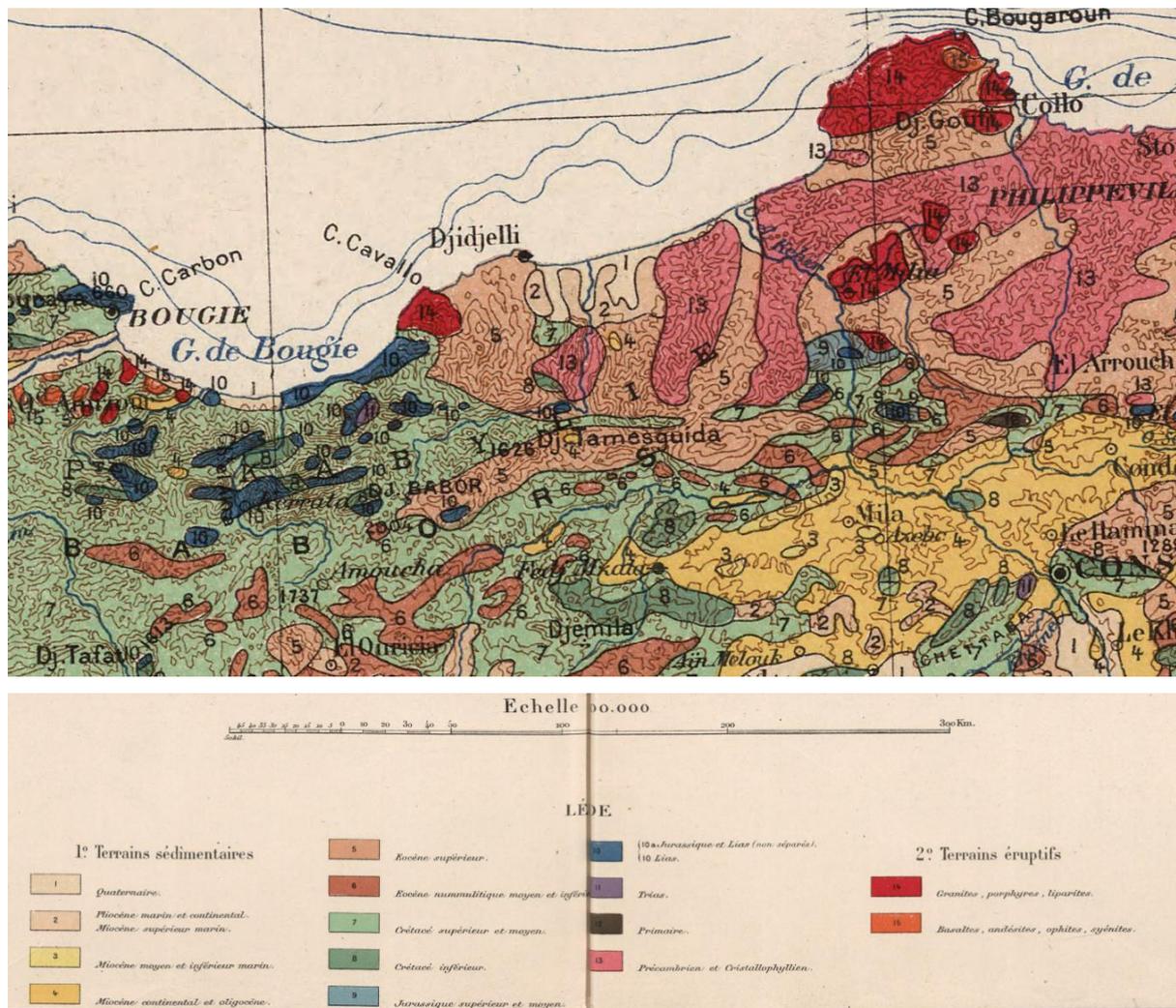


Figure 3.3 : Carte Géologique de la région de Jijel [39].

### 3. Description du logiciel QGIS :

#### 3.1. Définition :

QGIS est un logiciel SIG libre (open source). Il a été conçu en mai 2002. En juin 2002, il s'est établi en tant que projet sur Source Forge. Depuis 2007, il a été développé par Open Source Géo spatial Fondation (OSGeo). QGIS est distribué sous la licence GNU GPL (General Public License). Ceci permet aux utilisateurs de le partager et de le modifier librement (modifier le code source), tout en ayant la garantie d'avoir accès à un programme SIG non onéreux et librement modifiable [40].

QGIS peut fonctionner sous plusieurs systèmes d'exploitation tels que MacOs, Linux, d'Unix, les logiciels d'exploitation androïdes. QGIS utilise la bibliothèque logicielle Qt (bibliothèque de création d'interfaces graphiques) et le langage C++, ce qui se traduit par une

interface graphique simple et réactive. Il gère un grand nombre de formats raster et vecteur, avec le support de nouveaux formats facilité par l'architecture basée sur les extensions

L'amélioration permanente de ses fonctionnalités, qui englobe notamment la création de données, l'édition, la manipulation, l'analyse, le stockage et la représentation visuelle, QGIS devient ainsi populaire et connaît une large utilisation par des compagnies privés des organisations à l'échelle mondial, notamment dans les domaines suivants :

- Planification urbaine (cadastre, voirie, réseaux assainissement) ;
- Protection civil (gestion et prévention des catastrophes) ;
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires) ;
- Hydrologie ;
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture) ;
- Géologie (cartographie, prospection minière) ;
- Biologie (études du déplacement de la population animale) ;
- Télécommunication (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

### 3.2 Présentation de l'interface de QGIS

L'interface utilisateur de QGIS comprend un ensemble d'outils nécessaires et interactifs permettant ainsi une analyse plus approfondie et complète de données graphiques. Les résultats sont visuellement affichés sous forme de couches thématique pour une analyse plus riche et utile aux décideurs. L'interface de QGIS telle qu'elle apparaît sur la figure 3.4 est composée des éléments suivants [40]

#### Interface

- Barre des menus, barres outils et barre d'état
- Fenêtre "couches"
- Fenêtre "carte"
- Fenêtre "données attributaires"
- Paramétrages de base [41]

#### Barre des menus, barres outils et barre d'état :

L'interface de QGIS affiche de manière standard :

- La barre des menus située en haut de l'écran ;
- Les barres d'outils contenant des outils regroupés par famille de fonctionnalités, chaque barre d'outils peut être déplacée selon vos besoins ;
- Les différentes fenêtres, cartes, aperçu, parcourir et le gestionnaire de couches ;

- Une barre d'état située en bas de l'écran, donnant un certain nombre d'informations relatives à l'affichage de la carte et au projet en cours : coordonnées du curseur, système de coordonnées, échelle, etc. [41].

