



Institut des Sciences de la Terre



Rapport de stage de Master 2 Géodynamique intitulé :

« Évolution tardi-Quaternaire de la basse-vallée de l'Isère »

Réalisé par
Coline Ariagno

Encadré par
Pierre Valla, Peter Van Der Beek et Arjan De Leeuw (ISTerre)
Frédéric Lacquement (BRGM)

Année universitaire 2018-2019
Février-Juin 2019

Soutenance 25 Juin 2019



Master Sciences de la Terre et des planètes, Environnement

Attestation de non plagiat

Je soussigné(e) (Prénom NOM)

Ariagno Coline

Auteur du mémoire (Titre)

Évolution Plio-Quaternaire de la basse-vallée de l'Isère

Déclare sur l'honneur que ce mémoire est le fruit d'un travail personnel et que je n'ai ni contrefait, ni falsifié, ni copié tout ou partie de l'œuvre d'autrui afin de la faire passer pour la mienne.

Toutes les sources d'information utilisées et les citations d'auteur ont été mentionnées conformément aux usages en vigueur.

Je suis conscient(e) que le fait de ne pas citer une source ou de ne pas la citer clairement et complètement est constitutif de plagiat, et que le plagiat est considéré comme une faute grave au sein de l'Université, pouvant être sévèrement sanctionnée par la loi.

Fait àGrenoble.....,

Le ...14/06/2019.....

Signature de l'étudiant(e)



Remerciements :

Comment ne pas remercier chaleureusement notre petit écureuil préféré ! Toujours disponible et attentif à ce que l'on ne manque pas de travail, tu nous as transmis avec passion ton savoir Luminescent. Un grand merci pour ton implication, ta réactivité et ta bonne humeur, tu nous auras accompagné jusqu'à la fin du compte à rebours !

Toujours présent, quelles que soit l'heure ou la distance, un grand merci à toi Peter pour tous les conseils avisés et les remarques pertinentes que tu nous as donné, ils n'ont fait que renforcer ma curiosité et mon envie progresser.

Retrouver ma zone de « confort » avec un peu de sédimentologie a été un vrai plaisir. Merci à toi Arjan, pour ton enthousiasme sans limite, on retourne quand tu veux sur le terrain, en commandant le soleil cette fois ci !

Axe majeur de mon travail, l'analyse cartographique n'aurait probablement pas été ce qu'elle est sans l'expérience et les conseils de Frédéric Lacquement. Merci pour cette découverte, en espérant que mon travail puisse vous servir et trouver une suite.

Bien qu'ils aient mis longtemps à nous accueillir, je remercie les collègues géologues (fins jardiniers à leurs heures perdues !) de l'aile Sud Est du 3^{ème} étages pour leur humeur joviale quotidienne.

Je n'oublie pas non plus nos laborantines bernoises, Natacha et Elena, qui ont fini de préparer méticuleusement nos échantillons OSL.

Enfin, merci aux copains, Kevin, Nicolas, Chloé, Fabio..., qui ont participé de près ou de loin à ce projet. Par des petits coups de mains ou des assistances téléphoniques, vous m'avez permis chaque jour d'avancer !

Résumé :

Les bassins sédimentaires périphériques de l'arc alpin constituent des archives de l'histoire érosive des Alpes. Situés sur la bordure ouest de la chaîne des Alpes, les dépôts fluvioglaciers de la basse vallée de l'Isère représentent une zone d'étude précieuse pour définir les cycles d'accumulation/érosion et ainsi reconstruire l'évolution tardi-Quaternaire de cette région. L'utilisation des outils numériques modernes (MNT, SIG) nous a permis de proposer une classification objective et détaillée des différentes terrasses alluviales le long de l'Isère. Treize niveaux ont ainsi été identifiés et l'évolution de leurs pentes le long de l'Isère initie une réflexion quant à la dynamique fluviale qui a conduit au dépôt. L'utilisation de la technique de datation par Luminescence (OSL) a permis de donner un cadre chronologique à notre étude. Ces résultats nous ont amené à rediscuter la chronologie préexistante. Enfin, nous avons testé une méthode de détection automatique des clastes afin de quantifier les granulométries en présences dans les terrasses alluviales.

Abstract:

Sedimentary basins of the mountain range record well the erosive history of the Alps. The Isère lower valley is one of the biggest foreland basin on the west side of the range and its fluvial deposits are well represented. Their study supplies lots of information about the evolution of the quaternary period. In this report, modern numerical methods (DEM, GIS) were used to identify new morphologies and to suggest a more precise classification. The slopes of these surfaces were particularly discussed. Then, five alluvial terraces were dated by using optical stimulated Luminescence dating method (OSL). These data helped to build the chronological history of this part of the basin. Finally, a grain size analysis was performed on an automatic detection pebbles' software.

Table des matières:

Introduction :.....	6
Contexte géologique et état de l'art :.....	7
<u>I.</u> Analyse cartographique	9
I.1. Méthodologie :.....	9
I.1.1 Acquisition des MNT et logiciel de traitement :.....	9
I.1.2 Détection manuelle des terrasses fluvioglaciales :.....	9
I.1.3 Nomenclature et corrélations des terrasses :.....	11
I.1.4 Cartographie prédictive des terrasses :.....	11
I.1.5 Projections des surfaces sur un profil 2D.....	12
I.2 Résultats et interprétations des projections :.....	13
I.2.1. Les principales terrasses :.....	13
I.2.2. Terrasses intermédiaires et terrasses d'abrasion :.....	15
II. Datation des dépôts quaternaires par la méthode de Luminescence (OSL).....	16
II.1 Principes de la datation par luminescence :.....	16
II.2 Échantillonnage et préparation :.....	17
II.2.1 Sur le terrain :.....	17
II.2.2 En Laboratoire :.....	18
II.3 Analyses et résultats :.....	20
II.3.1 Analyses.....	20
II.3.2 Résultats :.....	22
II.4 Interprétations :.....	23
III. Analyse sédimentologique des terrasses alluviales	25
III.1 Méthodologie :.....	25
III.1.1 Terrain :.....	25
III.1.2 Analyse pétrographique :.....	25
III.2 Résultats et Interprétations :.....	26
III.2.1 Lithologies et faciès :.....	26
III.2.2 Granulométrie :.....	26
III.2.3 Figures de courants et environnements de dépôts :.....	27
IV. Discussion.....	30
1. Chronologie et cartographie :.....	30
2. Les terrasses alluviales : marqueurs de la dynamique glaciaire :.....	32
3. Perspectives :.....	34
Conclusion	35
Bibliographie	36

INTRODUCTION :

La connaissance et la compréhension du sol et du sous-sol conditionnent l'aménagement des territoires, la gestion des ressources et la prévention des risques naturels pour les populations. Dans ce cadre, le projet RGF (Référentiel Géologique de la France) a pour objectif d'approfondir et de réviser les connaissances acquises afin de proposer une information géologique 3D, homogénéisée, basée sur les outils numériques. Le présent projet de recherche s'inscrit dans le cadre du RGF Alpes initié par le BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière).

Les bassins sédimentaires périphériques des Alpes constituent des archives de l'histoire érosive de la chaîne. Tributaire de la dynamique des zones alpines en déformation (tectonique, érosion...) et façonné par les glaciations successives du quaternaire, le bassin de la basse vallée de l'Isère, depuis la cluse de Voreppe jusqu'à la confluence avec le Rhône, illustre parfaitement ce lien entre zones internes et zones externes. Depuis les dépôts miocènes du plateau du Chambaran jusqu'aux terrasses fluvioglaciales du Quaternaire, l'étagement géomorphologique visible témoigne des cycles d'érosion/dépôts postglaciaire (Brocard et al., 2003). L'objectif du présent projet est de mettre en évidence le potentiel géomorphologique et sédimentologique de ce bassin d'avant pays afin de proposer une évolution de l'histoire tardi-Quaternaire de la basse vallée de l'Isère. Objets morphologiques d'envergures et marqueur temporel, les terrasses alluviales serviront de témoins pour quantifier les changements dynamiques et/ou structurels du bassin.

Trois axes de recherche seront ainsi développés dans le présent mémoire :

1. Essentielle dans l'interprétation des paysages, une cartographie exhaustive et détaillée des morphologies est nécessaire. Pour cela, différentes ressources sont à disposition : les travaux pionniers de Mandier (1973), les campagnes de terrain (GPS) et la base de donnée BRGM qui seront intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG). La combinaison de ces outils traditionnels avec les outils modernes de visualisation/cartographie numérique (MNT ; Modèle Numérique de Terrain, 5m fournis par l'IGN) permettra de confirmer et de compléter les corrélations des séquences fluviatiles déjà proposées. Les contraintes chronologiques apportées par les mesures OSL contribueront à renforcer les hypothèses et les nouvelles corrélations envisagées.
2. Exceptées quelques datations au radiocarbone (Mandier et al., 2003), la chronologie et les corrélations des terrasses fluviatiles ont exclusivement été établies avec des données topographiques et des relevés de terrain. Dans un premier temps, je souhaite apporter de nouvelles données chronologiques via la technique de datation par luminescence (OSL, Optically Stimulated Luminescence) (Rhodes, 2011). Depuis l'échantillonnage jusqu'à l'analyse des résultats en passant par la préparation des échantillons en laboratoire, l'ensemble du protocole sera réalisé et rapporté ci-après.
3. Enfin, basé sur un travail de terrain, une analyse sédimentologique des terrasses sera réalisée. Cet aspect du projet a pour but de retracer les paléo-environnements de dépôts et la paléo-hydrologie de la zone d'étude. Une comparaison spatiale et temporelle de ces données permettra de réfléchir à l'évolution morphologique et dynamique globale de cette portion de l'Isère. L'étude qualitative des différents sites d'échantillonnage permettra d'identifier l'origine des alluvions composant les terrasses fluviatiles. Une méthode de traitement d'image sera développée afin de fournir des données statistiques sur les granulométries en présence. L'observation des géométries sédimentaires et la mesure des marqueurs de courants

(imbrications) apporteront également des informations sur les dynamiques fluviales lors des périodes glaciaires/interglaciaires.

Pour chacun de ces trois axes de recherche, étudiés tout d'abord de manière indépendante, les méthodes utilisées seront explicitées. Les résultats avec leurs interprétations permettront d'amorcer des réponses aux problématiques soulevées avant de discuter de la consistance de l'ensemble du travail réalisé.

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET ETAT DE L'ART :

Directement au contact des reliefs, entre les massifs subalpains de la Chartreuse à l'Est et du Vercors au Sud, le bassin d'avant-pays dauphinois représente une archive sédimentaire remarquable. La morphologie du bassin se distingue par la présence du vaste plateau du Chambaran dont les contours ont été sculptés par deux réseaux de drainage majeurs, la Bièvre-Valloire au Nord et la vallée de l'Isère au Sud. Cette surface subplane de plus de 3000km² est construite par la méga-séquence Miocène caractérisé par une transition diachrone entre des faciès marins à la base et des faciès continentaux au sommet (Clauzon, 1990). La préservation du plateau de Chambaran a fait de celui-ci un objet de choix pour étudier la relation entre processus internes (bascullement tectonique quaternaire) et externes (climat / érosion) (Champagnac et al., 2008).

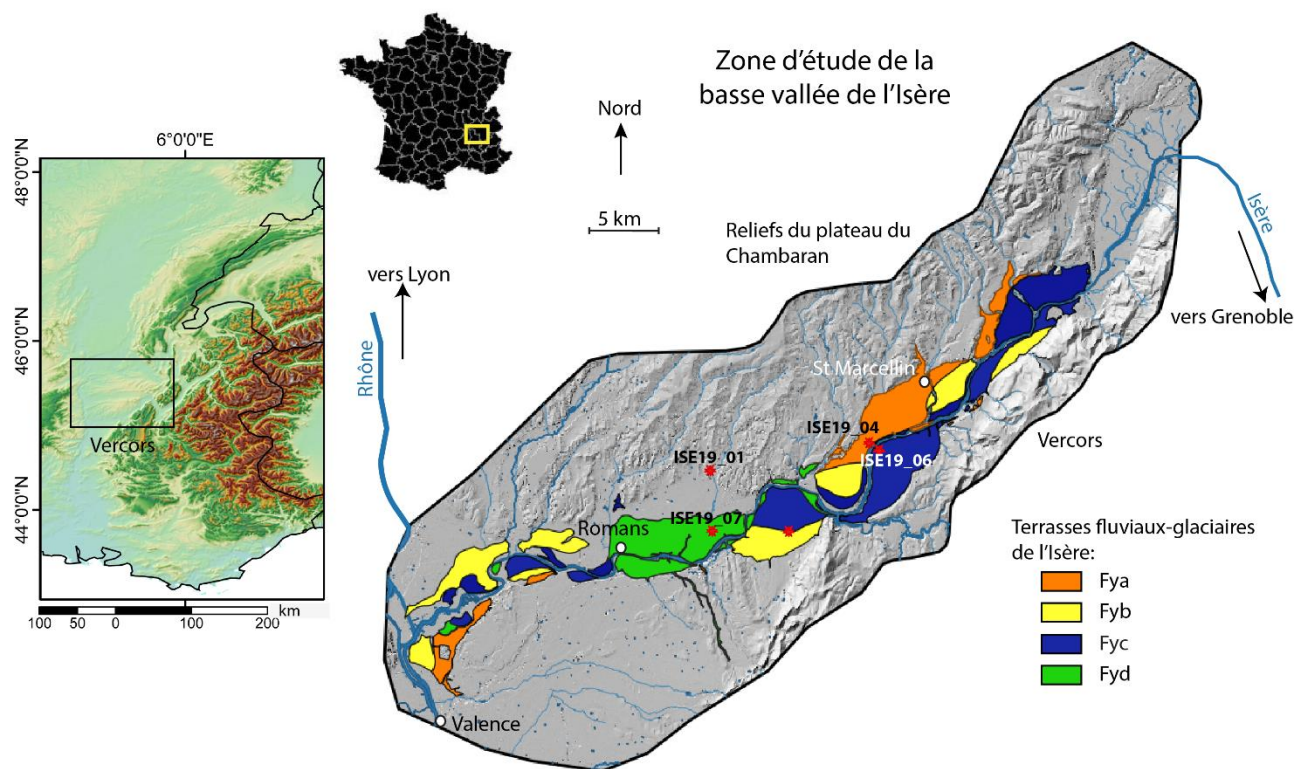


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude. La carte régionale (gauche) permet de situer le plateau de Chambaran le long de la chaîne des Alpes (cadre noir). Les différents étages des terrasses alluviales (Polygones de couleurs) s'agencent de façon aléatoires le long de l'Isère (feuille Romans-sur-Isère (N°795) et Grenoble (N°772), 1/50000). Seuls les principales terrasses sont représentées (Würm) pour donner un ordre de grandeur des objets étudiés dans le présent rapport.

Partie intégrante du bassin d'avant-pays, la partie aval du bassin versant de l'Isère constitue notre zone d'étude. L'incision progressive de l'Isère au cours des différents cycles glaciaires/interglaciaires est aujourd'hui illustrée par plus de 250m de dénivelé entre le cours d'eau et les hauts reliefs du Chambaran. Témoins des phases de dépôts, les terrasses fluvio-glaciaires qui s'agencent en puzzle

dans la plaine alluviale forment un ensemble de morphologies planes et étagées qui repose sur les dépôts sableux tidaux de la séquence Miocène. La relation entre phases d'accumulations et périodes froides est mise en évidence via la présence d'une faune typique des milieux froids insérée dans les dépôts ou la proximité des terrasses avec les derniers cordons morainiques (lien topographique et sédimentologique) (Mandier, 1984). D'après ce cadre conceptuel, les terrasses fluviales se déposent principalement pendant les périodes glaciaires et leur incision intervient dès le début de la récession du glacier et se poursuit pendant la période interglaciaire. Le Quaternaire (de 2.5Ma à ajd) est en effet marqué par une succession de fluctuations climatiques dont la chronologie a été établie via l'étude des stades isotopiques de l'oxygène (biblio). Quatre grandes périodes de glaciation sont classiquement utilisées dans les reconstructions paléo-Quaternaires des Alpes (Penck & Brückner, 1909) : le Gunz, le Mindel, le Riss et le Würm. Les objets géomorphologiques (blocs erratiques, moraines, ...) du Gunz et du Mindel sont difficilement observables, les glaciations postérieures ayant effacés leurs traces. En revanche, les morphologies liées au Riss et au Würm sont largement représentées sur notre zone d'étude. Les changements de dynamique fluviales induits par ces grandes variations climatiques sont à l'origine de l'agencement des terrasses et du paysage actuel.

(Bonnet & Bornand, 1970) ont proposé une première corrélation de ces terrasses alluviales. A partir d'une étude pédologique détaillée (basée sur l'étude des paléosols), de repères paléontologiques et topographiques, ils identifient et classifient les paliers des terrasses comme étant wurmiens, rissiens ou mendéliens. Cette première stratigraphie des dépôts quaternaires a par la suite été reprise plus en détail par Mandier (1973). En proposant une cartographie des terrasses entre Saint Nazaire et Valence (Mandier, 1973), ce dernier a subdivisé les périodes glaciaires établies par Bonnet & Bornand (1970) pour le Würm (Fya, Fyb...) et le Riss (Fxa, Fxb,...). Avec une étude de terrain approfondie, plusieurs coupes structurales 2D, de nouvelles corrélations ont ainsi été proposées. Au terme de ce travail, il attribue le maximum du Würm au stade inférieur (Fya) et note l'apparente disparition de cette vaste terrasse de St Marcellin dans la partie aval. Les corrélations qu'il propose montrent une pente qui s'aplanie vers l'aval pour l'ensemble des terrasses. Les terrasses du Riss s'illustre par une pente plus forte en amont. Il observe également de nombreux recouvrements locaux, d'origine alluvionnaire ou gravitaire issus du Vercors, qui peuvent modifier la morphologie de ces surfaces. La cartographie numérique du BRGM au 1/50 000ème s'appuie notamment sur l'ensemble de ces travaux.