Il est possible de paramétrer le nombre et la position des barres d'outils présentes à l'écran, l'interface peut être personnalisée en fonction des préférences de l'utilisateur.

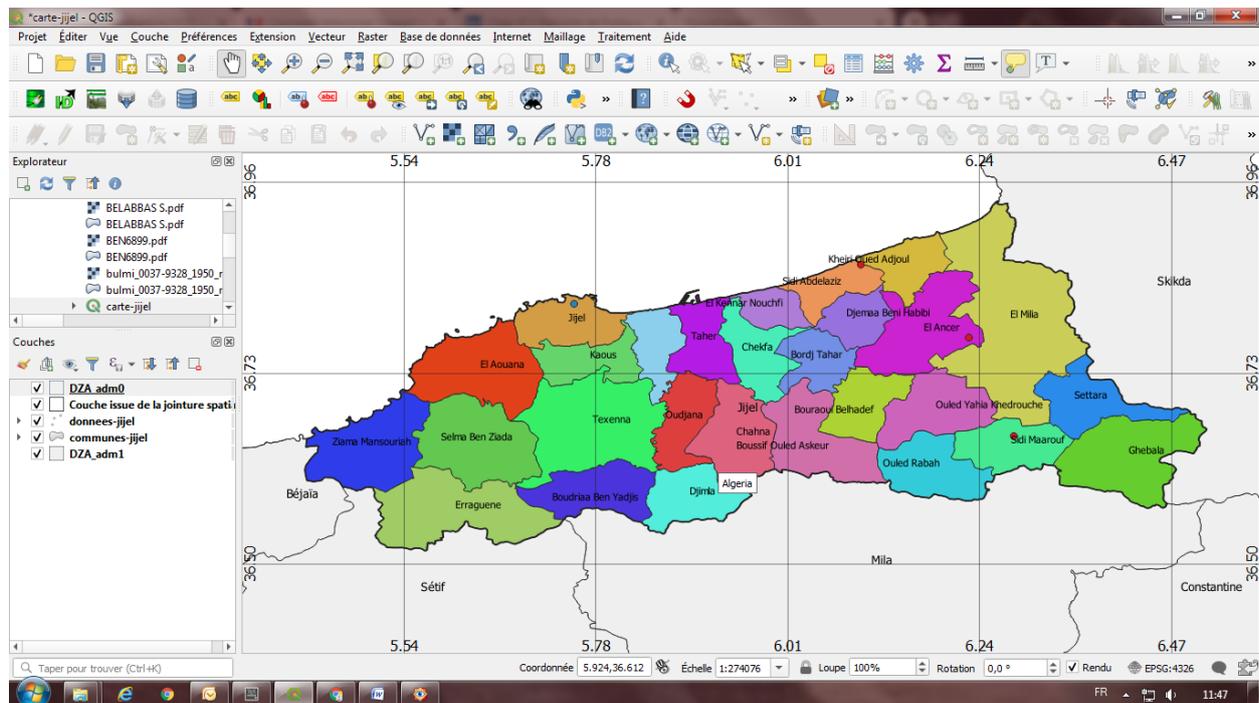
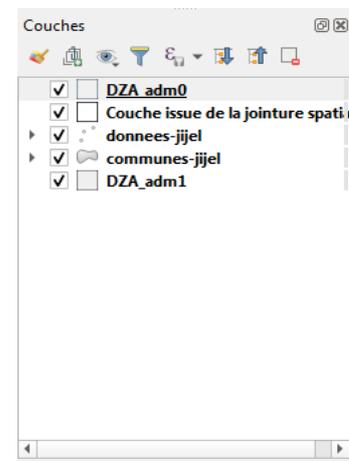


Figure 3.4 : Interface standard

Un clic droit avec la souris sur une barre d'outils permet de faire apparaître la liste des fenêtres et des barres d'outils disponibles et de choisir celles que l'on veut afficher.

**Fenêtre "couches" :** La fenêtre "couches" liste les couches présentes dans la carte. On peut ainsi :

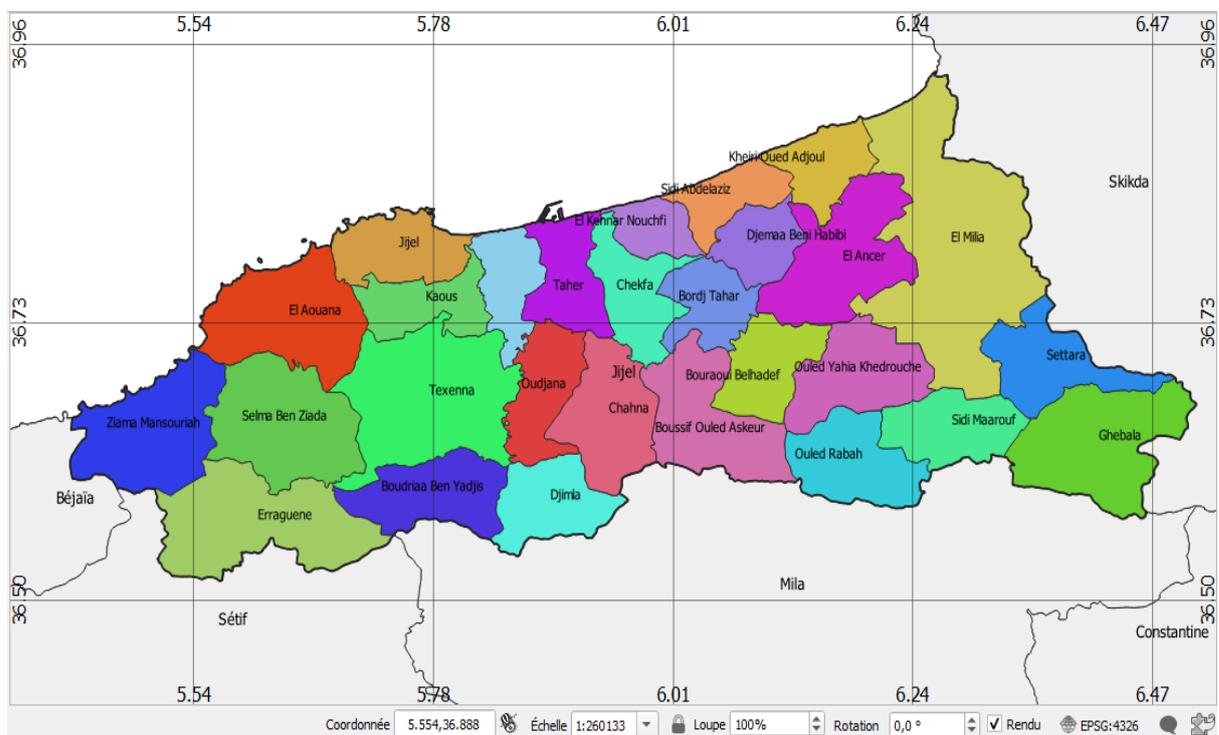
- ✓ Définir la visibilité ou non de chaque couche (cocher ou décocher la case située devant le nom)
- ✓ Modifier l'ordre d'empilement des couches (cliquer déplacer le nom de la couche)
- ✓ Permettre l'accès aux propriétés de la couche (double-cliquer sur le nom de la couche ou clic droit -> propriétés)
- ✓ Télécharger une couche [41]



**Remarque :**

Par défaut un double-clic sur le nom de la couche permet d'accéder aux propriétés. L'action du double-clic est paramétrable dans les **Préférences** → Options onglet **canevas et légendes** (on peut si on le souhaite demander que le double-clic ouvre la table attributaire).

**Fenêtre "carte" :** Cette fenêtre sert à :

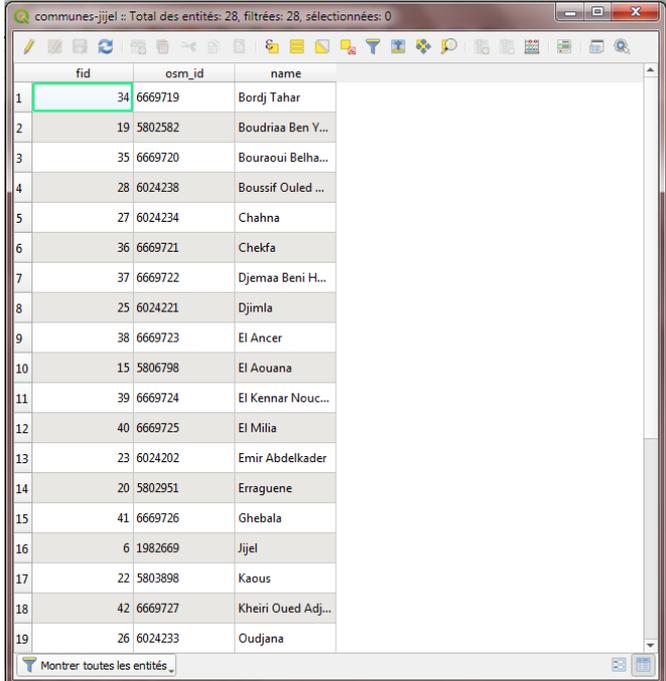


- Afficher les couches listées dans la fenêtre « couches », le contenu peut être de type raster ou vecteur ;
- Effectuer des zooms + / - pour modifier l'emprise de la carte ;
- Déplacer la carte pour porter le focus sur une zone ;
- Effectuer des opérations sur les objets comme les sélections, les mesures, l'affichage d'information, etc.... En plaçant le curseur sur la carte ;
- on peut zoomer sur la carte avec la molette de la souris ;
- on peut se déplacer sur la carte avec les flèches du clavier ou en bougeant la souris tout en gardant la touche gauche appuyée.

Nb : l'action du zoom de la souris est paramétrable dans le menu **Préférences** → **Options** onglet **Outils cartographiques** (par défaut zoom d'un facteur 2) [41].

**Fenêtre "données attributaires"** : La table d'attributs affiche les entités de la couche vectorielle sélectionnée dans la fenêtre « couches », chaque ligne correspond à une entité avec ses attributs distribués en colonnes. Cette fenêtre, qui est affichée par la commande « Ouvrir la table d'attributs » sert à :

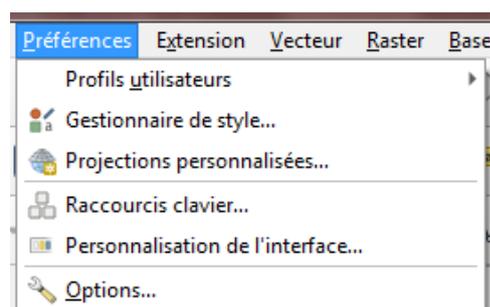
- Visualiser sous forme de tableau les données attributaires de la couche vectorielle ;
- Sélectionner des enregistrements dans la table ;
- Effectuer des opérations sur la sélection, afficher, zoomer, supprimer, ... ;
- Effectuer des opérations sur la table, gestion des colonnes, ... ;
- Modifier les valeurs des données attributaires ; [41]



	fid	osm_id	name
1	34	6669719	Bordj Tahar
2	19	5802582	Boudriaa Ben Y...
3	35	6669720	Bouraooui Belha...
4	28	6024238	Boussif Ouled ...
5	27	6024234	Chahna
6	36	6669721	Chekfa
7	37	6669722	Djema Beni H...
8	25	6024221	Djimla
9	38	6669723	El Ancer
10	15	5806798	El Acuana
11	39	6669724	El Kennar Nouc...
12	40	6669725	El Milia
13	23	6024202	Emir Abdelkader
14	20	5802951	Erraguene
15	41	6669726	Ghebala
16	6	1982669	Jijel
17	22	5803898	Kaous
18	42	6669727	Kheiri Oued Adj...
19	26	6024233	Oudjana

**Complément** : Ordre de tri, on peut modifier l'ordre d'affichage des enregistrements en cliquant sur l'en-tête d'une colonne. Une petite flèche s'affiche pour indiquer le sens du tri. Alternativement, une flèche pointant vers le bas indiquera un tri décroissant, une flèche vers le haut, un tri croissant.