A l'occasion de la construction de l'autoroute, la zone de Saint Hilaire-Saint Nazaire a également fait l'objet d'un travail de sédimentologie plus détaillé (Mandier et al., 2003). Un log et une coupe 2D sur le Furand (affluent de l'Isère au niveau de Saint Lattier) ont été réalisés et constituent les seules contraintes chronologiques de la zone d'étude. Les datations radiocarbone sont issues d'échantillons provenant d'un étage en contre bas de la terrasse largement étendue de Saint-Marcellin datée du Würm inférieur (Fya). En se basant sur la cartographie numérique actuelle, cet âge de 30 000 ans, relié au stade D de l'affluent, peut être attribué à la terrasse Fyc, sous-étage du Würm supérieur.

I. ANALYSE CARTOGRAPHIQUE

Basée sur un travail de terrain approfondi, la cartographie de Mandier (1973) reporte de façon détaillée les principaux reliefs de la vallée de l'Isère, entre St Nazaire et Valence. Le découpage des formations quaternaires qu'il propose a ensuite été repris par le BRGM pour proposer une carte géologique plus étendue au 1/50000ème (feuille de St Romans). Cependant, certaines incohérences entre les corrélations de Mandier (1973) et de Bonnet et Bornand (1970) nous ont poussés à retravailler sur cette cartographie en utilisant les nouveaux outils numériques. Cette approche a permis de développer une méthodologie basée sur les modèles numériques de terrain (MNT) haute résolution de l'IGN (5m). Un nouveau découpage des formations et une interprétation différente seront donc proposés sur la portion de l'Isère entre Vinay et Romans-sur-Isère. Marqueurs du niveau fluvial au moment du dépôt, les niveaux de terrasses sont les témoins des paléo pentes de l'Isère. Les objectifs de ce travail étaient tout d'abord de visualiser l'évolution de ces surfaces dans le temps et l'espace, de confirmer ou non les travaux de corrélation de Bonnet et Bornand (1970) et de Mandier (1973) puis de les compléter en apportant de nouvelles informations issues des outils numériques.

I.1. Méthodologie :

I.1.1 Acquisition des MNT et logiciel de traitement :

Soixante-six "dalles" de MNT haute résolution ont été acquises via la plateforme professionnelle de l'IGN. Chacune d'entre elles couvrant 25km² de surface, nous avons travaillé sur une emprise de 1650km². Le traitement de ces données (fusion, mise en forme, analyse, ...) a ensuite été réalisé sous le logiciel de SIG Qgis (Madeira 3.14).

I.1.2 Détection manuelle des terrasses fluvio-glaciaires :

Caractérisées par des morphologies planes à grandes échelles, les terrasses fluviales sont aisément reconnaissables dans le paysage. Bien qu'une certaine inclinaison vers l'aval ait été mesurée (Mandier, 1973), les pentes restent très faibles (autour de 3‰ soit 0.17°). Pour délimiter spatialement les zones d'intérêts, les pentes supérieures à 5° ont donc été masquée sur le MNT, celles avec des pentes dans l'intervalle 0-5° sont restées transparentes. Afin d'observer au mieux les changements subtiles d'altitude, nous avons créé une échelle de couleur en "arc-en-ciel" (Figure 2). La transition drastique entre les couleurs favorise ainsi l'identification des surfaces d'altitudes différentes.

Ces deux premières étapes ont permis de distinguer de nouveaux étages intermédiaires, intercalés entre les terrasses majeures déjà cartographiées par Mandier (1973). Les talus, marqués par un liseré noir (pente supérieur à 5°), facilitent la distinction de ces morphologies (Figure 2A).

Ce premier travail réalisé, nous avons ensuite cherché à souligner ou à valider certaines morphologies peu ou pas visibles. Ponctuellement, nous avons donc repéré les sauts d'altitude (quelques mètres) ou les gradients d'altitude importants sur une même surface. Pour cette valeur d'altitude identifiée, une couleur claire a ainsi été ajoutée à l'échelle de couleur « arc-en-ciel ». Lorsqu'un liseré clair apparaît, soulignant ou prolongeant par exemple un gradin de terrasse (liseré noir), nous avons souvent interprété cela comme une limite entre deux surfaces distinctes ayant subi une évolution différente. A l'inverse, lorsque la couleur claire est diffuse sur la surface, la pente est homogène, cela traduit une continuité de la terrasse. Cette approche a ainsi permis de mettre en évidence des morphologies non cartographiées telles que des cônes alluviaux, des zones d'abrasion ou des paléo-méandres (Figure 3).

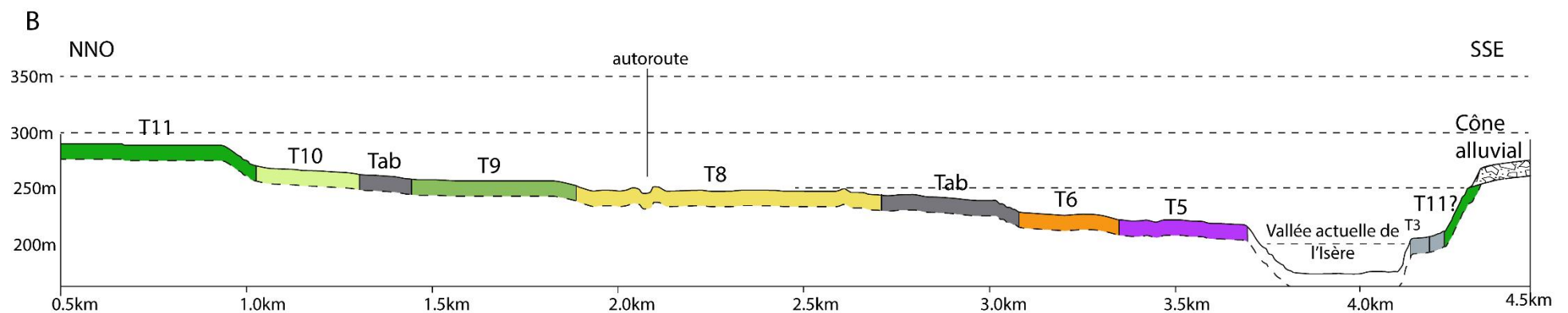
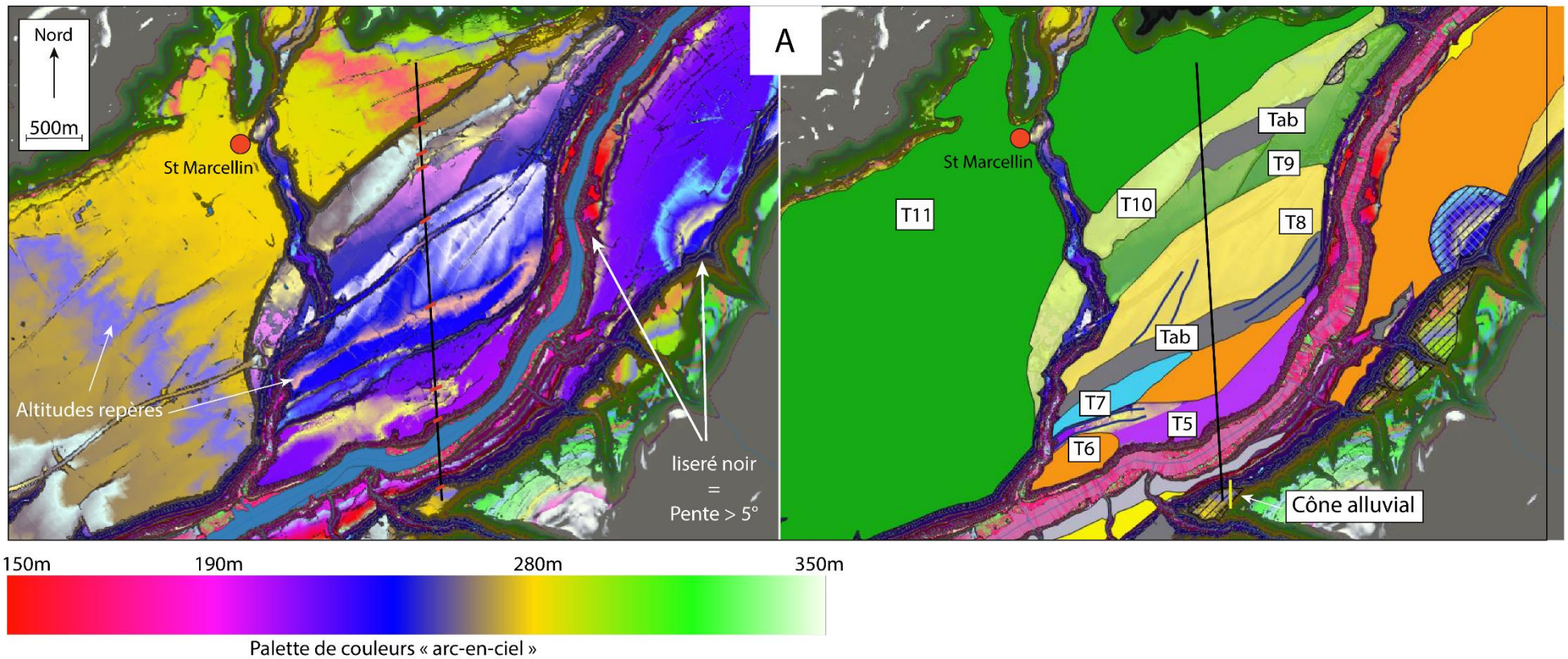


Figure 2: A) Cartographie de la zone de coupe. La palette de couleurs « arc-en-ciel » appliquée au MNT permet de visualiser les différents niveaux de terrasses et les liserés de couleurs sont associés à une valeur d'altitude repère. La cartographie est interprétée de la zone de coupe dans l'encart de droite. Plusieurs niveaux intermédiaires ont été identifiés (de T11 à T7) ainsi que des niveaux d'abrasion qui leur sont associés (Tab). Avec une pente non négligeable, la terrasse la plus au sud a été identifiée comme un dépôt de cône alluvial. B) Profil topographique d'une section illustrant l'étagement des terrasses au niveau de Saint Marcellin. Les formations présentes en surface sont exposées avec différentes couleurs mais leurs épaisseurs sont variables et inconnues. 10

1.1.3 Nomenclature et corrélations des terrasses :

Dans un deuxième temps, un travail de corrélation entre les nouveaux lambeaux de terrasses identifiés a été réalisé. Pour s'affranchir des hypothèses chronologiques inhérentes à la chronologie classique, nous avons défini une nomenclature objective. La terrasse la plus basse présente sur la zone d'étude sera donc notée T1 (anciennement Fyd sur la carte géologique de Romans). En montant dans le profil, chaque étage morphologique, d'une certaine étendue et/ou corrélable, sera intégré à cette nomenclature. Treize surfaces ont ainsi été identifiées (T13=Fxa) (Tableau 1).

La méthode décrite précédemment a permis de discerner un étagement plus complexe que celui proposé par les auteurs des cartes géologiques. Plusieurs coupes 2D nous ont aidé à construire la nouvelle succession (Tableau 1). Remarquable par son étendue et sa continuité, la terrasse de St Marcellin (ici T11, anciennement Fya) constitue un repère longitudinal quant à l'évolution de la pente des terrasses de l'amont vers l'aval. Une première corrélation a alors été proposée, uniquement basée sur les valeurs altimétriques des terrasses.

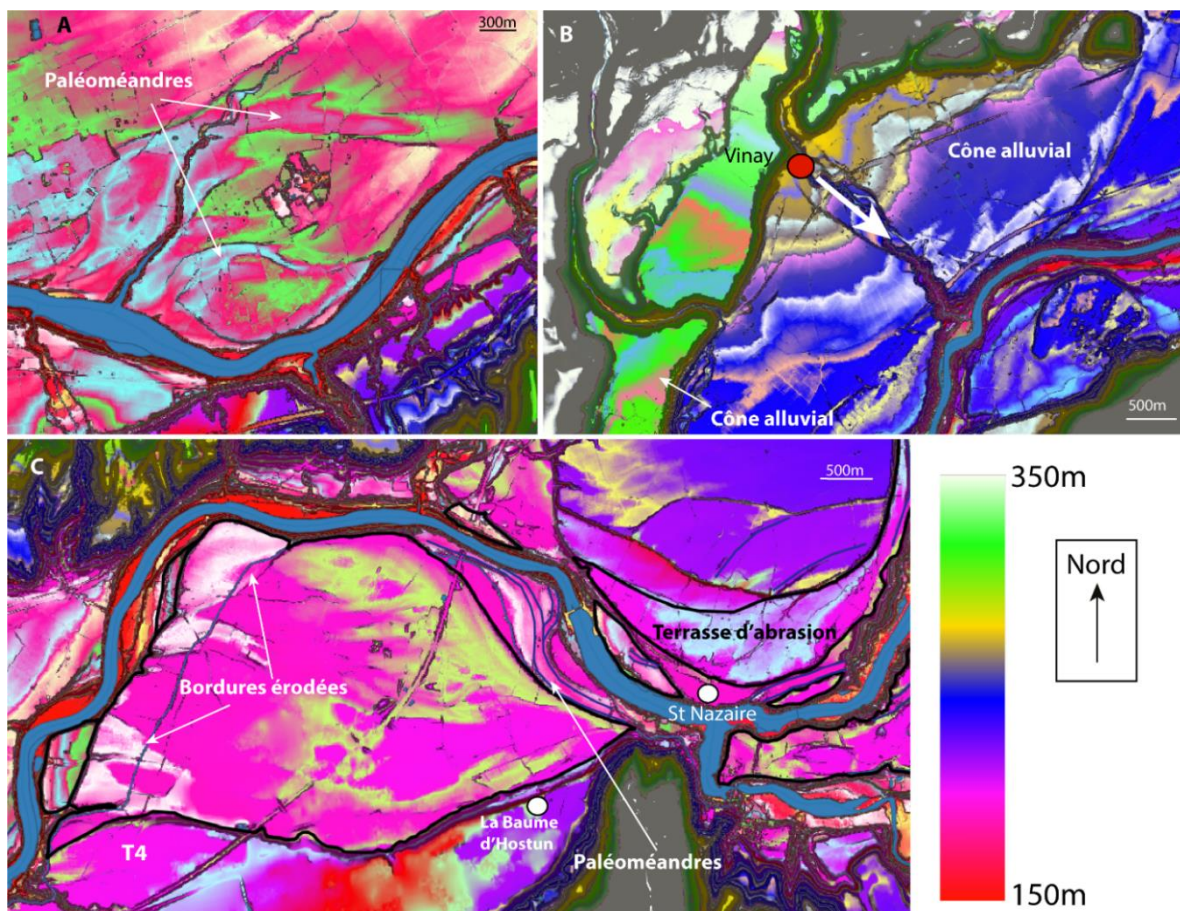


Figure 3: Identification de géométries particulières à partir du traitement sur MNT. A) Paléo méandres dans la plaine de Romans. B) Cône alluvial de Vinay amalgamé avec les cônes alluviaux de plusieurs petits affluents à l'Est. La flèche blanche souligne la direction principale du flux sédimentaire. C) Terrasses d'abrasion de la Baume d'Hostun et de St Nazaire. Les géométries révélées par les liserés de couleur valident cette interprétation

1.1.4 Cartographie prédictive des terrasses :

Développé par le BRGM, « Aconit » (Raingeard, 2018) est un outil de cartographie prédictive semi-automatique et de corrélation des replats cartographiques susceptibles de correspondre aux terrasses alluviales et propose également une corrélation de celles-ci (Annexe 3). Basé sur l'hypothèse d'un dénivelé constant du cours d'eau actuel et de son enfoncement, le modèle permet d'identifier les surfaces planes et propose une corrélation de celles-ci sur l'ensemble du bassin versant. L'outil « Aconit » est encore en phase de développement et cette étude représente une première sur une zone aussi étendue et marquée de forts reliefs. Comparer notre corrélation manuelle avec la corrélation automatique a néanmoins été intéressante pour confirmer certaines associations.

I.1.5 Projections des surfaces sur un profil 2D

Les graphiques de projection des terrasses ont tout d'abord constitué des outils pour vérifier les corrélations proposées par la méthode cartographique présentée précédemment. La projection des surfaces des terrasses sur le profil de l'Isère a été réalisée avec le logiciel Matlab et les routines disponibles de « Topotoolbox » (Schwanghart and Scherler, 2014)(Figure 4). Dans un premier temps, nous avons tracé le profil en long de l'Isère actuel entre Vinay et sa confluence avec le Rhône. Les nombreux barrages présents sur le fleuve sont responsables d'une morphologie en escalier (Figure 5). Celle-ci apparaît cependant mineure sur une échelle 1/1 (Annexe 4).

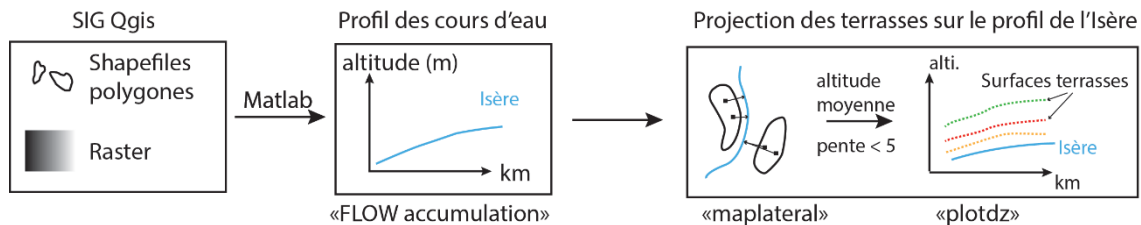


Figure 4: Schéma illustrant la méthodologie de projection 2D des terrasses alluviales ainsi que les fonctions principales utilisées (ex : « plotdz »). Les fichiers "shapefiles" et "raster" issus du SIG ont été utilisés dans Matlab Topotoolbox pour produire le profil en long de l'Isère puis pour la projection des terrasses alluviales sur celui-ci.