**Paramétrages de base** : On peut accéder aux options de base du logiciel via le menu **Préférences** → **Options** [41]



### 3.3 Les formats supportés par QGIS :

Le logiciel QGIS permet d'afficher et de superposer des couches de données rasters et vecteurs pour différents formats et pour des systèmes de projection variés. Les formats supportés sont les suivants :

#### 3.3.1 Le format vectoriel :

QGIS utilise les formats vecteurs supportés par la bibliothèque OGR installée incluant les formats ESRI Shape files, MapInfo et Micro station ; Les tables spatiales et les vues Post GIS, MS SQL Spatial et Oracle Spatial, les bases de données AutoCAD DXF, Post GIS et de nombreux autres formats. Les données vectorielles GRASS (Geographic Resource Analysis Support System) et PostgreSQL sont gérées par des extensions natives de QGIS.

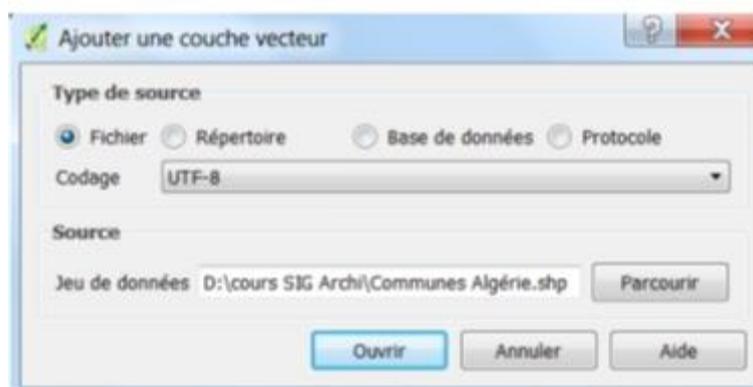
#### 3.3.2 Le format raster :

QGIS utilise les formats raster supportés par la bibliothèque GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) pour lire et écrire des rasters de multiples formats dont ArcInfo Binary Grid, ArcInfo ASCII Grid, GeoTIFF, JPEG, PNG, ERDAS IMAGINE, et bien d'autres. Des rasters peuvent également être lus par QGIS depuis des archives zip et gzip [43].

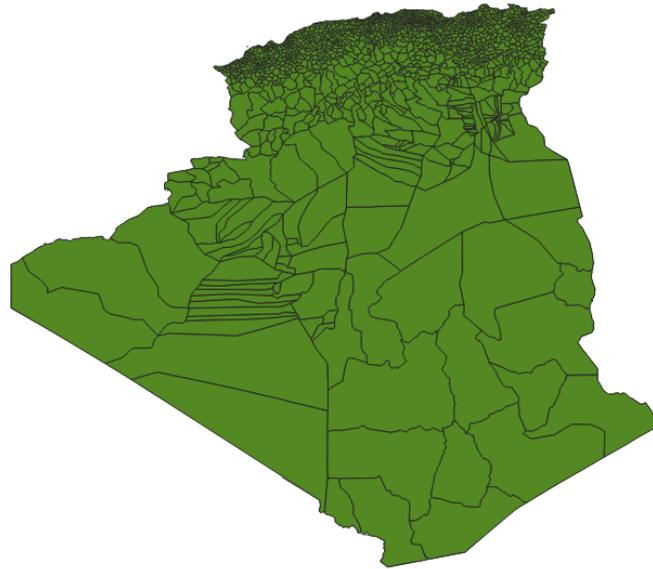
### 3.4 Visualisation des données vectorielles sous QGIS :

Nous donnons ci-dessous les étapes à suivre afin de visualiser un fichier sous un format vectoriel « **Communes Algérie.shp** » :

- Lancez **QGIS** ;
- Cliquez sur le bouton **Ajouter une couche vectrice**, (**Ctrl+Shift+V**). Une nouvelle fenêtre apparaîtra ;



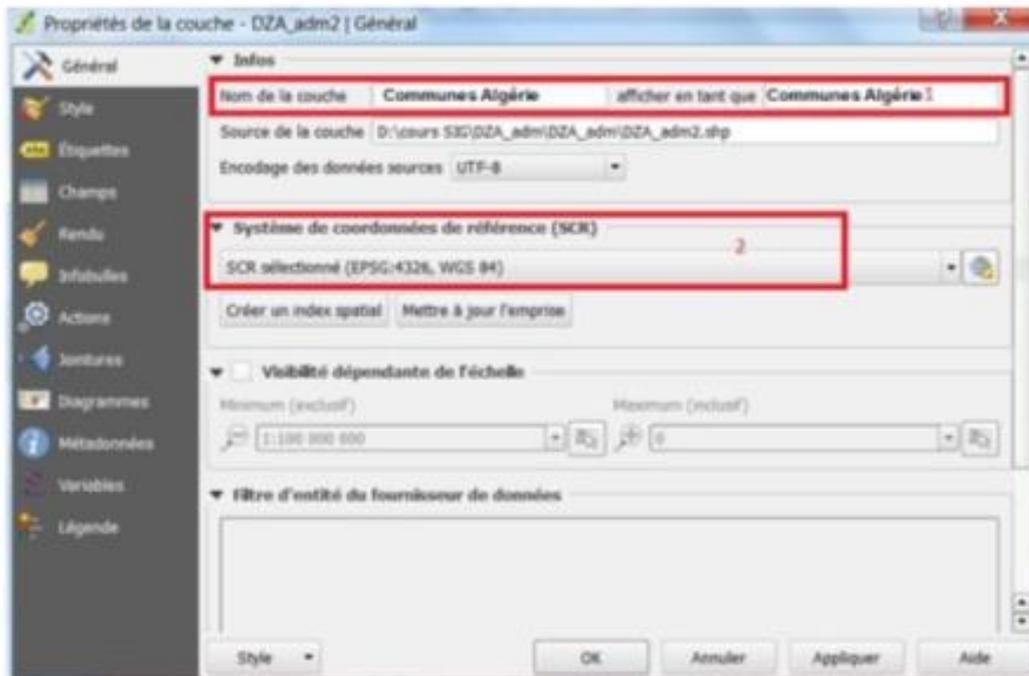
- Cocher **Fichier**, puis cliquer sur le bouton [**Parcourir**] ;
- L'outil ouvre alors la fenêtre Ouvrir une couche de vecteur et permet ainsi de charger le fichier au Format Shape « **Communes Algérie.shp** » (Figure 3.5).



**Figure 3.5 :** Affichage des communes d'Algérie.

Afin d'afficher **les propriétés** de la couche « **Communes Algérie.shp** » il suffit de suivre les étapes suivantes :

- En double-cliquant sur le nom de la couche dans la fenêtre couche ou en faisant un clic droit et en choisissant **Propriétés** dans le menu qui apparait.
- La boîte de dialogue « **Propriété de la couche** » permet d'indiquer les propriétés et les paramètres de la couche vecteur affichée (Figure 3.6).
- A partir de **Général** il est possible de connaître plusieurs informations importantes sur la couche affichée notamment le système de coordonnées de référence (SCR) c.à.d. le système de projection de la carte. [39]



**Figure 3.6 :** Propriété de la couche affichée.

### 3.5. Fonctionnalités :

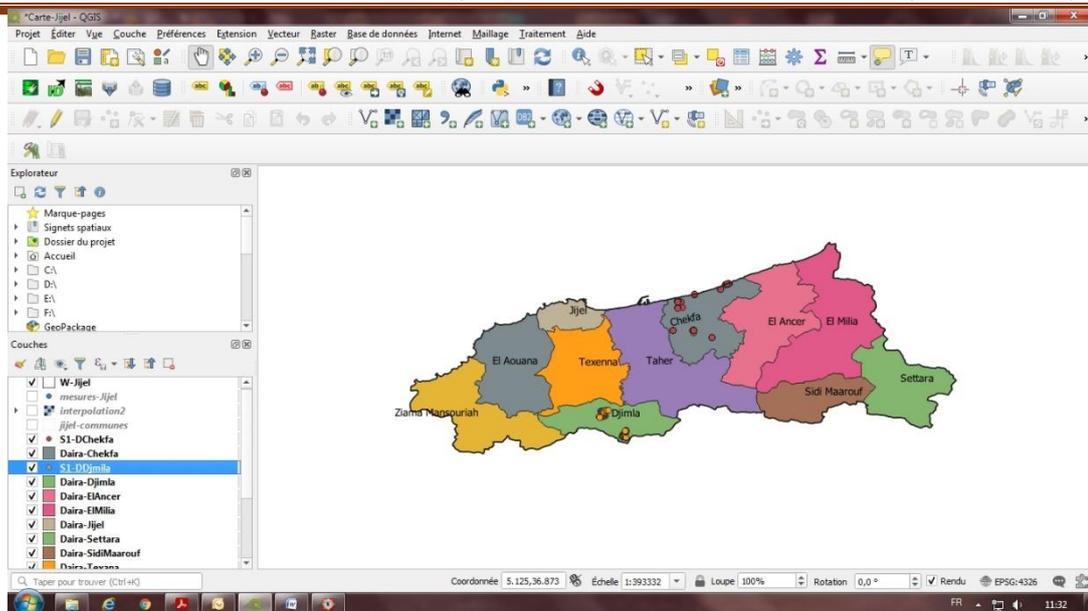
- Visualiser des données
- Parcourir les données et créer des cartes
- Créer, éditer, gérer et exporter des données
- Analyse data
- Publier des cartes sur Internet ...etc. [42].

### 4. Mesures du gamma ambiant dans la willaya de Jijel

Le gamma ambiant à l'extérieur des habitations englobe le rayonnement gamma terrestre auquel s'ajoute la contribution du gamma provenant des matériaux de construction (graviers, briques, ciment, pierres, etc. qui contiennent des radionucléides primordiaux).

Les mesures, du rayonnement gamma ambiant, ont été réalisées dans 24 communes de la région de Jijel, à un mètre au-dessus du niveau du sol, au moyen d'un détecteur portable de type RadEye PRD qui contient un scintillateur de type NaI(Tl) et un photomultiplicateur miniature de haute qualité (voir chapitre 2). La gamme d'énergie de ce détecteur varie de 30 à 1300 keV ce qui ne permet pas la détection des rayons cosmiques, et rend le détecteur plus approprié pour les mesures du gamma terrestre.

A chaque point de mesure quatre valeurs sont relevées et leur moyenne est calculée, ce qui permet de surmonter le problème des fluctuations du détecteur. Les points de mesures ont été repérés par leurs coordonnées géographiques en utilisant une application GPS (Géo-



Positionnement par Satellite d'un téléphone mobile (application téléchargeable sur Google Play).

Nous avons effectué 798 mesures dans 24 communes. Ces mesures ont été sauvegardées dans un fichier Excel puis enregistré sous format CSV. Les communes ont été regroupées en daïras.

Pour faire l'étude statistique des mesures et réaliser la carte de distribution des débits de doses du gamma ambiant mesurés dans la région de Jijel, nous avons suivi les étapes suivantes :

Afin d'attribuer à chaque Daïra les données mesurées du gamma ambiant on procède de la manière suivante avec le logiciel QGIS :

### 1. Vecteur

a. Outils de gestion des données

b. Joindre les attributs par localisation

i. Couche source : le fichier contenant les mesures (Mesures-Jijel)

ii. Joindre la couche : Daïra-Chekfa

iii. Prédicat géométrique : intersecte, contient, chevauche, à l'intérieur.

iv. Type de jointure : prendre uniquement les attributs de la première entité localisée

v. Supprimer les enregistrements qui ne peuvent pas être joints

vi. Exécuter

vii. Fermer.