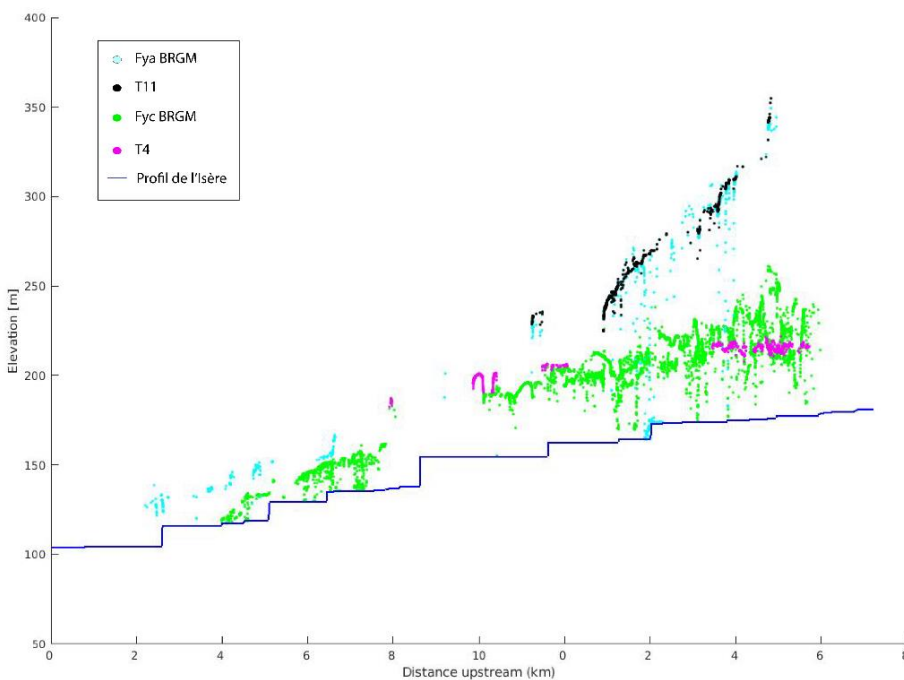


Figure 5: Comparaison des projections des terrasses issues de la cartographie géologique préexistante (Fya (cyan) et Fyc (vert)) et les surfaces cartographiées avec la méthode développée et la nouvelle nomenclature (T11 (noir) et T4 (magenta)). Le bruit a été limité et l'étendue des deux terrasses a été drastiquement réduite (mauvaise cartographie, cônes alluviaux, ...etc).

Nouvelle Nomenclature	Formations géologiques (feuille de Romans)
T13	Fxa
T12	Fxb
T11	Fya
T10	-
T9	-
T8	-
T7	Fyb
T6	-
T5	-
T4	Fyc
T3	-
T2	-
T1	Fyd

Tableau 1: Tableau de correspondance entre la nouvelle et l'ancienne nomenclature des terrasses alluviales de l'Isère.

A partir des shapefiles polygones issus de la carte géologique (feuille de Romans sur Isère et de Grenoble), un premier essai de projection a été lancé. Le résultat montre un profil extrêmement bruité, probablement dû aux regroupements de plusieurs niveaux de terrasses ou aux limites imprécises de la cartographie existante (Figure 5). Les terrasses issues du découpage détaillé réalisé précédemment (cf I.1.3) ont donné des profils plus exploitables, ce qui permet de valider la méthodologie utilisée. Les interprétations suivantes seront donc faites à partir de ces profils. A noter cependant que les profils montrent une importante distorsion verticale, ce qui amplifie les reliefs et les différences d'altitudes entre les surfaces projetées.

1.2 Résultats et interprétations des projections :

Le travail en parallèle de la cartographie des replats et de leur projection sur le cours de l'Isère a permis une classification plus détaillée de l'ensemble des surfaces (Figure 6). Basée sur des arguments essentiellement topographiques, cette classification se veut objective bien que pour certaines terrasses, peu continues, la corrélation relève déjà de notre interprétation.

En intégrant des arguments morphologiques et hydrologiques, une interprétation plus poussée peut-être proposée, avec notamment l'identification de niveaux majeurs et de niveaux intermédiaires qui impliquent des processus d'évolution différents (érosion différentielle, dépôts latéraux, etc).

Les morphologies telles que les cônes alluviaux et les paléo méandres n'ont pas été intégrées aux projections mais sont identifiées sur la nouvelle cartographie (Annexe 1 et 2).

1.2.1. Les principales terrasses :

Deux groupes de surfaces se distinguent nettement. Les niveaux T13, T12 et T11 affichent un profil globalement concave avec une partie amont beaucoup plus inclinée (de l'ordre de 0,5%) qu'en aval (~ 0,1%). A l'inverse, les niveaux de T1 à T7 montrent un profil légèrement convexe qui se rapproche du profil actuel de l'Isère. Ces derniers niveaux, sub-horizontaux dans leur partie amont, montrent des pentes légèrement plus marquées (Figure 7), aux alentours de 1%, dans la partie aval. Ces observations impliquent probablement une dynamique (fluviale, climatique, tectonique, ...) différentes entre ces deux ensembles de terrasses. Nous aborderons cette problématique plus en détails dans la discussion. Dans un premier temps, nous avons cherché à confirmer la présence de terrasses fluviales aux niveaux de ces surfaces plus inclinées en amont. Au vu des larges morphologies de cônes observées, notamment à Vinay, l'existence de grands cônes alluviaux issus des affluents principaux de l'Isère était envisageable. La continuité de la terrasse T11 depuis Vinay jusqu'à St Lattier et la présence de 3 étages de terrasses (T13, T12, T11) avec un profil similaire sont des arguments qui permettent de valider notre classification. La position des derniers cordons morainiques, juste en amont des derniers lambeaux de terrasses cartés, coïncide également avec l'hypothèse proposée (Figure 7).

Bien que nous ayons peu travaillé en aval de Romans, les quelques lambeaux de terrasses de T13 et T12 montrent des profils qui s'amalgament dans cette zone. Les terrasses se retrouvent dans un intervalle d'altitude restreints entre 150 et 180 m. Une étude plus détaillée de cette zone serait nécessaire pour confirmer cette tendance.

Avec comme base les cartographies préexistantes, des corrélations cohérentes et une extension plus importante des surfaces, nous avons définis des terrasses dites "principales" (T13, T12, T11, T7, T4 et T1). Cette hiérarchie se base sur la présence de surfaces plus étendues et plus continues tout au long de l'Isère pour ces niveaux ainsi que sur la carte géologique du secteur (feuille de Romans sur Isère et de Grenoble).

Le travail de cartographie a ensuite permis de distinguer des zones érodées qui s'illustrent par des surfaces sculptées (paléo méandres) ou rognées sur les bordures (Figure 3). Sur le profil (Figure 6), ces surfaces se retrouvent légèrement en contre-bas de tous les niveaux de terrasses principaux avec une distribution des points plus diffuse sur la projection (dû aux zones rognées qui projettent une altitude non représentative de la surface). Ces surfaces peuvent être identifiées à des terrasses d'abrasion. Il est possible de relier ces niveaux érodés aux terrasses situées au-dessus-topographiquement. La différence d'altitude entre ces deux niveaux peut être variable selon les endroits. Pour exemple, la grande terrasse en contre bas de la Baume d'Hostun (Figure 3C) s'étend entre 198 m d'altitude en amont et 190 m en aval dans les zones rognées. Nous rattachons cette dernière à la terrasse (T7) juste au-dessus du village de l'Ecancière qui montre une altitude moyenne autour de 200m.

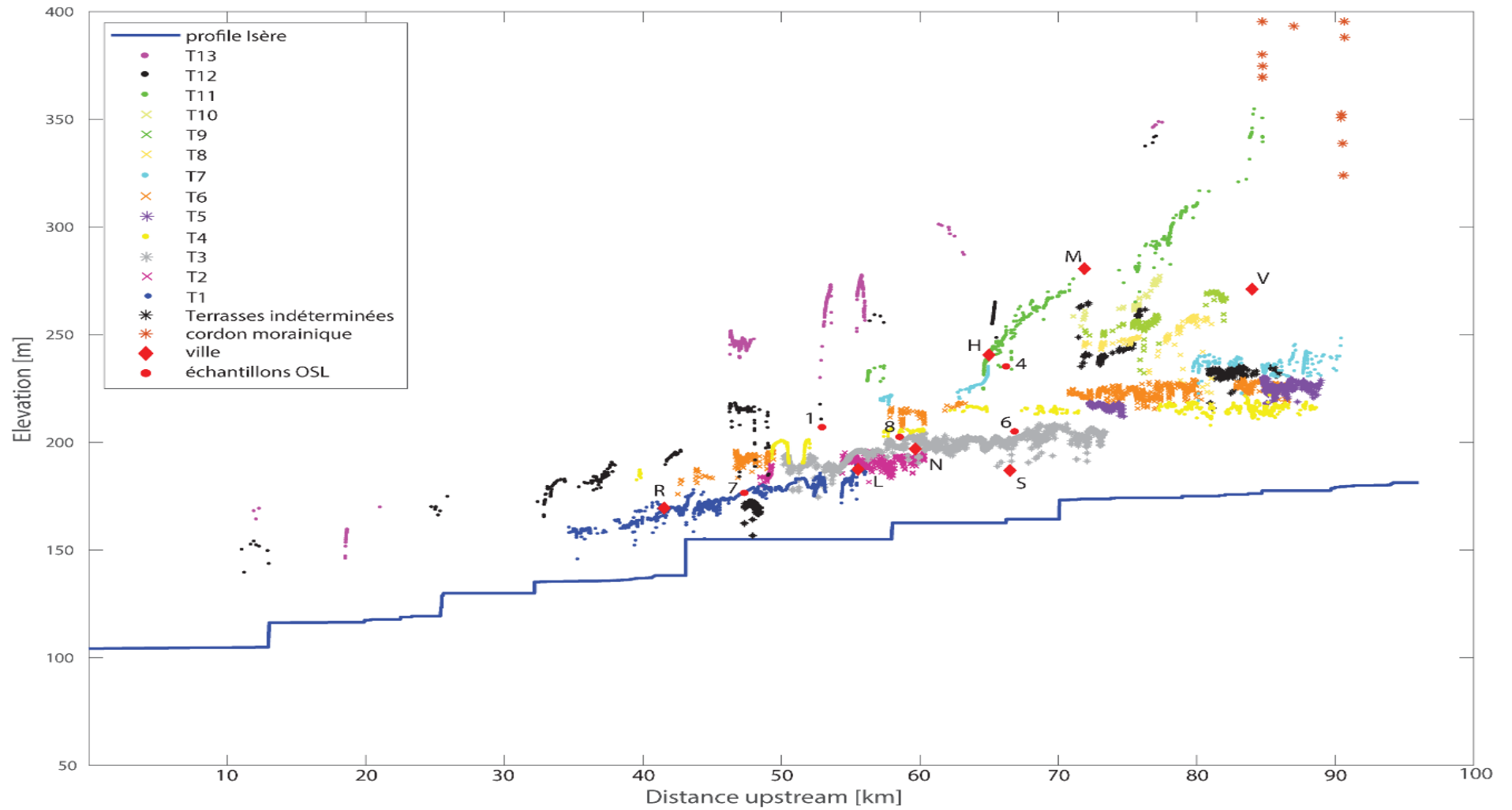


Figure 6: Projection de l'ensemble des données cartées (terrasses fluviales majeures et niveaux intermédiaires, terrasses d'abrasion, cordons morainiques, lieux d'échantillonnages, villes) sur le profil actuel de l'Isère. Les numéros correspondent aux échantillons OSL. V :Vinay ; M :St Marcellin ; H :St Hilaire, S :La Sône; N: St Nazaire en Royans; L: St Lattier; R:Romans sur Isère.

1.2.2. Terrasses intermédiaires et terrasses d'abrasion :

Plusieurs étages ont été définis comme "intermédiaires". Leur extension et leur continuité suffisamment représentative et l'absence de traces d'érosion sur leur surface nous a conduit à les identifier comme des surfaces de dépôts et non comme des terrasses d'abrasion. Cette appellation pourra cependant être discutée.

Ces terrasses intermédiaires, dont la plupart ne sont pas identifiées sur les cartes géologiques préexistantes, pourraient illustrer différentes phases de dépôt entre les phases d'alluvionnement des principales terrasses. Trois sous-étages (T10, T9, T8) ont ainsi été identifiés entre les profils raids (0.5%) (T13, T12 et T11) et les profils convexes (T7, T4, T1) des terrasses principales. Présents seulement au niveau de St Marcellin, ces trois surfaces pourraient également être interprétées comme une succession de terrasses d'abrasion reflétant alors différents niveaux d'incision de la terrasse principale T11. La distinction entre terrasses intermédiaires et terrasses d'abrasion reste donc délicate. La présence de paléo-méandres n'est pas un argument décisif car ces morphologies ne traduisent pas toujours la présence d'une surface érodée. Elles peuvent également être interprétés comme les dernières migrations de l'Isère sur la surface de dépôt.

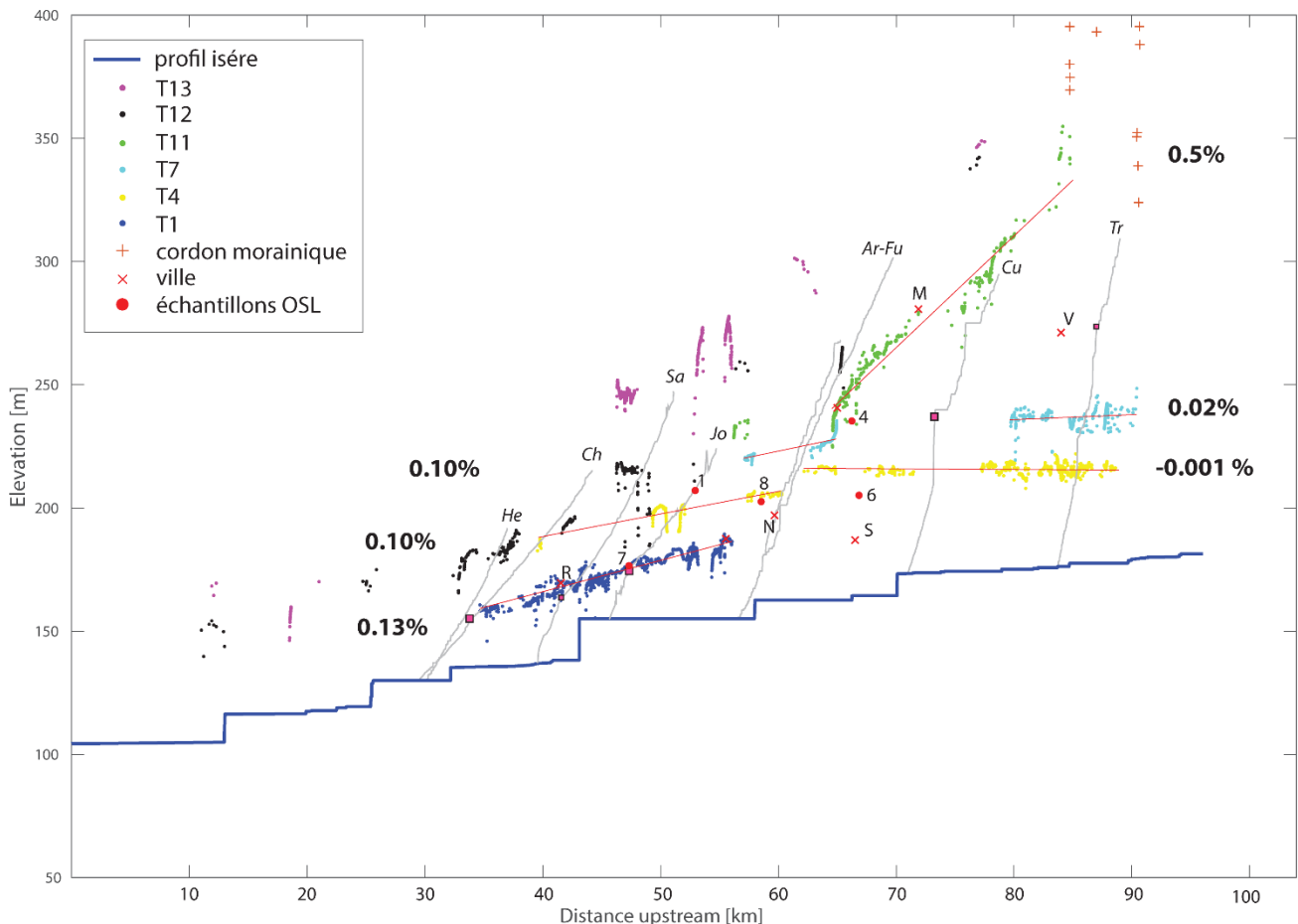


Figure 7: Projection des terrasses majeures sur le profil actuel de l'Isère. Des régressions linéaires donnent des pentes entre 0.9% et 1.3% pour les terrasses les plus basses. Les affluents principaux de l'Isère sont représentés et illustrent les différentes zones de knickpoint. Les numéros correspondent aux échantillons OSL. V : Vinay ; M : St Marcellin ; H : st Hilaire, S : La Sône ; N : st Nazaire en Royans ; L : st Lattier ; R : Romans sur Isère ; Noms des affluents : He : l'Herbasse ; Ch : Le Chalon ; Sa : La Savasse ; Jo : La Joyeuse ; Ar-Fu : L'Armelle et le Furand ; Cu : La Cumane ; Tr : Le Trévy.

II. DATATION DES DEPOTS QUATERNAIRES PAR LA METHODE DE LUMINESCENCE (OSL)

Affectée par les nombreuses variations climatiques du quaternaire, la basse vallée de l'Isère a oscillé entre périodes d'incisions et périodes de dépôts fluviaux. D'une durée variable, ces phases d'alternances ont modelé le paysage actuel, témoins des différentes dynamiques fluviales. Apporter un cadre chronologique aux différents corps sédimentaires fût donc un des premiers objectifs de ce projet de Master. Adaptée aux dépôts quaternaires et pour une question de temps de préparation, la datation par Luminescence (OSL : Optically Stimulated Luminescence ; e.g Rhodes, 2011) a été retenue.

II.1 Principes de la datation par luminescence :

Le principe de la datation par luminescence repose sur l'absorption par les minéraux, ici minéraux de feldspath, d'une charge radioactive issue du milieu environnant. Notre choix s'est porté sur les minéraux de feldspath pour sa leur capacité à supporter un taux de radiation plus important avant saturation. Ils offrent une gamme d'âge plus étendue (environ 200ka) que les minéraux (Huntley and Lamothe, 2001). La préparation en laboratoire est également plus courte pour le feldspath.