Pour faire l'étude statistique des données mesurées de chaque daïra avec le logiciel QGIS, on suit les étapes suivantes :

1. On clique dans le menu sur « **Traitement** » puis « **boîte à outils** »
2. **Analyse vectorielle.**
3. **Statistiques basiques pour les champs.**
  - a. Couche source : exemple S1-DChekfa
  - b. Champ pour le calcul des statistiques : Moyenne
  - c. Statistiques : Enregistrer vers un fichier (Stat-S1-DChekfa) -----> QGIS crée un fichier Stat-S1-DChekfa.HTML qui contient les statistiques des données mesurées (valeur minimale, valeur maximale, la moyenne, l'écart type, nombre de points, ...).

#### **5. Résultats des débits de doses pour chaque daïra (valeur moyenne, écart-type, valeur minimale et maximale)**

On représente les statistiques pour chaque daïra dans le tableau 3.2, et on calcule la dose annuelle (X) par l'application de l'équation (1.19) :

$$X (\mu\text{Sv/a}) = D_{\text{moyenne}} \times F = D_{\text{moyenne}} (\text{nSv/h}) \times 10^{-3} \times 1753.2$$

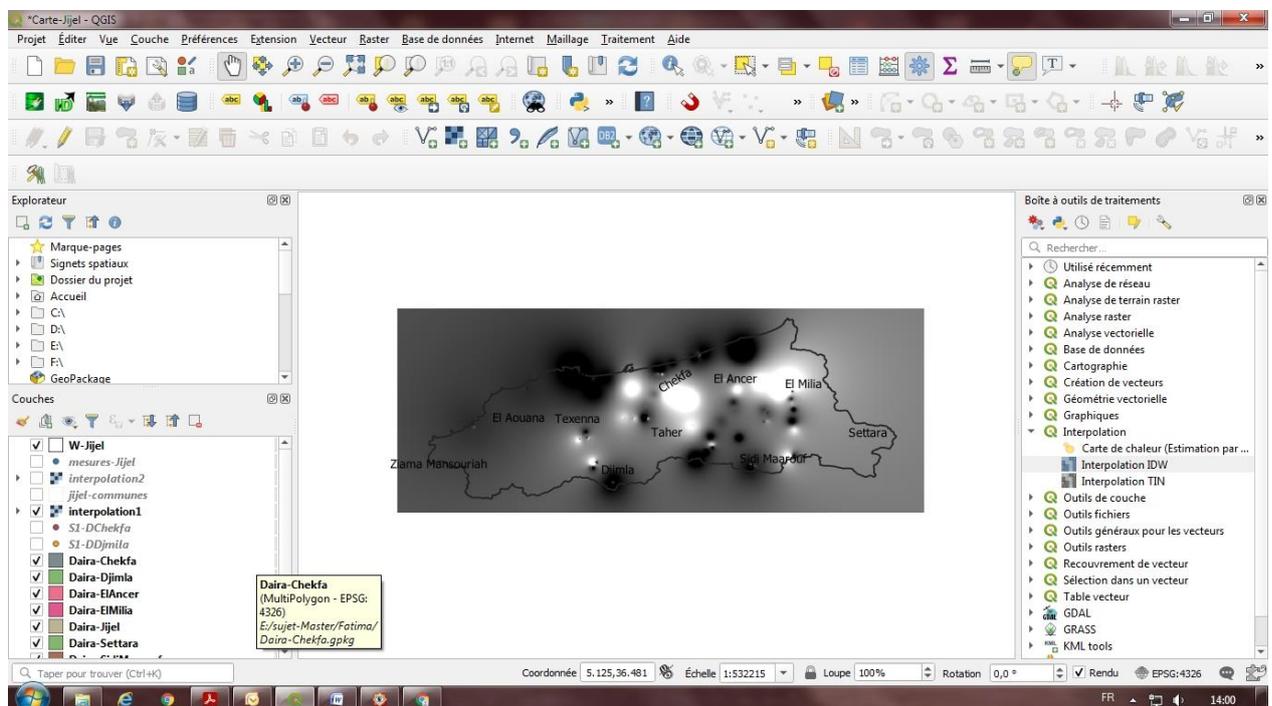
**Tableau 3.2** : Résultats des débits de doses pour chaque daïra (valeur moyenne, écart-type, valeur minimale et maximale).

Daïra	Débit de dose moyen (nSv/h)	Ecart- type (nSv/h)	Etendu du débit de dose (nSv/h)	Dose annuelle ( $\mu\text{Sv/a}$ )
Sidi Maarouf	50.08	15.44	17.5-100.0	87.80
El Milia	59.10	19.69	30.0-117.5	103.61
El Ancer	51.27	15.45	17.5-100.0	89.88
Texana	49.00	13.00	25.0-87.5	85.91
Chekfa	54.82	22.23	20.0-115.0	96.11
Taher	54.81	14.83	27.5-92.5	96.09
El Aouana	47.31	6.71	35.0-67.5	82.94
Ziama Mansouriah	47.57	9.93	30.0-72.5	83.40
Djimla	48.86	17.55	20.0-105.0	85.66
Jijel	39.60	10.00	15.0-52.5	69.43

## 6. Etablissement de la cartographie des débits de dose dans la wilaya de Jijel

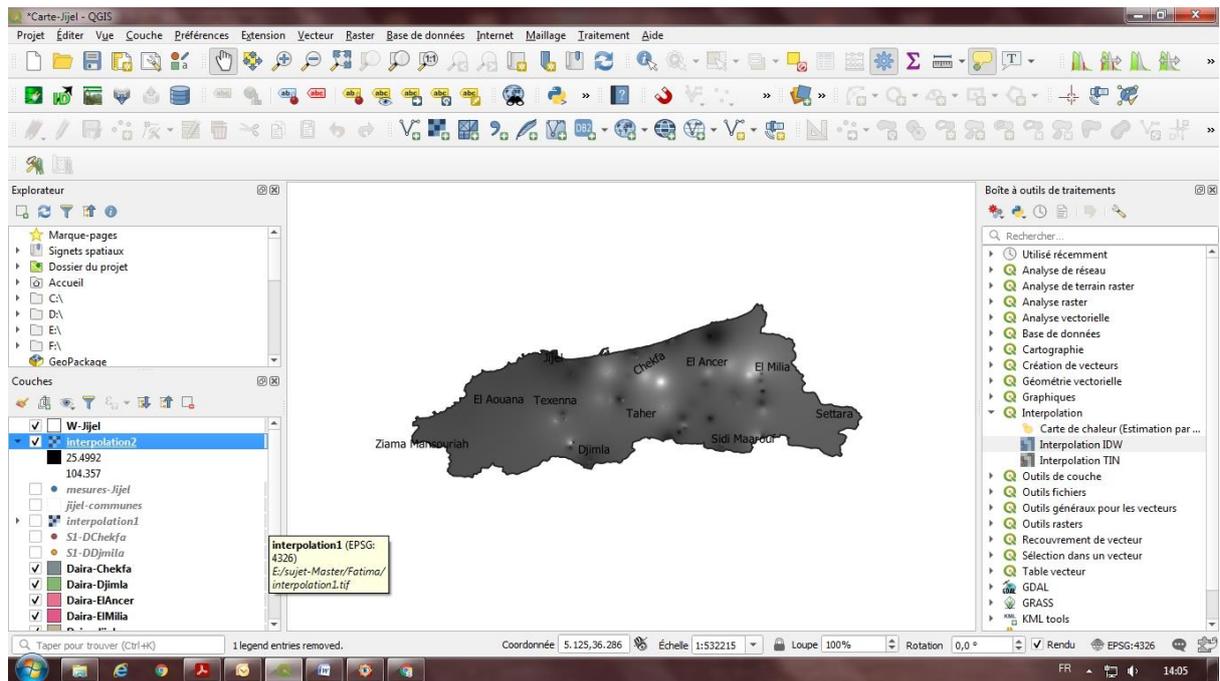
1. On clique dans le menu sur « **Traitement** » puis « **boîte à outils** »
2. **Interpolation.**
3. **Interpolation IDW.**
  - a. Couche vectorielle : Mesures-Jijel
  - b. Attribut d'interpolation : Moyenne
  - c. Cliquer sur +
  - d. Emprise : sélectionner l'emprise depuis le canevas : un plus apparait pour sélectionner toute la wilaya de Jijel.
  - e. Taille du pixel : **0,001**
  - f. Exécuter
  - g. Fermer

On obtient la figure suivante qu'il faut découper selon la forme de la wilaya de Jijel en suivant les étapes citées ci-dessous :



1. Cliquer sur **Raster**
2. **Extraction**
3. Découper selon une couche de masque :
  - a. Couche source : Interpolation
  - b. Couche masque : W-Jijel
  - c. Exécuter
  - d. Fermer

On obtient la figure suivante :



On change les couleurs :

1. On double clique sur « Interpolation-WJijel » dans la fenêtre des couches.

2. Type de rendu pseudo couleur à bande unique.

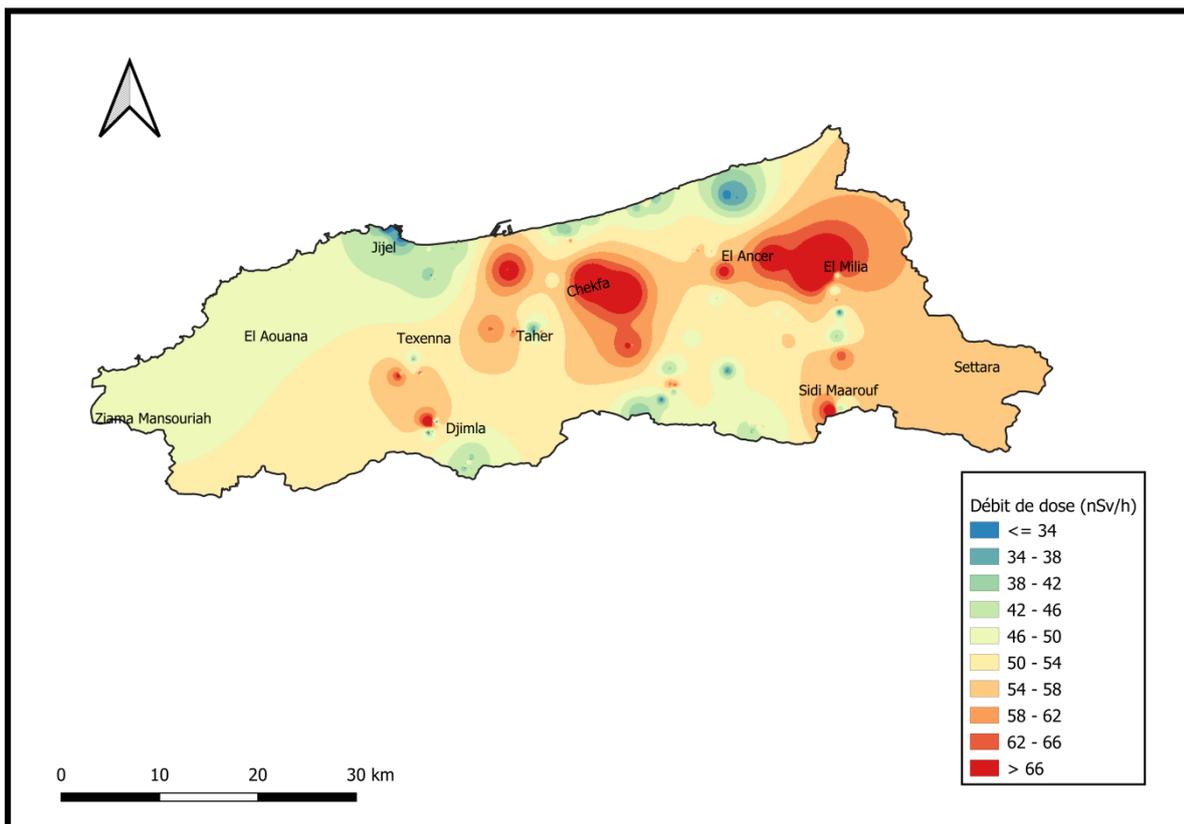
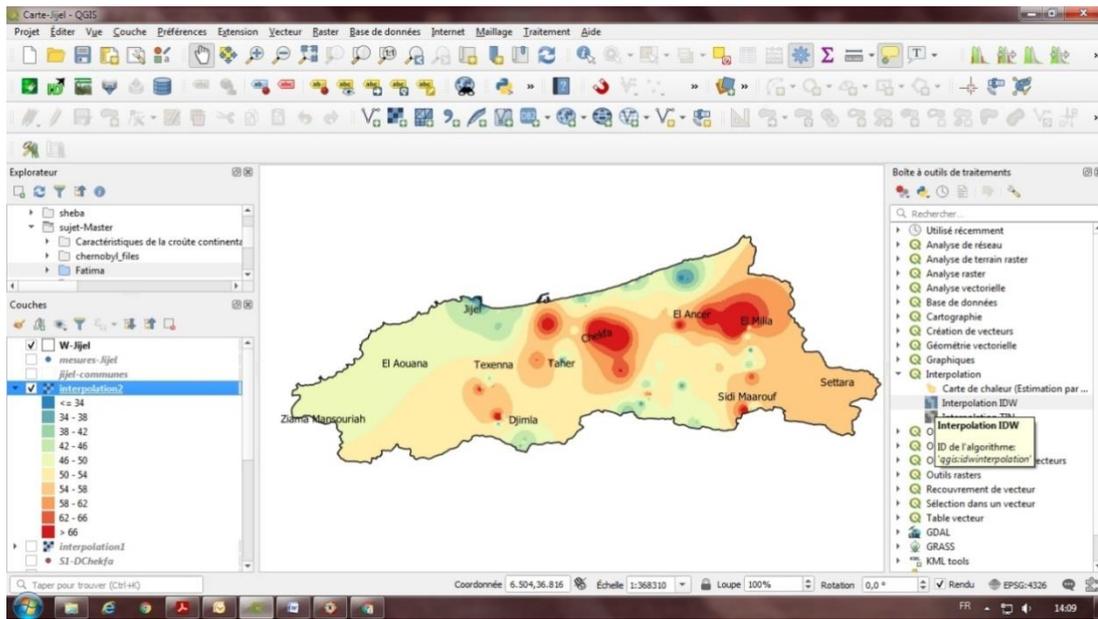