La capacité de stockage du minéral dépend de ces caractéristiques et de la radioactivité du milieu. La décroissance radioactive des éléments du milieu induit des rayonnements (alpha, beta, gamma) à l'origine du piégeage des électrons (éjectés de leur bande de valence) dans les défauts du réseau cristallin. En présence de lumière (lors du transport du sédiment, érosion, ...), ces électrons piégés sont libérés et constituent le signal de luminescence. La durée de l'exposition à la lumière conditionne la réinitialisation du signal, c'est-à-dire, l'absence d'électron piégé pour un certain stade d'énergie (Figure 8). La mesure du signal de luminescence lors de la stimulation lumineuse en laboratoire (laser Infra rouge, 800-900 nm) représente la quantité d'énergie radioactive absorbé dans le réseau cristallin depuis sa dernière exposition à la lumière. Cette valeur est appelée dose équivalente D_e (en Gy).

Le taux de dose (D_r , en Gy/ka) est un des paramètres essentiels de la technique et correspond à l'énergie (unité en Gray (Gy)) absorbée par an par l'échantillon. En effet, l'énergie radioactive générée par le milieu et la capacité de stockage de l'énergie (disponibilité des pièges d'électron) dans l'échantillon varie selon le minéral ciblé, la lithologie et l'environnement. Une valeur élevée de cette grandeur favorise la saturation de l'échantillon (stockage maximum de charge atteint). Dans ce cas, seul un âge minimum peut être proposé.

L'âge de l'enfouissement d'un minéral est ainsi donné par l'équation 1.

$$\text{Age (ka)} = \frac{\text{Dose totale absorbée } D_e \text{ (Gy)}}{\text{Taux de dose } D_r \text{ (Gy/ka)}} \quad \text{Eq 1}$$

Bien que les minéraux de feldspath possèdent des avantages pour notre étude, leur signal de luminescence n'est pas stable dans le temps et une décroissance anormale est observée. Ce phénomène est appelé « fading », et se retrouve, sans exception, dans tous les échantillons de feldspath. Une correction doit alors être apportée pour ne pas sous-estimer l'âge des échantillons (Auclair et al., 2003).

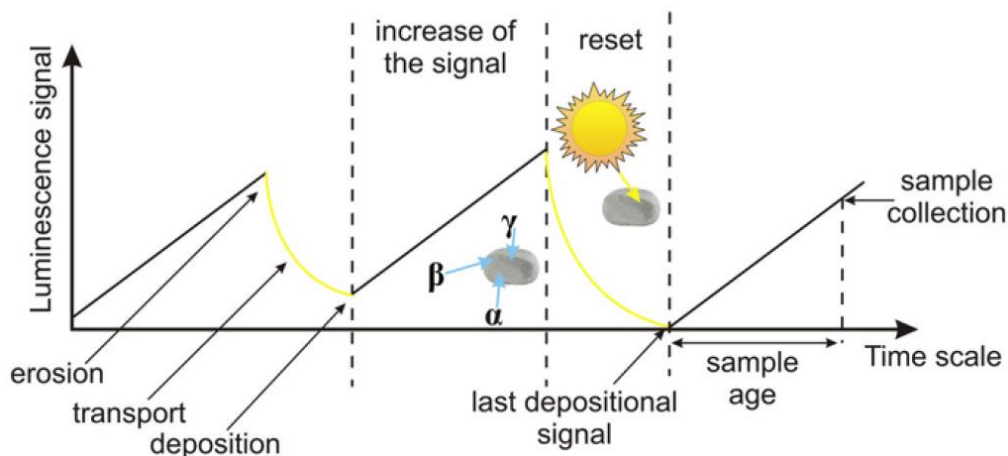


Figure 8: cycles de charges et de décharges du signal de luminescence d'un grain de quartz ou de feldspath dans le milieu naturel. (Rhodes, 2011)

II.2 Échantillonnage et préparation :

II.2.1 Sur le terrain :

Fortement anthropisée, la zone d'étude ne présente que peu d'affleurement naturel dans les terrasses fluviales. Nous avons donc essentiellement échantillonné dans les gravières anciennes ou en exploitation (Figure 1, Annexe 1 ou Tableau 1).

Riches en grains de feldspath et adaptées à la méthode de datation choisie, les lentilles sableuses ont fait l'objet de notre attention. Un sable fin et homogène favorise des résultats reproductibles en assurant une meilleure remise à zéro des grains avant l'enfouissement. Pour s'assurer de l'homogénéité de l'irradiation, l'intervalle sableux doit au minimum faire 20cm de large et 50cm de long (Figure 9A et B). En effet, les rayonnements cosmiques participent également à l'irradiation, la profondeur de prélèvement doit donc être relevée. Pour cette étude, nous nous sommes concentrés sur des lentilles sableuses uniquement situées à plus de 5m sous la surface (i.e. impact négligeable du rayonnement cosmique sur le taux de dose).

Le processus d'échantillonnage et de traitement doit avant tout préserver l'échantillon de toute source de lumière. L'échantillonnage se fait à l'aide d'un tube PVC (ou métallique lorsque le sédiment est très induré) d'une vingtaine de centimètres dont les extrémités, bouchons en caoutchouc opaques, isolent l'échantillon de toutes sources lumineuses (Figure 9).

L'ensemble du protocole assure l'isolement de l'échantillon et limite les sources possibles de détérioration du signal de luminescence durant l'échantillonnage.

Nous avons collecté au total huit échantillons, situés entre les villes de la Sône et de Romans, sur les différents niveaux de terrasses cartés par les auteurs de la carte géologique (Figure 1 ou Annexe 1 et 2). Pour diverses raisons (temps de mesure, qualité de l'échantillon, ...), trois d'entre eux n'ont pas été

traités dans la suite du projet. Les caractéristiques et les positions des cinq échantillons présentés dans cette étude sont précisées dans le Tableau 2.

Nom Echantillon	Formation BRGM / nouvelle	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Lieu	Commentaires
ISE19_01	Fxa / T13	45.09348	5.13155	212	Carrière des frères Bard-Châtillon St Jean	Lentille métrique, sable fin et homogène
ISE19_04	Fya / T11	45.11448	5.27531	220	Carrière de la Sône (Budillon Rabatel)	Unique lentille de la carrière, sable fin et homogène
ISE19_06	Fyc / T4	45.1083	5.28527	205	Ancienne gravière (La Sône - Rive gauche)	Banc fin de sable (15cm) au-dessus d'une lentille d'argile
ISE19_07	Fyd / T1	45.0308	5.07411	175	Carrière de St Paul les Romans (Budillon Rabatel)	Lentille plurimétrique, sable fin et homogène, figures de courant
ISE19_08	Fyb / T7	45.03336	5.12342	196	Baume d'Hostun, gravière abandonnée	Lentille décimétrique avec galets flottants, sable grossier et peu homogène,

Tableau 2: Tableau récapitulatif des lieux d'échantillonnages, de leur position et de la qualité de la lentille échantillonnée.

II.2.2 En Laboratoire :

La technique de datation OSL nécessite une préparation en laboratoire sous lumière Infra-Rouge (IR). Deux séjours de 3 jours à l'université de Berne ont permis de réaliser l'intégralité du protocole expérimental. Les procédures suivies sont standards et déjà largement utilisées (Lowick et al., 2015; Valla et al., 2016).

II.2.2.1 Séparation des minéraux de feldspath :

Une fois extrait des tubes, le matériel conservé est ensuite nettoyé : un bain de HCl permet de dissoudre la fraction carbonatée puis une solution de H₂O₂ permet d'éliminer la matière organique présente dans l'échantillon. Pour nos 5 échantillons, nous avons travaillé avec la fraction comprise entre 180µm et 300 µm. Pour certains échantillons (ISE19-07 et 06) la quantité de matériel était suffisante pour réduire l'intervalle à 180-250 µm.

Afin de récupérer uniquement les minéraux de feldspath, une séparation des minéraux est effectuée par la méthode des liqueurs denses. Une première séparation avec un liquide à 2,7g/cm³ permet d'éliminer les minéraux lourds. Après séchage, le même protocole est réalisé avec un liquide à 2,58g/cm³, on obtient alors la séparation des quartz (lourds) et des feldspaths potassiques (légers).

II.2.2.2 Mesure du taux de dose (Dr):

Environ 1kg du sable récupéré autour du tube d'échantillonnage est utilisé pour mesurer le taux de radiation du milieu. La concentration en radioéléments U, Th et K (Annexe 3), la profondeur d'enfouissement et la teneur en eau sont les 3 paramètres qui influent sur cette grandeur. La différence de masse avant et après séchage permet de calculer directement la teneur en eau (Tableau 3). La radioactivité de l'échantillon est mesurée par spectrométrie gamma à l'institut de chimie de l'université de Berne. Cette étape est l'une des plus longues de la technique, elle nécessite un mois de stockage de l'échantillon avant la mesure.

II.2.2.3 Mesures

Quelques minéraux de feldspath sont déposés sur des disques (1cm de diamètre) et placés sur une des 48 positions disponibles de la machine. Nous avons utilisé une machine Riso TL/OSL DA-20, programmée pour effectuer des « séquences » de mesures. Ces dernières sont construites en sept cycles constitués chacun d'une succession d'étapes de chauffage, d'irradiation et de mesure pour chaque disque (protocole SAR, i.e. (Murray and Wintle, 2000). La stimulation se fait via une diode laser (800-900nm). Le signal de luminescence est enregistré par un tube photomultiplicateur auquel un filtre est appliqué. Seules les longueurs d'ondes bleu-violet (410nm) sont ainsi récoltées pour la mesure.

Nous avons également préparé des disques à faire blanchir, (mise en lumière naturelle ou artificielle) pour réaliser des mesures de fading et de recouvrement et de dose résiduelle.

II.2.2.4 Mesure de la dose résiduelle (Residual) et du recouvrement (Dose recovery)

Pour vérifier quelle est la dose résiduelle de l'échantillon après une remise à zéro (blanchiment) totale, on mesure le signal naturel de quelques disques pour un échantillon. Ces derniers sont donc exposés à la lumière pendant plusieurs heures, pour s'assurer du blanchiment total. Une séquence de mesure permettra par la suite de vérifier la dose résiduelle de l'échantillon.

De plus, on effectue une mesure de recouvrement de dose. Cette étape permet de valider la construction de la courbe de calibration obtenue lors du cycle SAR. Après blanchiment des disques, on irradie ceux-ci avec une dose prédéfinie (2500(s) pour notre étude). La comparaison de la dose équivalente récupérée via cette étape avec celle de la courbe de calibration permet ou non de valider le protocole SAR utilisé.

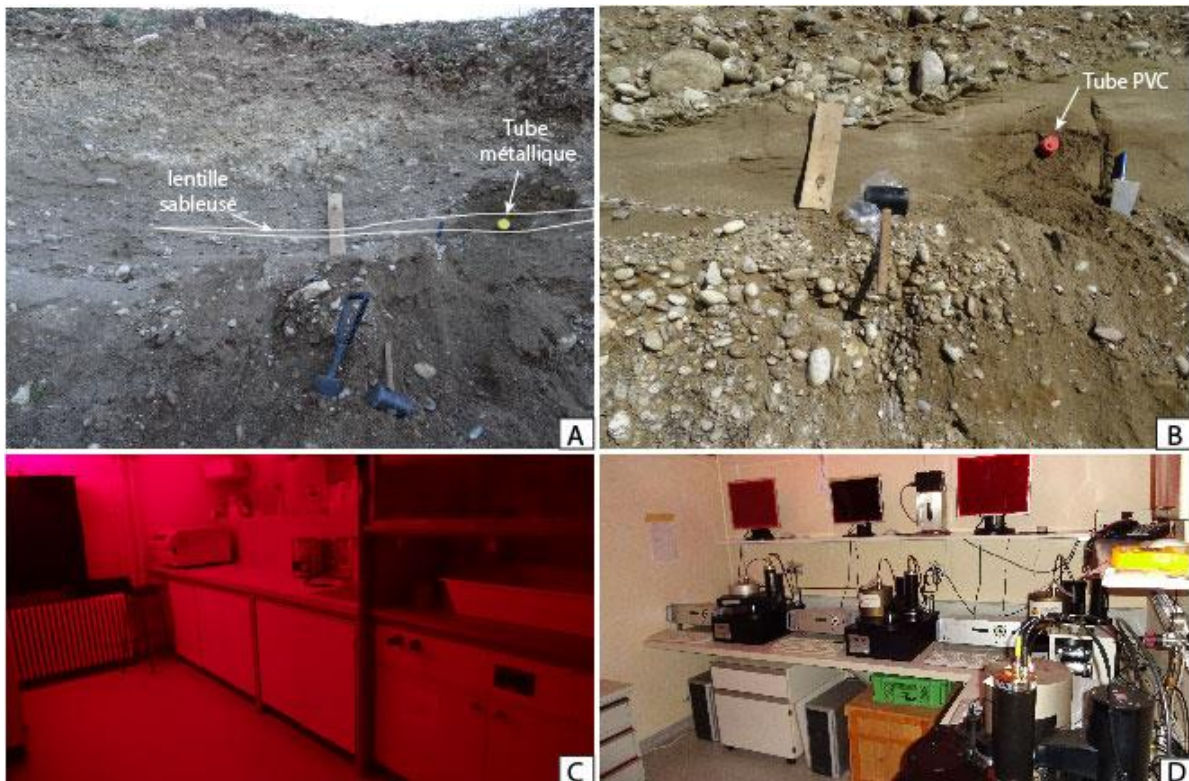


Figure 9: A: Site d'échantillonnage de l'échantillon ISE_08, sable grossier avec une lentille fine parsemée de galets. B) Site d'échantillonnage dans la carrière de Saint Paul les Romans (ISE_07), lentille métrique avec un sable fin et homogène. L'ensemble du matériel nécessaire à l'échantillonnage est visible sur ces 2 photos. C) Laboratoire OSL de Berne éclairé en lumière rouge (photo P.Valla). D) Machines de mesure (Riso TL/OSL) du laboratoire OSL de Berne (photo P.Valla).

II.3 Analyses et résultats :

II.3.1 Analyses

II.3.1.1 Le Protocole SAR :

La méthode SAR (Single Aliquot Regenerative dose) a ici été utilisée pour analyser les échantillons. Une séquence SAR est constituée de sept cycles de mesures, nécessaires pour construire une courbe de calibration. Cette dernière permet alors de déterminer la dose équivalente naturelle de l'échantillon (Figure 10B).

Chaque cycle est constitué d'une succession de pré-chauffe, d'irradiation, et de mesure de luminescence (Lx). Pour vérifier la sensibilité de la mesure, une mesure test (Tx) pour une dose équivalente fixe (500s) est réalisé à chaque cycle. Le rapport de ces deux grandeurs (Lx/Tx) permet de construire la courbe de calibration.

Pour chaque disque d'échantillon, le signal naturel est comparé à la courbe de calibration pour obtenir une estimation de la dose équivalente (De) naturelle (Rhodes, 2011). La dose central (CAM – Central Age Model) (Galbraith and Roberts, 2012) est utilisé comme valeur de dose équivalente pour l'échantillon. Avec le taux de dose (Dr), celle-ci permet alors de proposer un âge préliminaire (Eq 1) qui devra par la suite être corrigé du fading.

Pour chaque échantillon, nous avons réalisé un protocole SAR complet pour au minimum 5 disques. La dispersion, issue des différentes valeurs de dose équivalente obtenue pour chaque disque pour un même échantillon, traduit la reproductibilité de la mesure (Figure 10C). Une forte dispersion peut être expliqué par une remise à zéro partiel ou un fading important.

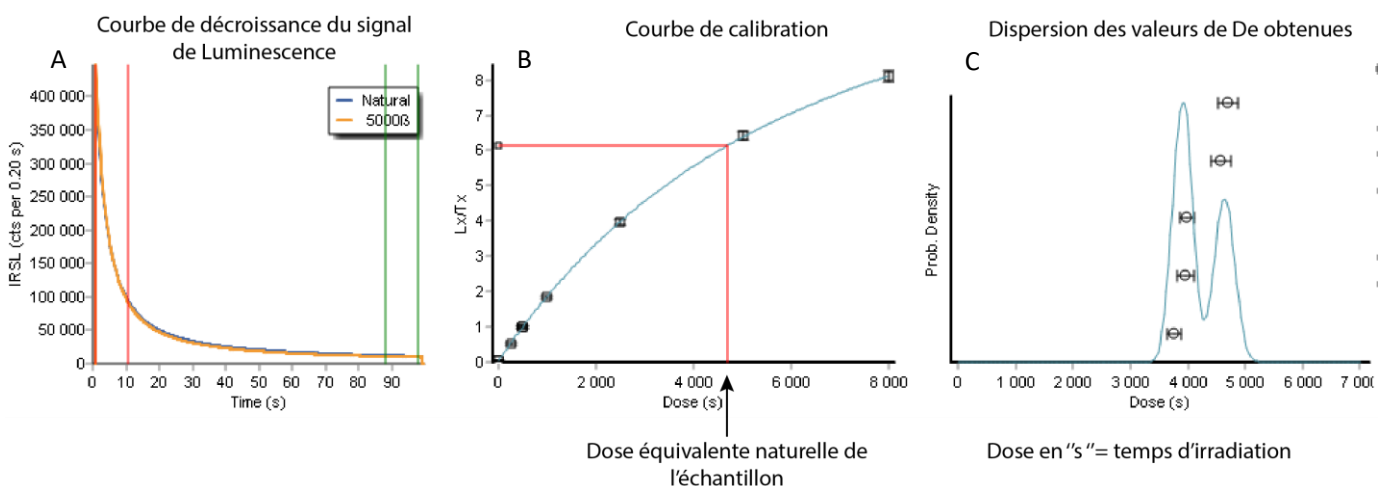


Figure 10 : Résultat d'une séquence du cycle de mesure SAR sur l'échantillon ISE19_01. (A) courbe de décroissance du signal de luminescence. (B) Courbe de calibration construite par les différents couples Lx/Tx pour différentes doses appliquées (point sur la courbe bleu). Le signal naturel permet de déterminer la dose équivalente De (rouge). (C) Représentation de la dispersion des De obtenues pour les 5 disques analysés de l'échantillon ISE19_01.

La séquence SAR comporte deux stades de mesure réalisés pour deux températures différentes. La température étant un facteur de stimulation pour les électrons piégés, l'étape réalisée à 225°C (pIRIR225, (Buylaert et al., 2012) permet de mesurer la luminescence sur des niveaux d'énergies plus stables (les électrons des niveaux supérieurs ayant déjà été « nettoyés »). L'inconvénient de cette mesure réside dans la difficulté à réinitialiser le signal de ces électrons. Dans notre cas d'étude, les échantillons, hormis ISE19_06, sont saturés à cette température. Les autres échantillons seront traités avec un premier stade de mesure, protocole standard, effectué à une température de 50°C (IR50). Numériquement cette saturation s'observe en comparant la dose équivalente à la valeur du coefficient β de la courbe de calibration. Si D_e est supérieur à deux fois β alors l'échantillon est saturé.

Un échantillon est saturé lorsque l'ensemble de ses « pièges » sont comblés, il n'enregistre donc plus la radioactivité du milieu dans le temps. Cet état représente la limite de datation de la technique SAR qui se situe autour de 200ka (Wintle, 2008). Dans ce cas, seul un âge minimum peut être proposé.

II.3.1.2 Calcul du Taux de dose :

L'analyse de chaque échantillon a permis de quantifier la contribution des différents isotopes radioactifs (Annexe 4). Nous avons ensuite utilisé le calculateur « DRAC », pour déterminer le taux de dose de nos échantillons (Durcan et al., 2015).

La teneur en eau est également un paramètre qui influence la valeur de D_r . Une valeur inférieure à 15% reste négligeable sur le taux de dose et l'âge obtenu. En revanche, pour une valeur de teneur en eau de 20%, le taux de dose marque une diminution et l'âge de l'échantillon montre une augmentation, supérieure à la barre d'erreur proposée, tous les deux d'environ 10%. Dans notre étude, la teneur en eau était inférieure à 5% pour tous les échantillons.

II.3.1.3 Fading :

Bien que les minéraux de feldspaths présentent des avantages non négligeables dans notre cas d'étude, l'estimation du « fading », non observé sur le quartz, doit être prise en compte. Cette décroissance anormale du signal de luminescence (Figure 11) dépend du « temps de pause » entre deux irradiations en laboratoire et ce, quelques soit la provenance du matériel. Les électrons piégés dans le réseau cristallin quittent prématurément celui-ci et échappent à la mesure de luminescence (Huntley and Lamothe, 2001). Ce phénomène provoque donc une sous-estimation de l'âge de l'échantillon.

La faible différence de luminescence observée (de 2% à 10% par décennie) rend ce taux de décroissance (noté G-value) difficile à calculer. Il semblerait que le protocole de la séquence SAR (succession de préchauffe, pause, irradiation) influence fortement la G-value (Auclair et al., 2003). Bien que l'impact du fading sur l'âge des échantillons ne soit plus à démontrer (Duller et al., 2012; Wehmiller, n.d.) la correction de celui-ci reste encore un challenge. Dans notre étude, nous

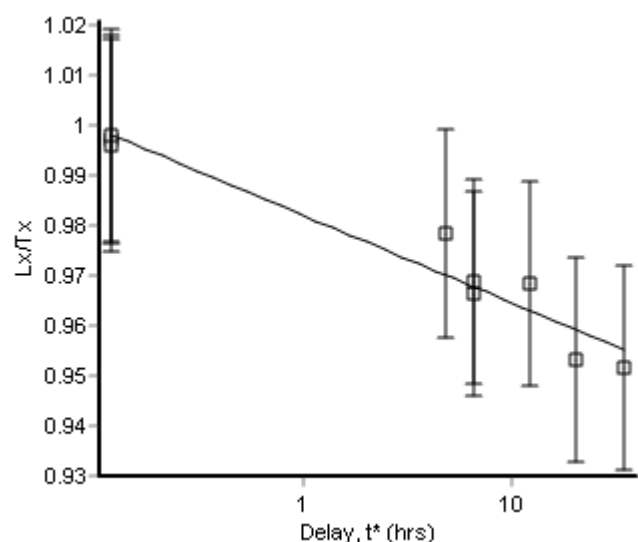


Figure 11: Décroissance anormale du signal de luminescence pour des échantillons de feldspath. Les mesures OSL, après des temps de pauses différents et après irradiation, donne des valeurs de luminescence inférieure à celle de départ.

avons utilisé le pack de Luminescence du logiciel Rstudio (Dietze et al., 2013) qui utilise la méthode développée par Huntley and Lamothe (2001).

II.3.1.4 Dose résiduelle :

Faute de temps, peu de mesures ont été réalisées. Pour l'échantillon ISE19_06, le plus jeune, la mesure de la dose résiduelle se distingue par une valeur très faible ($< 1\text{Gy}$ pour le IR50). Avec une dose résiduelle entre 2 et 5 Gy pour les autres échantillons ($< 2\%$ du CAM des échantillons), l'influence de ce paramètre sur l'âge estimé reste négligeable ($< 1\text{ka}$) (Tableau 3).

Il est cependant intéressant de noter que 2 séries de mesures ont été faites pour ISE19_01, ce qui implique deux blanchiments différents. Les valeurs obtenues divergent d'un coefficient multiplicateur de 3 (sans pour autant devenir significative). Pour de tels ordres de grandeurs, les variations sur l'âge estimé seront donc volontairement négligées.

II.3.1.5 Dose de recouvrement :

Les valeurs de dose équivalente pour une irradiation de 2500s obtenues sont toutes inférieures à cette dose test. Avec des valeurs faibles de residual, cette observation est cohérente.

Nos mesures montrent un recouvrement de dose à moins de 10% de l'unité pour la majeure partie de nos échantillons. Les valeurs de taux de recouvrement étant dans l'ensemble proches de 0.9, nous ne corrigerons pas nos données.

II.3.2 Résultats :

Avec un signal de luminescence fort, la qualité des mesures n'est pas à remettre en cause et permet une interprétation crédible de nos données. Quatre séquences de mesure SAR (d'une durée d'environ 6j chacune) ont été nécessaires pour obtenir l'ensemble des résultats (Tableau 3) et ainsi assurer la fiabilité des mesures. La mesure du fading et de la dose résiduelle ont fait l'objet de différentes phases de traitement. A noter que la mesure du taux dose nécessite plusieurs mois d'attente (stabilisation du Radon). Les données obtenues sont dites reproductibles lorsque la dispersion des valeurs des doses équivalentes est en dessous de 20% (Tableau 3).

Les échantillons prélevés à Chatillon St Jean ($F_{xa}=T13$, ISE19_01) et à la carrière de St Paul les Romains ($F_{yd}=T1$, ISE19_07) montrent un signal similaire (Annexe 1 et 2). Avec un Central Age Model (CAM) autour de 350 Gy et une sur-dispersion faible (autour de 10%), les âges non corrigés du fading sont estimés, pour ces deux terrasses, à environ 165ka.

Les mesures de fading divergent pour ces deux échantillons. La valeur élevée de G pour ISE19_01 donne un âge corrigé au-delà de la limite de saturation. Nous ne donnerons donc qu'un âge minimum de 240ka pour cet échantillon. Avec la valeur de G la plus faible entre tous les échantillons, ISE19_07 révèle quant à lui un âge exploitable autour de 165 ± 12 ka (Tableau 3).

L'échantillon du Würm inférieur ($F_{ya}= T1$, ISE19_04), prélevé à la carrière de la Sône (rive droite), présente une dispersion beaucoup plus importante, supérieure à 20%. Les valeurs extrêmes hautes de dose équivalente pourraient être écartées en supposant un blanchiment partiel de l'échantillon. En revanche les valeurs du fading pour ces disques ne permettent pas d'omettre toutes les valeurs

extrêmes basses. Plus de mesures seraient nécessaires pour valider ou non la présence de ces valeurs extrêmes.

Seul échantillon non saturé avec le protocole pIRIR225, l'échantillon ISE19_06 (Gravière abandonnée de la Sône, rive gauche) produit un âge non corrigé de 22ka. La valeur de G élevée pour cet échantillon donnera un âge corrigé autour de 31 ± 5 ka. Quatorze mesures ont été réalisées donnant une dispersion qui peut être considérée comme acceptable (environ 15%).

Echantillon OSL	ISE19_01	ISE19_04	ISE19_06	ISE19_07	ISE19_08
IRSL (°C)	50	50	225	50	50
Taille des grains (µm)	180-250	180-300	180-250	180-250	180-300
Nombre de disques *	5	15	14	14	5
Dose équivalente (De) CAM (Gy)	346.9	270.4	48.4	350.1	490.4
Incertitude CAM (Gy)	13.2	16.2	2.0	12.4	19.8
Sur-dispersion (%)	7.9 ± 1.30	22.9 ± 4.3	15.2 ± 2.95	12.6 ± 2.61	30.6 ± 4.40
Taux de dose Dr (Gy/ka)	2.034 ± 0.149	2.38 ± 0.154	2.231 ± 0.147	2.437 ± 0.153	2.036 ± 0.235
Age non corrigé du fading (ka)	168.34	117.6	22	144	241
Incertitude âge non corrigé (ka)	14	11	2	13	18
Moyenne de la valeur de G (%/dizaine)	3.30	2.09	3.56	1.39	2.10
Ecart-type de la valeur de G	0.44	0.73	1.07	0.12	0.44
Age corrigé du fading (ka)	239	148	31	165	300
Incertitude âge corrigé (ka)	25	21	5	12	40
Dose résiduelle + incertitudes (Gy)	4.6 ± 0.12	1.9 ± 0.05	0.8 ± 0.03	1.5 ± 0.04	2.5 ± 0.06
Recouvrement de dose (%)	91.50	87.20	93.30	85.0	83.7

Tableau 3: Synthèse des résultats des mesures OSL pour l'ensemble des échantillons. CAM : Central Age Model.

* Pour ISE19_08 seulement 2 disques sur les cinq n'étaient pas saturés et ont pu être utilisés pour les calculs

Le dernier échantillon (ISE19_08), prélevé près du village de la Baume d'Hostun dans la terrasse cartographiée Fyb, présente quant à lui des résultats difficilement exploitables. La dispersion est de 30%. Cette valeur est notamment dû à une seule mesure de De particulièrement élevée. Un blanchiment partiel de l'échantillon peut-être à l'origine de cette valeur. Il serait dans ce cas intéressant de faire une nouvelle série de mesure pour compléter ce jeu de données. Cependant, même avec l'IRSL50 et sans correction du fading, trois mesures sur cinq sont saturées et les deux restantes montrent des valeurs très proches de la limite de datation pour cette technique SAR. Nous ne proposerons donc qu'un âge minimum de 300 ka pour cet échantillon.

II.4 Interprétations :

Avec un échantillon pour chaque niveau de terrasse du Würm (Fy) et un échantillon du Riss (Fx), la chronologie initiale promettait une certaine décroissance des âges vers les niveaux cartés comme plus jeunes. Il apparaît pourtant un certain désordre ce qui implique une histoire de dépôts plus compliquée pour les terrasses étudiées.

Les données consistantes issues de l'OSL ne coïncident pas avec la chronologie attendue basée sur la cartographie géologique (feuille de Romans et Grenoble). La terrasse de St Romans (ISE19_07), surface la plus basse topographiquement, est cartée comme appartenant au Würm supérieur (Fyd= T1). L'âge OSL obtenu, autour de 165 ± 12 ka, raccroche pourtant cette terrasse à un stade d'aggradation du

début du Riss (Marine Isotope stages ou MIS 6). Cette constatation nous amène à deux hypothèses possibles :

- Les dépôts de la terrasse de Romans sont issus du remaniement des surfaces du Riss par la *Joyeuse*, affluents principales de l'Isère dans cette zone.

- Les terrasses sont emboîtées (« strath terrasses ») et en échantillonnant 6-7 m sous la surface naturelle nous avons échantillonné dans le niveau inférieur à celui présent en surface.

La première hypothèse impliquerait la présence d'un affluent beaucoup plus important que celui actuel, capable de transporter une charge sédimentaire conséquente qui impacterait la plaine de Romans sur une très large surface. Dans le deuxième cas, la morphologie emboîtée impliquerait une incision forte et un dépôt puissant des terrasses lors du Riss. Les cycles d'incisions et de dépôts postérieurs n'auraient alors pas impacté la partie inférieure de ce dépôt rissiens.

Plus vieux que 235 ka, l'échantillon de Châtillon Saint Jean (ISE19_01) pourrait, comme proposée par la carte géologique existante, appartenir à des terrasses du Riss. Nos mesures ne permettent pas de distinguer la limite Riss/Mindel.

Encore plus vieux que ISE19_01, l'échantillon de la Baume d'Hostun (ISE19_08) montre en revanche un âge OSL qui ne correspond pas à un dépôt du Würm inférieur (Fyb= T7) comme attendu. Avec un âge minimum de 300 ka, cette terrasse appartient au moins au MIS 9. La cartographie semble donc incorrecte dans cette zone. Il sera intéressant de discuter des corrélations faites avec cette terrasse et d'utiliser la cartographie pour regarder l'influence potentielle de flux sédimentaires venant du Vercors.

Au vu de nos mesures, la terrasse étendue de St Marcellin (ISE19_04), datée au Würm inférieur (Fya= T11), semble légèrement plus âgée, ce qui la situerait à la toute fin du MIS 6 (145 ± 21 ka). Cet étage correctement positionné chronologiquement nous servira de point de repère pour l'étude cartographique.

Nettement plus jeune que les autres, l'échantillon de l'ancienne carrière de la Sône (ISE19_06) semble correspondre au Würm III (Fyc= T4) comme proposé par la carte géologique. En considérant notre erreur, ces dépôts se situent entre les stades du MIS 2 et MIS 3.

III. ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE DES TERRASSES ALLUVIALES

Outre la distinction des terrasses via leurs caractéristiques topographiques (pente et altitude, cf partie I), la granulométrie, la lithologie ou les géométries sédimentaires induites par les courants permettent également d'identifier et de différencier plusieurs phases de dépôts. Leur analyse temporelle et spatiale avait pour objectif d'identifier les sources d'approvisionnements (massifs en érosion) et d'estimer les variations de paléo-courants induites par les oscillations climatiques. Faute de temps et d'affleurements naturels sur la zone d'étude, nous avons ciblé ce travail d'analyse sédimentologique sur quelques sites d'échantillonnages clés.

III.1 Méthodologie :

III.1.1 Terrain :

Pour cette étude, nous avons consacré une demi-journée sur le terrain. L'échantillonnage nous a tout d'abord permis d'identifier de façon qualitative les différentes lithologies en présence. Les géométries visibles et les directions de courant ont ensuite été mesurées via l'application *FieldClino* et traités par le logiciel *GeoRose*. Ces données permettront de discuter des différents environnements de dépôts en présence. L'analyse granulométrique a été menée via une série de photos prises proches de l'affleurements. Pour tenter d'obtenir des données représentatives de chaque site d'étude, nous avons pris une photo tous les 3 m le long des affleurements étudiés (fronts de tailles des gravières).

III.1.2 Analyse pétrographique :

Afin de quantifier les tailles de grains (analyse granulométrique), nous avons utilisé le logiciel de détermination automatique de galet « Basegrain » développé par l'institut de Technologie Fédéral de Suisse (ETH)(Detert and Weitbrecht, 2013). L'interface graphique proposée par Basegrain permet (1) le traitement de photos pour identifier automatiquement l'ensemble des galets (Figure 12) indépendamment de leur lithologie, et (2) permet d'acquérir des données numériques et statistiques sur leur taille, leur orientation, etc. Nous avons utilisé la taille de l'axe principale des galets pour comparer les granulométries en présence dans les différents sites visités. Malgré les corrections apportées après le traitement, le logiciel identifie de nombreux petits galets (<5mm) qui n'ont pas de correspondance physique (matrice, amalgame de grains, etc.)(Figure 12). Ces anomalies dues au traitement n'ont cependant aucun impact sur l'estimation de la granulométrie étudiée puisqu'elles n'apparaissent pas dans les statistiques (taille trop petite).

Nous avons réalisé ce travail sur les deux sites d'échantillonnages autour de la commune de La Sône (ISE19_04 et ISE19_06, Figure 1). Bien que géographiquement proches, ces deux terrasses se raccordent pourtant à des périodes de dépôts différentes. Ce diachronisme est confirmé par nos résultats OSL qui donnent un âge autour de 150 ± 21 ka pour ISE19_04 et un âge nettement plus jeune autour de 30 ± 6 ka pour ISE19_06 (Tableau 3).

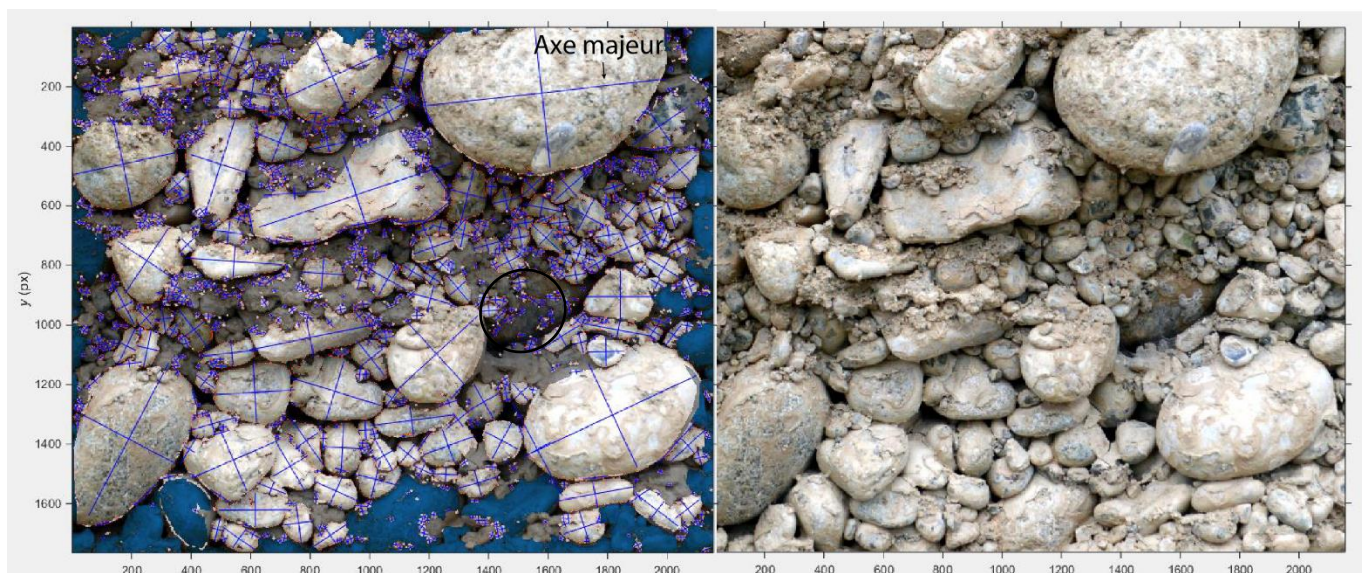


Figure 12: Image de l'interface graphique de Basegrain sur une photo de la carrière T11. A) Photo interprétée après traitement. La plupart des galets ont été identifiés avec un axe majeur (longueur du galet) et axe mineur (largeur du galet). Dans les zones grises (cercle noir), de nombreux petits grains ont été identifiés mais ils ne seront pas intégrés dans les résultats statistiques. B) Photo avant traitement de l'affleurement.