Figure 3.7 : Cartographie des débits de doses dans la wilaya de Jijel.

### 7. Discussion des résultats :

Les débits de doses dus au rayonnement gamma terrestre mesurés dans les 10 daïras de la wilaya de Jijel varient entre 15.0 et 117.5 nSv/h. La valeur moyenne du débit de dose est de 52.2 nSv/h, qui correspond à une dose efficace annuelle de 91.52  $\mu$ Sv/a. Cette dernière est un peu plus élevée que la moyenne mondiale de la dose annuelle d'exposition qui vaut 70  $\mu$ Sv/a [24].

Le débit de dose moyen le plus élevé a été enregistré dans la daïra d'El Milia, il vaut 59.10 nSv/h, qui correspond à une dose d'exposition annuelle de 103.61  $\mu$ Sv/a, c'est une dose assez élevée par rapport à la moyenne mondiale.

Des débits de doses moyennement élevés ont été mesurés dans les daïras d'El Aouana, Ziana Mansouriah, Djimla, Texana, Sidi Maarouf, El Ancer, Taher et Chekfa, leurs valeurs moyennes varient de 47.31 à 54.82 nSv/h, correspondant à des doses annuelles de 82.84 à 96.11  $\mu$ Sv/a, qui restent plus élevées que la moyenne mondiale.

Le débit de dose moyen évalué dans la daïra de Jijel est de 39.60 nSv/h ce qui correspond à une dose annuelle de 69.43  $\mu$ Sv/a. Cette dernière valeur est du même ordre de grandeur que la moyenne mondiale.

La cartographie des débits de dose gamma à l'extérieur des habitations, dans la région de Jijel (figure 3.7), montre des niveaux de débits de doses supérieurs à 66 nSv/h dans les régions d'El-Milia, El-Ancer, Chekfa et Taher caractérisées par le massif ancien dans lequel on distingue des terrains métamorphiques et des terrains primaires peu métamorphisés (granite, porphyres et liparites).

Des débits de dose variant entre 54 et 66 nSv/h ont été obtenus dans les localités Sidi Maarouf, Ouadjana, Djemaa Beni Habibi et Bordj Tahar qui sont caractérisées par les massifs carbonatés et des terrains sédimentaires.

Des débits de doses variant de 42 à 54 nSv/h ont été enregistrés dans les bassins de Ziana Mansouriah principaux constituants des massifs carbonatés de la chaîne calcaire, ainsi que dans la gouttière reliant les Aftis au col d'El Aouana qui est comblée par des dépôts marneux à calcaires marneux.

Les débits de doses les plus faibles ont été enregistrés dans le bassin Néogène de Jijel constitué par les marnes du Burdigalien. Le débit de dose moyen dans cette région vaut 39.60 nSv/h correspondant à une dose d'exposition annuelle de 69.43  $\mu$ Sv/a, qui est du même ordre de grandeur que la moyenne mondiale de la dose annuelle d'exposition au rayonnement gamma terrestre.

Les débits de dose du rayonnement gamma terrestre sont :

- Très élevés dans les roches granitiques, les schistes carburés et les phosphates ;
- Moyennement élevés dans les schistes, les roches carbonatés, les roches sédimentaires, les argiles et les marnes ;
- Faibles dans les roches calcaires et les sables.

Ces débits de doses sont aussi influencés par les activités humaines qui contribuent à la redistribution des radionucléides primordiaux, comme l'exploitation minière et pétrolière, ainsi que la fabrication des différents types de matériaux de construction (bétons, ciments, pierres taillées, ...). Il faut noter aussi que la radioactivité résiduelle due aux essais atomiques et aux accidents nucléaires contribue au rayonnement gamma terrestre.