III.2 Résultats et Interprétations :

III.2.1 Lithologies et faciès :

D'un point de vue générale, les terrasses fluviales révèlent un faciès similaire quel que soit le lieu et l'âge présumé de celles-ci. Composées de galets centimétriques à décimétriques, d'origine cristallin ou sédimentaire, et d'une matrice principalement sableuse, les terrasses forment un ensemble de dépôts grossiers et désorganisés. Localement, une matrice plus argileuse peut être observée. La nappe d'argile qui drap le fond de la carrière de La Sône en témoigne (Figure 14A).

Les variations d'épaisseurs au sein d'une même terrasse rendent difficiles l'estimation de la puissance de ces dépôts.. L'abrasion post-dépôts des terrasses est probablement à l'origine de telles variations comme en témoigne l'irrégularité observée au contact de la terrasse T4 (en face de Beauvoir-en-Royans (Figure 1 et Annexe 1) avec les dépôts miocènes.

Les lithologies observées sur chacun des sites visités correspondent à des galets de granite très altérés, des schistes, des calcaires et du grès. Cette étude qualitative ne permet donc pas de conclure sur un éventuel changement de sources entre les périodes glaciaires. Concentrés sur l'analyse granulométrique, nous n'avons pas réalisé l'étude pétrographique quantitative.

III.2.2 Granulométrie :

Le travail de terrain ayant été réalisé avant la prise en main du logiciel Basegrain, les photographies des sites ont été prises sans connaissance a priori des paramètres de réglage du logiciel. Une part importante des clichés n'a ainsi pas pu être utilisée pour l'analyse quantitative. Tout en gardant un œil critique sur la représentativité de nos données, les résultats suivants permettent d'esquisser une tendance des granulométries des terrasses alluviales.

Le traitement de 6 photos pour la terrasse T4 (234 clastes repérés) et de 5 photos pour la terrasse T11 (211 clastes repérés) a donc permis de faire une comparaison statistique sur les tailles de grains (Figure 13). Les résultats montrent une grande similarité des granulométries entre les deux terrasses. Une légère différence s'observe pour les clastes ayant un axe majeur entre 30 et 60 mm. Cet écart n'est probablement pas suffisant pour conclure à une différence de dynamique entre les deux dépôts.

A noter que nous avons limité notre analyse granulométrique pour une gamme inférieure à 150mm (100% des clastes atteints). Sur le terrain nous avons pourtant remarqué la présence de blocs beaucoup plus grands (de l'ordre du mètre) (Figure 14C). La granulométrie maximale n'a donc pas été captée dans notre jeu de données, ce travail nécessitant une couverture photographique plus étendue.

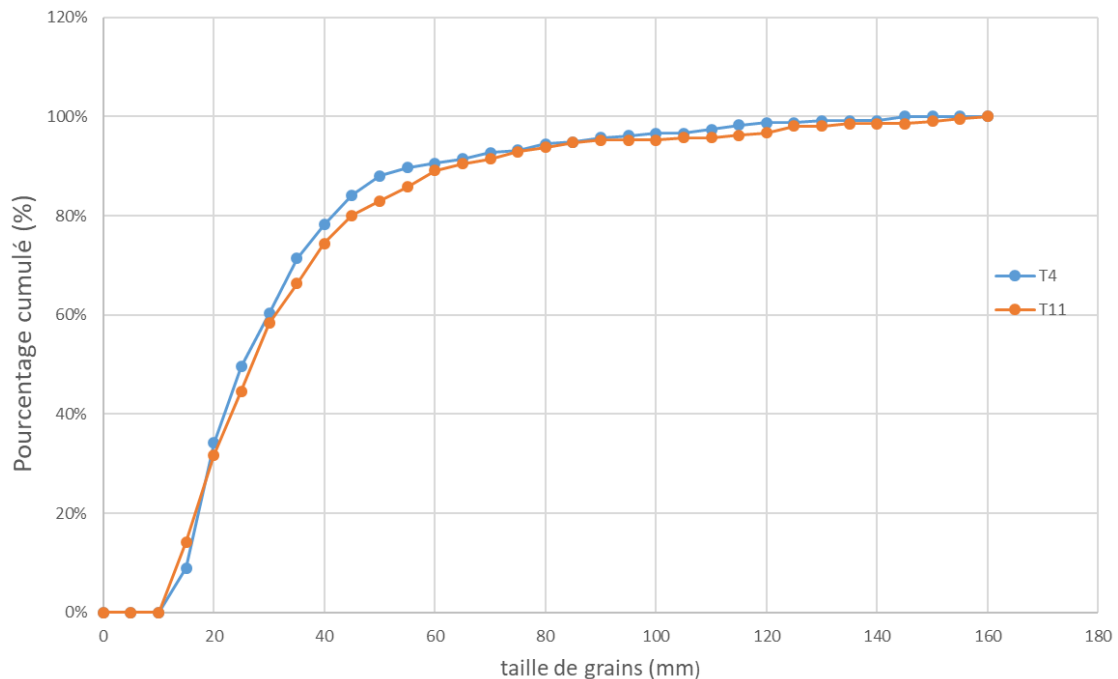


Figure 13: Comparaison des granulométries des terrasses T4 et T11. Les pourcentages cumulés montrent un D50 de 30 mm pour les deux terrasses. La granulométrie maximale mesurée sur les photos ne dépasse pas 150mm. En revanche, la présence de blocs pluri-décimétriques à métrique sur le terrain confirme que les tailles de grains maximales n'ont pas été captées.

Les granulométries similaires pour ces deux dépôts permettent tout de même d'imaginer des dynamiques de courant analogues. La capacité de transport des deux périodes représentées par les terrasses alluviales T4 et T11 semble donc très proche.

III.2.3 Figures de courants et environnements de dépôts :

Pluri-métriques et sub-verticaux, les fronts de tailles subissent une érosion importante et rapide. La lithologie peu consolidée de ces affleurements amplifie ce phénomène et ne facilite pas la « lecture » des géométries déposées initialement. De nombreuses stratifications obliques ont tout de même été identifiées dans l'ensemble des sites visités.

Dans l'ancienne gravière de la Sône (ISE19_06), de stratifications obliques pluri-métriques montrent des directions de courant vers le Sud-Ouest. Sur le front de taille orienté Nord-Sud, des géométries en auges sont visibles et confirment la direction de courant Est-Ouest (Figure 14C). Avec un lit d'argile continue sur plus de vingt mètres en latéral et d'une épaisseur d'environ 20 cm, le fond d'un chenal mineur a également été identifié. Au-dessus, la granulométrie augmente progressivement avec un banc de sable fin, dans lequel nous avons collecté l'échantillon ISE19_06, avant de retrouver les faciès grossiers, typiques des terrasses observées ailleurs. Des structures de remplissages sont visibles à l'intérieur du chenal. Avec une surface située au même niveau que la surface de la terrasse, ces géométries en auges s'apparentent bien à des paléo-chenaux et non à des chenaux récents de l'Isère. L'ensemble des géométries observées, typiques de dépôts de plaines alluviales, traduisent la présence de rivières en tresses (Graf, 1981). Ces dernières s'illustrent notamment par des débits importants, et donc une forte capacité de transport, et des directions de courants variables (selon la direction des

tresses). Le lit d'argile témoigne d'un environnement de dépôt plus calme (probablement abandon du chenal par la rivière) permettant la décantation des particules fines. La granulométrie croissante observée dans le chenal traduit une augmentation progressive du courant.

Des géométries similaires sont observables dans la carrière en exploitation de la Sône (ISE19_04, rive droite, terrasse T11). Les grandes stratifications ainsi que les structures en auges observées donnent un courant vers le Sud Sud-Ouest (Figure 15A). Dans la carrière de Saint Romans (terrasse T1), les litages obliques de mégarides observés dans la lentille que nous avons échantillonné illustraient également une direction de courant NE-SO (Figure 15B).

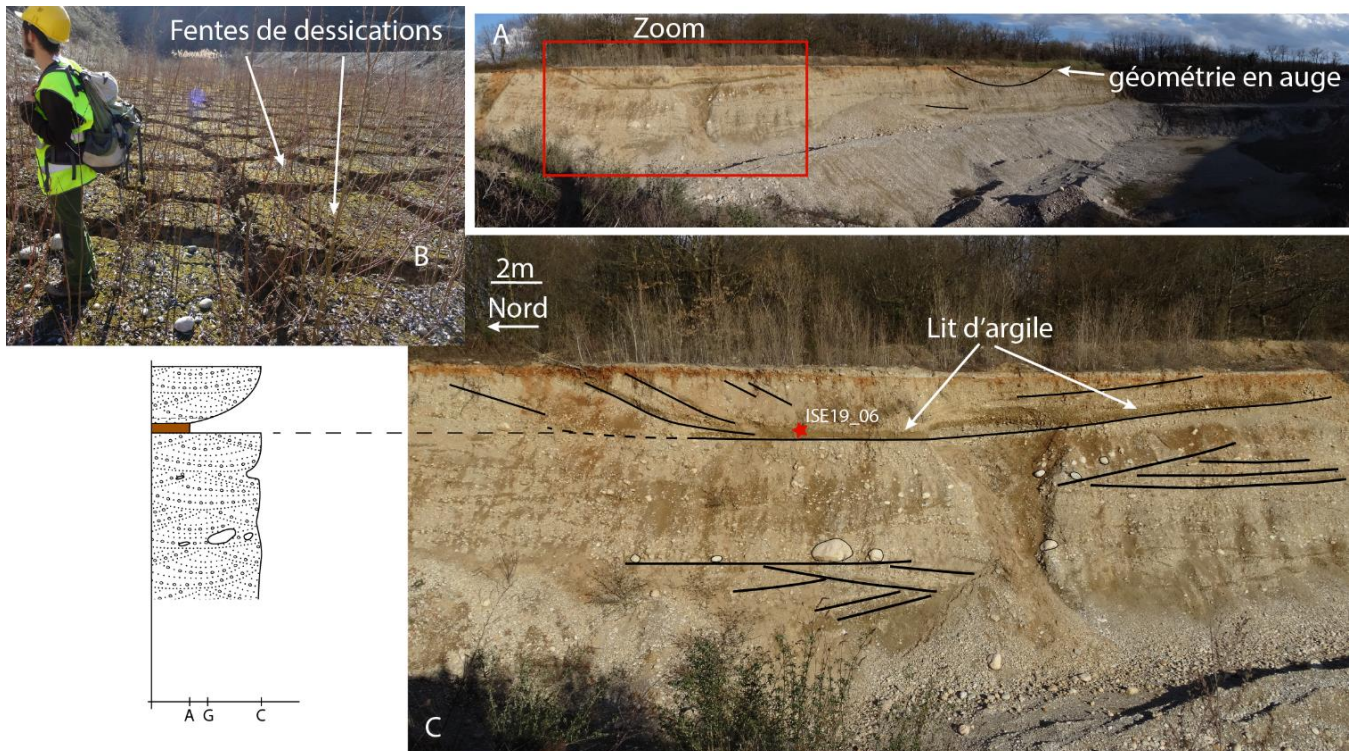


Figure 14 : Photos des géométries sédimentaires observées dans l'ancienne gravière de la Sône, lieu d'échantillonnage de l'échantillon ISE19_06. A) Fentes de dessiccations métriques dans le fond de la carrière de la Sône (ISE19_06). L'argile présent dans la matrice des dépôts est lessivée des fronts de taille, s'accumule au fond de la fosse et crée un bouchon d'argile pluri-décimétrique. B) Panorama illustrant les différentes orientations des fronts de tailles de la gravière. Présence de géométries en auges Est-Ouest. C) Zoom sur la structure chenalisée matérialisée par un lit d'argile à la base. La position de la zone d'échantillonnage est indiquée. De nombreuses stratifications obliques sont soulignées. Les blocs les plus importants se retrouvent sur les surfaces d'érosion. D) Log sédimentaire au niveau de l'échantillon pour illustrer les variations granulométriques. A=Argile ; G=Grés fin ; C=conglomérat.



Figure 15: A) stratifications obliques sur le lieu d'échantillonnage de ISE19_04. Direction de courant vers le Sud. B) Litage oblique de mégaride dans une lentille de sable. Des lits de galets soulignent les surfacents de dépôts.

IV. DISCUSSION

1. Chronologie et cartographie :

Le travail de cartographie réalisé en parallèle du processus de datation OSL nous a apporté des arguments solides pour expliquer certains âges OSL obtenus (Figure 16). Sur nos cinq échantillons analysés, seul trois indiquent un âge non saturé. Les échantillons ISE19_01 et ISE19_08 permettent de proposer un âge minimum respectivement de 240 ka et 300 ka. Peu surprenant pour l'échantillon de Châtillon St Jean, issus de dépôts rissiens (Riss : 370 ka à 130 ka, terrasse T11), la datation OSL diverge de la chronologie proposée par les auteurs de la carte géologique pour l'échantillon de la Baume d'Hostun (carté Fyb soit Würm inférieur (70 ka-50 ka)). Notre étude cartographique de cette zone révèle la présence de cônes alluviaux amalgamés issus des multiples petits talwegs provenant du Vercors. Cette observation conduit à 'hypothèse selon laquelle nous avons échantillonné ISE19_08 en bordure de cône alluvial, au contact avec les terrasses cartée T4. L'influence de ce massif subalpin calcaire s'est notamment illustrée en laboratoire par une fraction importante de carbonate dans l'échantillon ISE19_08. Sur le terrain en revanche, la morphologie du cône reste très difficile à observer. La végétation et les cultures laissent peu d'affleurements naturels visibles et aucune surface d'érosion n'a été repérée dans la gravière abandonnée où nous avons prélevé l'échantillon. L'âge OSL apporte un argument cohérent à notre hypothèse. En effet, proches de leur source (transport réduit) et transportés dans un flux sédimentaire mal trié, les minéraux de feldspath ont certainement subi un blanchiment partiel, ce qui implique une surestimation dans la détermination de l'âge, d'où la possibilité de ne proposer qu'un âge minimum pour l'échantillon ISE-19-08. Pour confirmer cette interprétation, il serait intéressant de réaliser une campagne géophysique sur cette surface pour tenter d'imager le contact entre le cône alluvial et la terrasse sur laquelle il repose.

Les datations OSL pour l'échantillon ISE19_07 (T1) divergent également de la chronologie initiale. Avec un âge de 165 ± 12 ka, il se situerait au milieu du MIS6. L'hypothèse d'un système en terrasses emboîtées avancé précédemment (cf partie II.4) semble alors compliquée à envisager. Une telle stratification impliquerait avoir échantillonné dans une terrasse plus ancienne que T11, même niveau que celui de notre échantillon ISE19_04, que nous avons daté à 150 ± 21 ka (fin du MIS 6). Nous avons échantillonné à une profondeur de 7m de la surface de la terrasse, ce qui laisse peu de place pour l'emboîtement des terrasses plus jeunes. L'apport de données géophysiques ou la réalisation de datations cosmogéniques à différentes profondeurs permettraient de confirmer ou non la présence de terrasses emboîtées.

L'hypothèse d'un remaniement de sédiments anciens issus de l'affluent principal *La Joyeuse* nous semble plus probable. Comme pour l'échantillon ISE19_08, le dépôt de cette terrasse serait jeune (Würm supérieur (30 ka-10 ka) tandis que le sédiment qui composent cette terrasse seraient issus principalement de l'érosion des terrasses rissiennes (ISE19_01, T11), présentes plus en amont, par *La Joyeuse*. Lors de ce remaniement sur une distance de transport assez courte (environ 5 km), le blanchiment du signal OSL aurait été partiel et expliquerait l'âge obtenu.

Comme explicité précédemment (cf Partie I), les corrélations réalisées sont principalement basées sur la topographie des terrasses. Les discontinuités de ces dernières et les multiples étagements identifiés avec notre méthode cartographique rendent parfois les corrélations complexes. L'étagement entre les terrasses principales T4 et T7 est notamment délicat. La grande terrasse rive gauche dans laquelle nous

avons échantillonné ISE19_06 se raccorde difficilement avec les quelques surfaces de T6 ou T5 situées plus en amont. Nous avons décidé de l'intégrer à la terrasse T4 pour laquelle la pente avec les surfaces amonts montre une bonne continuité. Un léger « saut » d'altitude s'observe pourtant avec les terrasses de T4 vers l'aval (Figure 7). Cependant, plusieurs terrasses montrent une rupture de pente dans cette même zone ce qui nous a poussé à privilégier cette corrélation.

La corrélation des terrasses les plus anciennes (T13 et T12) a également été compliquée en raison de la faible conservation de ces surfaces. Nous avons principalement utilisé les lambeaux de terrasses en rive droite encore accrochés aux contreforts du plateau de Chambaran. La carte géologique indique la présence de loess sur la terrasse T13. Nous avons la plupart du temps intégré cette formation dans le tracé de T13. Souvent coincées entre l'Isère et les affluents principaux, ces terrasses du Riss (ISE19_01 daté avec un âge minimum de 240 ka) pourraient être l'œuvre de l'un ou de l'autre de ces cours d'eau. L'étude morphologique des affluents de l'Isère à travers les projections permet de discuter ces observations.

Avec des bassins versants nettement plus petits que celui de l'Isère, les profils des principaux affluents du fleuve (Figure 7) montrent une pente nettement plus forte (1.8% soit $\sim 1^\circ$) que le fleuve. Des portions de la terrasse T11 semblent notamment s'aligner sur le profil de *la Cumane*. Cette observation conduit à deux hypothèses :

- L'Isère et ses affluents de la partie amont (zone de Vinay : Trézy et la Cumane) sont à l'origine des dépôts de la terrasse T11. L'Isère avait alors une pente similaire à celle des affluents. Ces derniers montraient alors un débit et une capacité de transport largement supérieur à ceux d'aujourd'hui. Comme pour l'Isère, ils étaient alimentés par le glacier de l'Isère qui débordait sur le plateau de Chambaran au niveau de Poliénas (Gidon, 1992 ; Coutterand 2010).
- Pour rattacher ces dépôts à ceux de l'Isère, il est possible d'imaginer un basculement postérieur au dépôt de la terrasse T11. La présence de plusieurs étages de dépôts entre les niveaux principaux T11 et T7 semble illustrer le changement de dynamique de l'Isère. Les moteurs possibles de ce changement de dynamique restent cependant multiples et seront discutés ci-après.

L'étude des knickpoints, rupture de pente sur les profils des rivières, sur les affluents de l'Isère révèle une certaine corrélation entre la terrasse T1 et les knickpoints de 3 affluents (le Chalon, La Savasse et La Joyeuse) dans la plaine de Romans. Cette surface semble donc avoir servi de niveau de base pour ces cours d'eau. Leur faible débit actuel, impliquant à un flux sédimentaire limité, pourrait expliquer l'absence de migration de ces knickpoints.

Une observation similaire pourrait être faite avec le knickpoint de la Cumane et la terrasse T7. Un travail plus approfondi dans ce secteur, pour acquérir plus de données (sur les cours d'eau et la terrasse) serait nécessaire pour proposer une interprétation consistante.

A travers ces travaux et ces interprétations, l'importance du travail cartographique se distingue quant aux choix des lieux d'échantillonnage. Pour une question de temps de préparation des échantillons, nous avons dû réaliser l'échantillonnage avant de faire l'analyse cartographique détaillée de la zone d'étude. Ces contraintes temporelles expliquent l'échantillonnage de ISE19_08 dans un cône alluvial. Ce résultat reste néanmoins intéressant et informatif pour les prochaines campagnes de datation car la technique OSL peut alors être un moyen d'identifier des dépôts proximaux de cônes alluviaux (âge OSL sur feldspath en saturation).

Avec des profils plus amalgamés dans la partie aval, la projection des terrasses alluviales apporte également une information importante pour les campagnes de terrain. En effet, les surfaces se

distinguent plus nettement dans la partie amont et apportent ainsi plus de certitude quant à la formation échantillonnée. Pour les prochaines campagnes de terrain, il est donc recommandé de se concentrer sur des sites d'échantillonnage en amont de la commune de la Sône.

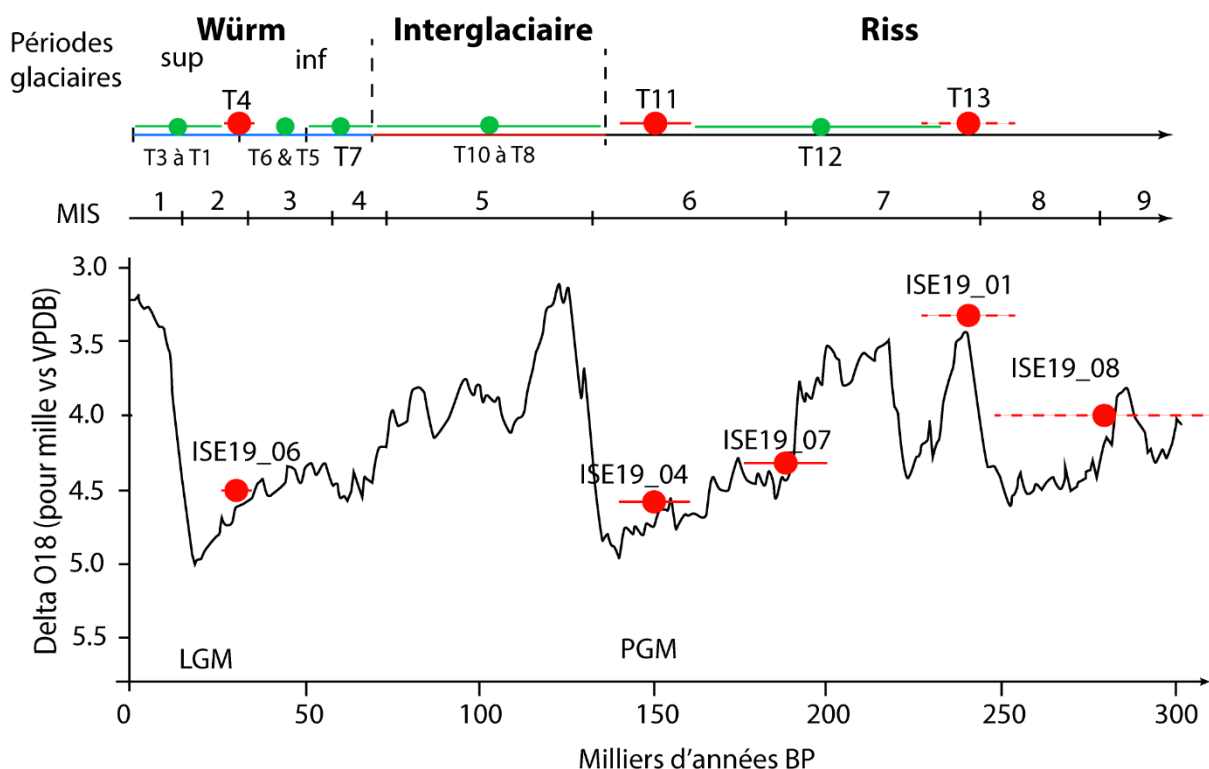


Figure 16: Intégration des résultats de datations OSL et de la nouvelle classification des terrasses dans le contexte climatique global déterminé par les stades isotopiques marins. Les points rouges correspondent à nos datations OSL. Les points verts (avec leur barre d'erreur) sont des hypothèses quant à la chronologie des différents étages identifiés sur la cartographie.

2. Les terrasses alluviales : marqueurs de la dynamique glaciaire :

Marqueurs chronologiques des différentes phases de dépôts, les terrasses alluviales de la basse vallée de l'Isère illustrent l'évolution tardi-quadernaire de cette région. Avec une épaisseur minimum de 20 m, la terrasse T11, datée de 150 ± 21 ka, témoigne d'une longue phase de dépôt, uniquement conservée rive droite de l'Isère. Mandier (1973) rattache ce niveau au maximum du Würm, pourtant, au vu de nos datation OSL, ce dépôt se situerait à la fin du Riss (370 ka -130 ka). La phase d'incision qui s'en ait suivi devait être majeure comme en témoigne l'altitude des dépôts du niveau T7 situé 20 m en dessous (Figure 16). Les cycles de dépôts/incision ultérieurs montrent de moins grandes amplitudes (parfois seulement 5 m entre les niveaux) avec des niveaux de terrasses plus rapprochés.

La présence de deux groupes de profils de terrasses distincts amène une réflexion quant à la dynamique fluviatile en présence et à l'influence potentielle de paramètres plus internes (tectonique). Sans apporter d'argument à ses corrélations, Mandier (1973) observait déjà une légère différence de pente entre les terrasses du Würm et celles du Riss dans la partie aval de la vallée de l'Isère (entre St Hilaire et Valence).

Une première hypothèse pour expliquer cette variation de pente dans les parties amonts des profils serait de considérer un basculement des dépôts rissiens. Au contact direct de la chaîne des Alpes, cette région est en effet affectée par les ajustements isostatiques des reliefs en réponse aux déglaciations et aux processus de surface (érosion et sédimentation). Une récente étude (Champagnac, 2008)

indique un taux de basculement de $0.5 \cdot 10^{-3} \text{ \%/ka}$ sur notre zone d'étude. Considérant l'âge obtenu de $150 \pm 16 \text{ ka}$ pour la terrasse T11 et en faisant l'hypothèse d'une pente initiale nulle, ce taux de basculement induirait une pente d'environ 0.07% pour la terrasse T1. Les pentes autour de 0.5% observées avec les projections sont donc un ordre de grandeur supérieure à cette estimation. Ce résultat nous permet d'écarter l'hypothèse du basculement des dépôts rissiens.

La granulométrie quasi identique pour ces deux niveaux de terrasses T11 et T4, impliquant une capacité de transport similaire, pourrait s'accorder avec l'idée d'un basculement post-dépôt (en considérant une pente similaire lors du dépôt).

La deuxième hypothèse serait d'attribuer une partie des dépôts de la terrasse T11 aux affluents de l'Isère. La contribution de l'Isère et de ses affluents au flux sédimentaire serait alors similaire et les pentes de ces cours d'eau analogues. Avec une extension jusque sur la partie amont du plateau de Chambaran (Gidon, 1992 ; Couterrand, 2010) le glacier de l'Isère pourrait être la source d'approvisionnement de l'ensemble de ces cours d'eau. Lors du retrait du glacier, l'alimentation des affluents aurait drastiquement diminuée au profit de celle de l'Isère. La longue incision post-glaciaire de la rivière serait alors à l'origine de l'étagement identifié entre les terrasses T11 et T7 au niveau de St Marcellin. Ces niveaux intermédiaires pourraient être interprétés comme différents niveaux d'incision de la terrasse T11. Les paléo-méandres sur leur surface et les petits niveaux d'abrasion intercalés soutiennent cette interprétation.

Observée sur la plupart des profils, la rupture de pente entre la partie amont et la partie aval des profils T7 à T1 se situe au niveau de Saint Nazaire en Royans (Annexe 1). Nous avons exploré plusieurs hypothèses pour tenter d'expliquer ces observations.

Aucune structure tectonique majeure ne figure sur la cartographie géologique dans cette partie de la vallée de l'Isère (Figure 17). Cependant cette zone s'illustre par un rétrécissement de la vallée entre les reliefs du plateau de Chambaran et ceux du Vercors et la confluence de l'Isère avec la Bourne. L'éperon de calcaire Urgonien entre la Baume d'Hostun et St Nazaire est affecté de plusieurs failles pluri-kilométriques de direction NNE-SSO. Leur extension se termine au niveau de la confluence de *la Bourne* et de l'Isère. La prolongation d'une de ces failles pourrait être une hypothèse pour expliquer la rupture de pente observée sur les terrasses les plus jeunes. Cependant, l'ensemble des terrasses est affecté par cette rupture de pente, ce qui implique un jeu de la faille postérieur aux dépôts les plus jeunes (T1). L'homogénéité et la continuité des pentes dans les terrasses entre St Nazaire et St Hilaire du Rosier laisse peu de place à cette interprétation.

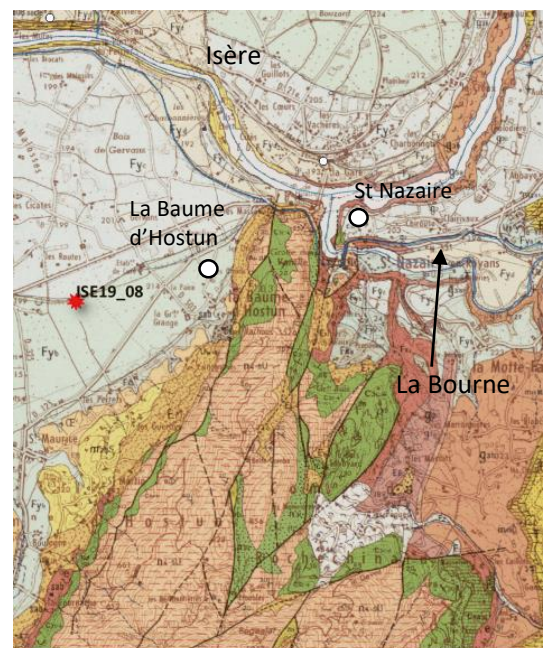


Figure 17: Extrait de carte géologique (feuille de Romans-sur-Isère 1/50000).

Avec un bassin versant montagneux de plus de 800 km^2 dans le massif du Vercors, *la Bourne* constitue une ressource hydrique majeure pour l'Isère. L'augmentation du débit et de la charge sédimentaire pourrait alors provoquer une érosion accrue en aval de la confluence (Figure 17). Cette deuxième hypothèse nous paraît plus cohérente bien que nous ayons peu d'argument pour la vérifier. Une étude

quantitative des galets de calcaires dans les terrasses en aval de la confluence pourrait permettre d'apporter des arguments pour appuyer cette hypothèse.

3. Perspectives :

Bien que l'analyse numérique de la cartographie ait apporté de nombreuses réponses quant à l'étagement général des terrasses alluviales, un travail de terrain permettrait de préciser certaines morphologies. En effet, l'anthropisation de certaines zones a rendu le travail de cartographie difficile ce qui nécessite des observations plus détaillées. Dans certaines zones où les corrélations entre les terrasses sont minces, autour de St Lattier, Eymeux ou L'Ecancière, il serait intéressant d'acquérir plus de données topographiques (GPS) précises sur les morphologies naturelles.

La méthodologie testée, lors de l'analyse sédimentologique pour quantifier les granulométries présentes dans les terrasses alluviales, a fourni des résultats encourageants. Récolter de nouvelles données photographiques, notamment dans les sites non visités lors de cette étude, paraît être un des prochains axes de travail. La hauteur des fronts de taille limitant souvent la réalisation d'une étude de la granulométrie sur toute la hauteur des terrasses, la collecte d'un grand nombre de photo sur différents sites d'une même terrasse devrait suffire à obtenir des données représentatives de celle-ci. Ces données serviront par la suite à proposer une reconstruction spatiale et temporelle des paléocourants de la basse vallée de l'Isère.

Nous avons également collecté quelques données d'imbrication dans l'ancienne carrière de la Sône (ISE19_06) (Annexe 5, (Yong Technology Inc., 2014)). Leur mesure a permis de confirmer certaines directions de courant et il apparaît intéressant d'étendre ce travail, notamment sur la terrasse T1, proche des affluents principaux. La réalisation de datation cosmogéniques à quelques endroits clés (dans la plaine de Romans (T1) ou sur la terrasse de St Marcellin (T11)) pourrait également permettre de vérifier nos hypothèses quant à l'emboîtement des terrasses (surfaces d'érosion, dépôts différents, etc).

Une campagne géophysique (tomographie de résistivité électrique par exemple) apporterait également une information sur l'épaisseur des terrasses alluviales. Réalisée sur une même terrasse d'amont en aval et pour des terrasses différentes, ces analyses permettraient d'illustrer l'évolution des épaisseurs dans le temps et l'espace le long de l'Isère. Ces informations seraient notamment très intéressantes pour quantifier les périodes d'accumulation et d'incision.

Enfin, pour élargir notre interprétation, les corrélations proposées et traiter la dynamique fluviale de la basse vallée de l'Isère dans son ensemble, il paraît indispensable de poursuivre l'étude cartographique jusqu'au niveau de Valence où de larges terrasses ont déjà été identifiées (Bonnet et Bornand, 1970 ; Mandier, 1973).

Avec la technique de datation, nous avons commencé à donner un cadre chronologique à ces dépôts quaternaires. Cependant, une large fenêtre reste encore non datée entre les dépôts de la terrasse T11 (150 ± 21 ka) et ceux de la terrasse T4 (30 ± 5 ka). C'est donc dans les étages intermédiaires qu'il faudra trouver des affleurements naturels pour étoffer la chronologie esquissée (Figure 16).

CONCLUSION

Bien que nous ayons travaillé sur une portion restreinte de la vallée de l'Isère, la méthode cartographique mise en œuvre dans ce projet s'est montrée pertinente pour l'étude des morphologies telles que les terrasses alluviales. Le découpage plus détaillé de ces surfaces proposé dans cette étude souligne la complexité des cycles d'érosion/ accumulation. L'activité glaciaire semble jouer un rôle majeur dans cette partie du bassin en contrôlant notamment la distribution et l'extension des dépôts rissiens. Par ailleurs, l'identification d'objets sédimentaires tels que les cônes alluviaux pourra par la suite aider à la quantification des volumes d'érosion déposés. Ils constituent également des marqueurs chronologiques intéressants (intercalation sur les terrasses, érosion des cônes...).

Pour associer une chronologie à ces nouvelles terrasses, et ainsi discuter des processus de formation de différents étages nouvellement cartographiés (abrasion, sous-étage, etc), la technique de datation par Luminescence semble être appropriée. Une première chronologie des séquences de dépôt a été esquissée mais une large gamme d'âge reste encore à combler entre notre dernière datation rissienne (T11, 150 ± 16 ka) et la terrasse que nous avons datée au Würm supérieur (T4, 30 ± 5 ka). Les futures campagnes de datation pourront ainsi concentrer leurs efforts sur les terrasses entre T11 et T4.

Enfin, l'analyse sédimentologique a mis en lumière le potentiel d'une étude granulométrique approfondie. Les premiers résultats ont confirmé l'apparente homogénéité des dépôts que nous avons eu sur le terrain. La granulométrie étudiée sur deux terrasses (T11 et T4), d'âge pourtant très différents, semble montrer une capacité de transport analogue. De travaux plus poussés seront nécessaire pour confirmer et étendre ces conclusions.

BIBLIOGRAPHIE

Auclair, M., Lamothe, M. and Huot, S.: Measurement of anomalous fading for feldspar IRSL using SAR, *Radiation Measurements*, 37(4–5), 487–492, doi:10.1016/S1350-4487(03)00018-0, 2003.

Bonnet & Bornand: Pédologie et quaternaire dans la vallée du Rhône moyen, *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 105, 1970.

Brocard, G. Y., Beek, P. A. van der, Bourlès, D. L., Siame, L. L. and Mugnier, J.-L.: Long-term fluvial incision rates and postglacial river relaxation time in the French Western Alps from ¹⁰Be dating of alluvial terraces with assessment of inheritance, soil development and wind ablation effects, *Earth and Planetary Science Letters*, 209(1), 197–214, doi:https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00031-1, 2003.

Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A. S., Thomsen, K. J., Thiel, C. and Sohbaty, R.: A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments: Feldspar luminescence dating of Middle and Late Pleistocene sediments, *Boreas*, 41(3), 435–451, doi:10.1111/j.1502-3885.2012.00248.x, 2012.

Champagnac, J.-D., van der Beek, P., Diraison, G. and Dauphin, S.: Flexural isostatic response of the Alps to increased Quaternary erosion recorded by foreland basin remnants, SE France, *Terra Nova*, 20(3), 213–220, doi:10.1111/j.1365-3121.2008.00809.x, 2008.

Clauzon, G.: Genèse et évolution du piémont néogène subalpin du bas Dauphiné. Valence-Vienne-Voreppe 24/25 septembre 1990- Livret guide de l'excursion préforum du 3^e forum national de géomorphologie (Aix en provence (26-27 septembre) , , 83, 1990.

Coutterand, S.: Étude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation , 472, n.d.

Detert, M. and Weitbrecht, V.: User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN , 8, 2013.

Dietze, M., Kreutzer, S., Fuchs, M. C., Burow, C. and Schmidt, C.: A practical guide to the R package Luminescence , 31, 9, 2013.

Duller, R. A., Whittaker, A. C., Swinehart, J. B., Armitage, J. J., Sinclair, H. D., Bair, A. and Allen, P. A.: Abrupt landscape change post-6 Ma on the central Great Plains, USA, *Geology*, 40(10), 871–874, doi:10.1130/G32919.1, 2012.

Durcan, J. A., King, G. E. and Duller, G. A. T.: DRAC: Dose Rate and Age Calculator for trapped charge dating, *Quaternary Geochronology*, 28, 54–61, doi:10.1016/j.quageo.2015.03.012, 2015.

Galbraith, R. F. and Roberts, R. G.: Statistical aspects of equivalent dose and error calculation and display in OSL dating: An overview and some recommendations, *Quaternary Geochronology*, 11, 1–27, doi:https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.04.020, 2012.

Gidon, M.: L E VOIRONNAIS AU WÛRM II : MORPHOLOGIE ET CORRÉLATIONS CHRONOLOGIQUES DANS LE QUATÉNAIRE PÉRIGLACIAIRE DU BAS DAUPHINÉ , 13, 1992.

Graf, W. L.: Channel instability in a braided, sand bed river, *Water Resources Research*, 17(4), 1087–1094, doi:10.1029/WR017i004p01087, 1981.

Huntley, D. J. and Lamothe, M.: Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38(7), 1093–1106, doi:10.1139/cjes-38-7-1093, 2001.

Lowick, S. E., Buechi, M. W., Gaar, D., Graf, H. R. and Preusser, F.: Luminescence dating of Middle Pleistocene proglacial deposits from northern Switzerland: methodological aspects and stratigraphical conclusions: Luminescence dating of Middle Pleistocene proglacial deposits, N Switzerland, *Boreas*, 44(3), 459–482, doi:10.1111/bor.12114, 2015.

Mandier, P.: Quelques observations morphologiques sur les terrasses de la Basse-Isère, *Revue de géographie de Lyon*, 48(4), 343–358, doi:10.3406/geoca.1973.1633, 1973.

Mandier, P.: Signification dynamique et climatique des formations et terrasses fluviales quaternaires dans les Alpes et leur périphérie, *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire*, 21(1), 113–118, doi:10.3406/quate.1984.1497, 1984.

Mandier, P., Evin, J., Argant, J. and Petiot, R.: Chronostratigraphie des accumulations würmiennes dans la moyenne vallée du Rhône. L'apport des dates radiocarbone, *Quaternaire*, 14(2), 113–127, doi:10.3406/quate.2003.1735, 2003.

Murray, A. S. and Wintle, A. G.: Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol, *Radiation Measurements*, 32(1), 57–73, doi:10.1016/S1350-4487(99)00253-X, 2000.

Rainguard, A.: Rainguard et al., 2018.

Rhodes, E. J.: Optically Stimulated Luminescence Dating of Sediments over the Past 200,000 Years, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39(1), 461–488, doi:10.1146/annurev-earth-040610-133425, 2011.

Schwanghart, W. and Scherler, D.: Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences, *Earth Surface Dynamics*, 2(1), 1–7, doi:10.5194/esurf-2-1-2014, 2014.

Sternai, P., Sue, C., Husson, L., Serpelloni, E., Becker, T. W., Willett, S. D., Faccenna, C., Di Giulio, A., Spada, G., Jolivet, L., Valla, P., Petit, C., Nocquet, J.-M., Walpersdorf, A. and Castelltort, S.: Present-day uplift of the European Alps: Evaluating mechanisms and models of their relative contributions, *Earth-Science Reviews*, 190, 589–604, doi:10.1016/j.earscirev.2019.01.005, 2019.

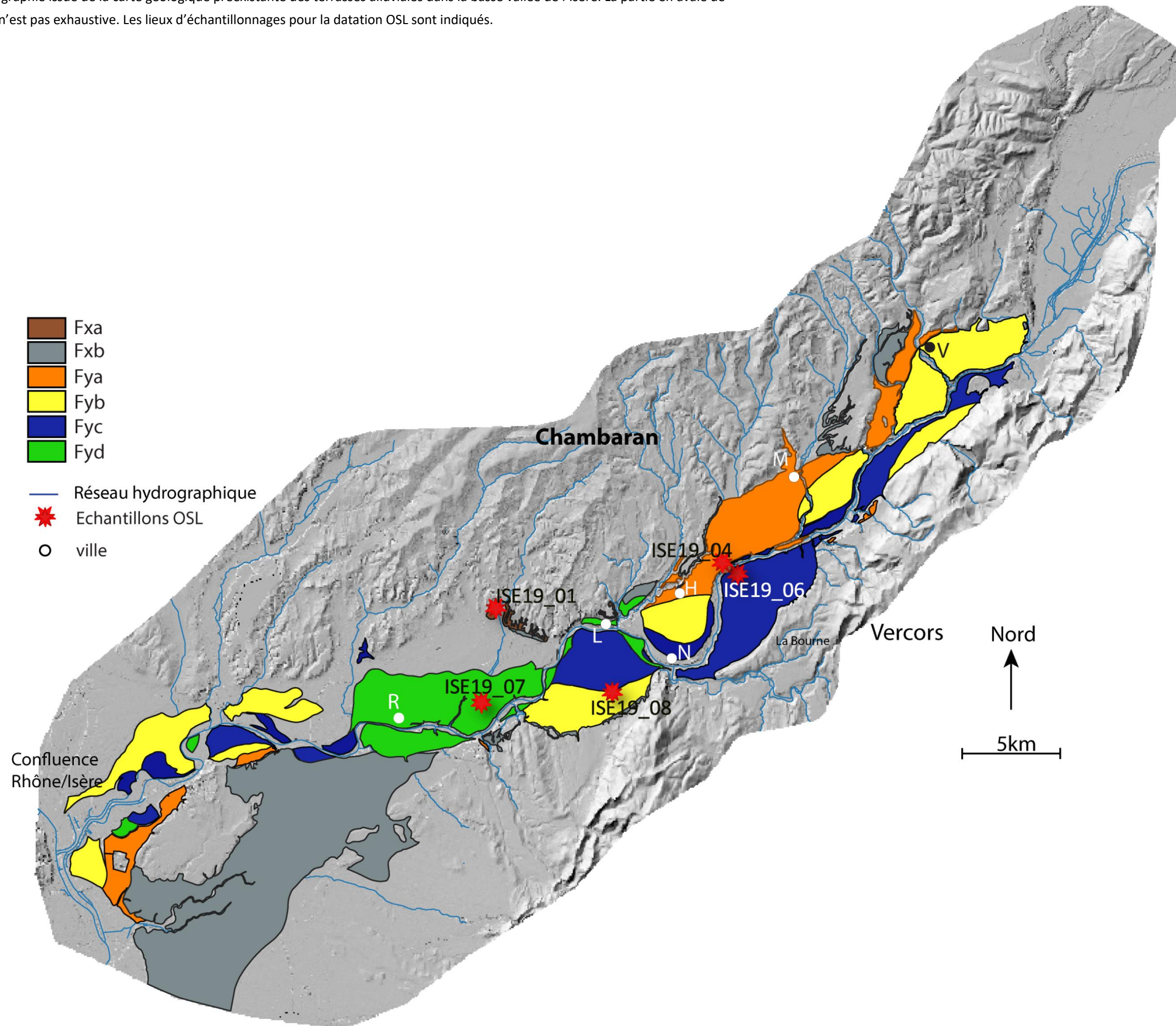
Valla, P. G., Lowick, S. E., Herman, F., Champagnac, J.-D., Steer, P. and Guralnik, B.: Exploring IRSL50 fading variability in bedrock feldspars and implications for OSL thermochronometry, *Quaternary Geochronology*, 36, 55–66, doi:10.1016/j.quageo.2016.08.004, 2016.

Wehmiller, I. F.: 4.I COMPARISON OF APPROACHES TO DATING ATLANTIC COASTAL PLAIN SEDIMENTS, VIRGINIA BEACH, VIRGINIA, , 44, n.d.

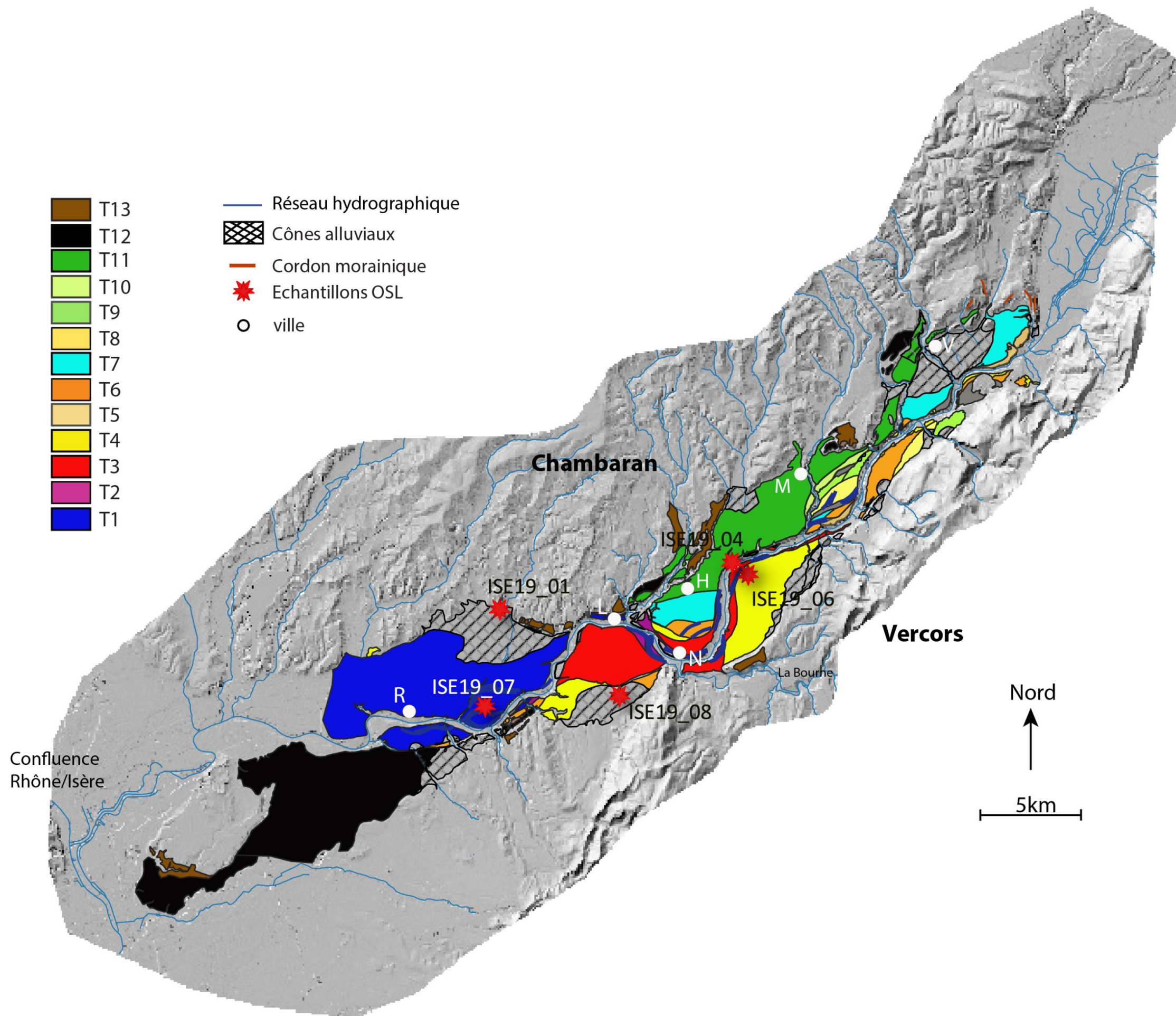
Wintle, A. G.: Luminescence dating: where it has been and where it is going, *Boreas*, 37(4), 471–482, doi:10.1111/j.1502-3885.2008.00059.x, 2008.

Yong Technology Inc.: GeoRose, [online] Available from: <http://www.yongtechnology.com/download/georose>, 2014.

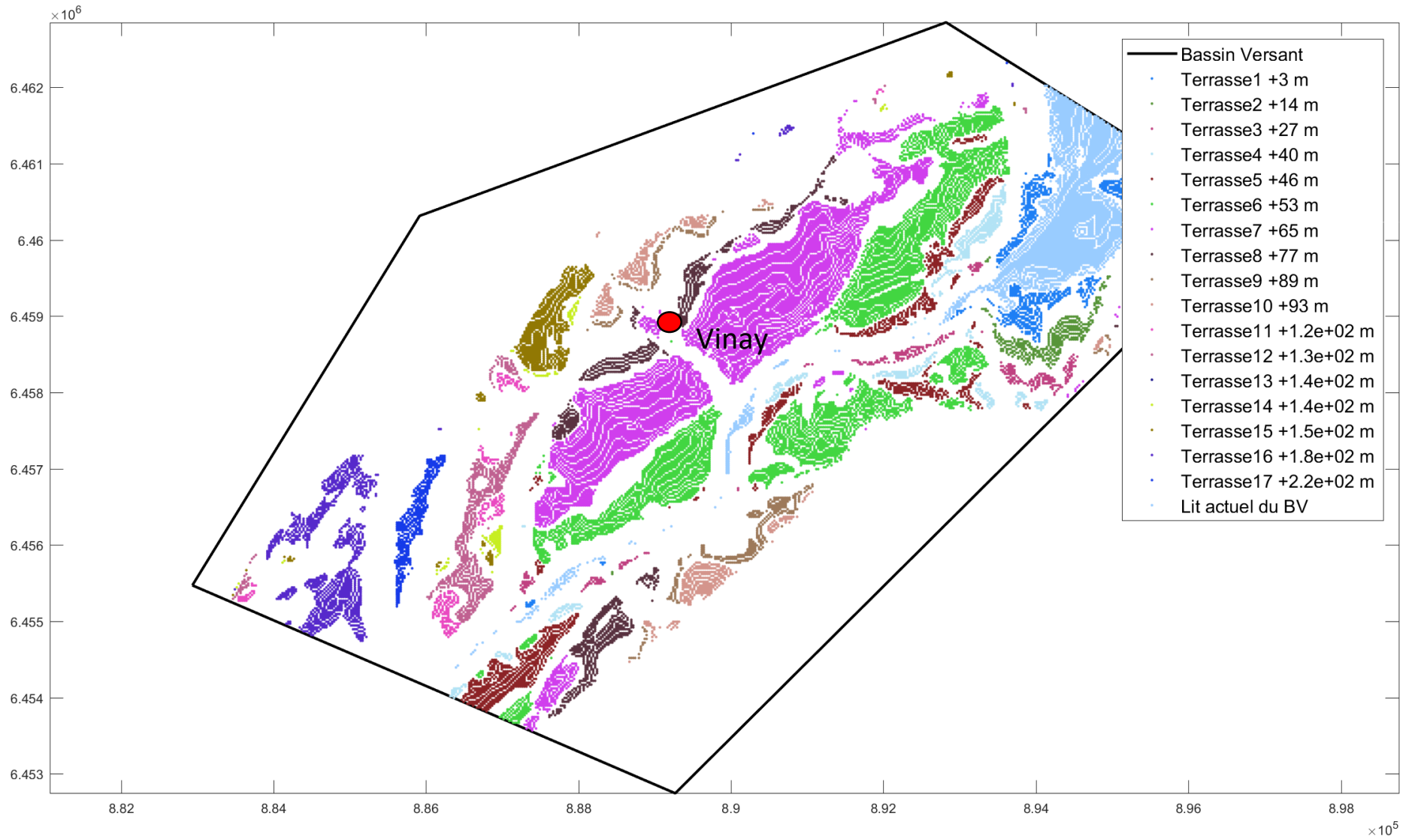
Annexe 1 : Cartographie issue de la carte géologique préexistante des terrasses alluviales dans la basse vallée de l'Isère. La partie en aval de Romans sur Isère n'est pas exhaustive. Les lieux d'échantillonnages pour la datation OSL sont indiqués.



Annexe 2 : Cartographie établie avec la méthode cartographique développée dans le présent rapport. Treize étages ont été définis et de nouvelles morphologies (paléo méandres, cônes alluviaux) ont été identifiées. (note : La position de la terrasse T13 à l'endroit de l'échantillonnage de ISE19_01 est masquée par le figuré de l'échantillon (étoile rouge))



Annexe 3 : Interface graphique de « Aconit ». Cartographie des replats identifiés dans la zone de Vinay et essai de corrélation de ceux-ci.



Annexe 4 : Données nécessaires pour le calcul du taux de dose (Dr) (concentration des différents radioéléments et teneur en eau).

échantillon OSL	taille de grain(μm)	profondeur d'échantillonnage (m)	Concentration en radionucléide			
			U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Teneur en eau (%)
ISE19_01	180-250	6 ± 0.5	0.53 ± 0.1	2.68 ± 0.1	0.87 ± 0.01	4
ISE19_04	180-300	6 ± 0.5	0.94 ± 0.12	3.32 ± 0.13	0.99 ± 0.01	5

Annexe 5 : Stéréogramme réalisé à partir des valeurs d'imbrications mesurées sur le terrain dans l'ancienne gravière de la Sône.

