

Dijon, 14-16 novembre 2011

13^{ème}

CONGRÈS
FRANÇAIS
DE
SÉDIMENTOLOGIE

LIVRE EXCURSION

Géologie de la Côte viticole
bourguignonne

DES

ASSOCIATION
SÉDIMENTOLOGISTES
FRANÇAIS

Excursion ASF

Le 17 novembre 2011

Le sol et sous-sol des versants viticoles de la Côte de Nuits : nouvelles cartographies géologiques, investigations géophysiques et pédologiques à haute résolution spatiale

Christophe PETIT⁽¹⁾

Amélie QUIQUEREZ^(2,3)

Françoise VANNIER-PETIT⁽⁴⁾

Emmanuel CHEVIGNY⁽²⁾

(1) Université Paris 1 Panthéon- Sorbonne, UMR CNRS 7041 ARSCAN

(2) Université de Bourgogne, UMR CNRS 5594 ARTEHIS

(3) UMR CNRS LGL-TPE 5276

(4) Ingénieur géologue

Le sol et sous-sol des versants viticoles de la Côte de Nuits : nouvelles cartographies géologiques, investigations géophysiques et pédologiques à haute résolution spatiale

Christophe PETIT⁽¹⁾, Amélie QUIQUEREZ^(2,3), Françoise VANNIER-PETIT⁽⁴⁾, Emmanuel CHEVIGNY⁽²⁾

(1) Université Paris 1 Panthéon- Sorbonne, UMR CNRS 7041 ARSCAN

(2) Université de Bourgogne, UMR CNRS 5594 ARTEHIS

(3) UMR CNRS LGL-TPE 5276

(4) ingénieur géologue

avec la collaboration de Pascal ALLEMAND (LGL-TPE, Université Lyon 1), Christian CAMERLYNCK (Laboratoire SYSIPHE, Université Paris 6), Pierre CURMI (AGROSUP Dijon), Jérôme BRENOT, Philippe GRANDJEAN (LGL-TPE, Université Lyon 1)

Présentation générale de l'excursion

Problématique générale

La constitution et le fonctionnement des sols viticoles de versant sont le reflet de paramètres agissant à différentes échelles temporelles et spatiales. Il s'agit :

- du jour à l'année, **des facteurs hydro-météorologiques** qui contrôlent les processus de transfert des sédiments l'échelle des parcelles et des versants ;
- à l'échelle centennale à millénaire, **des facteurs climatiques et anthropiques** qui modifient la dynamique sédimentaire à l'échelle des versants (modification des écoulements, des habitats, des paysages, des pratiques agricoles);
- à l'échelle du millier à celle de la centaine de milliers d'années, **des facteurs climatiques**, qui façonnent les versants à l'échelle régionale (altération chimique, formation des éboulis cryoclastiques de type grèzes litées);
- au-delà de la centaine de milliers d'années, **de la tectonique**, qui contrôle l'évolution des reliefs et se traduit par la mise à l'affleurement d'une diversité de substrats et lithologies en surface à l'échelle régionale.

En Bourgogne, il existe une vraie diversité de versants et de terroirs viticoles. En particulier, la Côte viticole située entre Dijon et Santenay (Côte-d'Or) est emblématique de cette problématique multi-échelle et transdisciplinaire impliquant la géologie, la géomorphologie, la pédologie, la climatologie, et l'étude de l'action anthropique.

Les terroirs viticoles sont le résultat d'interactions complexes entre l'homme et le milieu, et sont révélés par un produit à forte qualité identitaire. Ainsi, depuis la fin du XIII^e siècle (1283) (Rey, 2010), le terroir désigne, par spécialisation, la terre considérée du point de vue de ses aptitudes agricoles, et plus spécialement le sol apte à la culture d'un vin. Aujourd'hui, l'O.I.V. (office international du vin), adaptant la définition de l'INRA (1998) et celle de l'INAO (2006) définit le terroir vitivinicole comme un concept qui se réfère à un espace sur lequel se développe un savoir faire collectif. Le terroir résulte des interactions entre un milieu physique et biologique identifiable et les pratiques vitivinicoles appliquées. Ces interactions confèrent des caractéristiques distinctives aux produits originaires de cet espace (OIV, 2010). Actuellement, la diversité des terroirs viticoles de la Côte est illustrée par la notion de climat, présenté à l'UNESCO au titre de patrimoine immatériel de l'humanité (Garcia, 2011).

La connaissance des terroirs nécessite des études transdisciplinaires naturalistes mais aussi historiques et socio-économiques qui dépassent le cadre classique des études géologiques et pédologiques réalisées habituellement au sujet de la Côte. Même s'il est illusoire d'envisager des relations simples entre les paramètres naturels, les pratiques agricoles, et la qualité de production viticole, il est nécessaire d'améliorer notre connaissance des terroirs et donc du sol et du sous-sol pour une gestion durable et raisonnée du patrimoine sol (Goudie, 2005; Morgan, 2005).

La série géologique bourguignonne est bien connue d'un point de vue stratigraphique, paléontologique et paléoenvironnemental (Rat, 1974 et Rat *et al.*, 1986; excursion de Christophe Durlot à Vauchignon, ce volume). La dernière synthèse concernant les terroirs viticoles de la Côte est déjà ancienne (Gadille, 1967) et ne prend pas en compte les avancées récentes des études géopédologiques qui ont été conduite à une échelle large. En effet, les cartes géologiques à 1/50000 (Rémond, 1972) ou pédologiques à 1/100 000 (Chrétien, 1995) ne sont pas adaptées à la reconnaissance de la diversité spatiale du sous-sol des vignes sur la Côte.

Le positionnement de la grande faille de la Côte est largement hypothétique (Rémond, 1972) et les études tectoniques de cette bordure du rift bressan restent rares (Rat, 1976 et 1978, Gélard, 1977, Rocher *et al.* 2003). Les réseaux de fracturation ne sont pas absolument pas identifiés précisément sur le versant viticole, puisque recouverts par un manteau d'éboulis rendant délicate la réalisation de la carte.

Les études pédologiques conduites sur les versants de la Côte sont rares (Meriaux et al. 1981) et ne rendent compte que d'une topolithoséquence théorique que les nombreuses fosses pédologiques réalisées ces dernières années par les viticulteurs rendent obsolètes. De nombreux placages quaternaires parfois épais sont préservés sur ces versants : éboulis cryoclastiques weichseliens (grèzes litées) ou placages plus ou moins épais de limons rouges mis en place par des coulées de solifluxion.

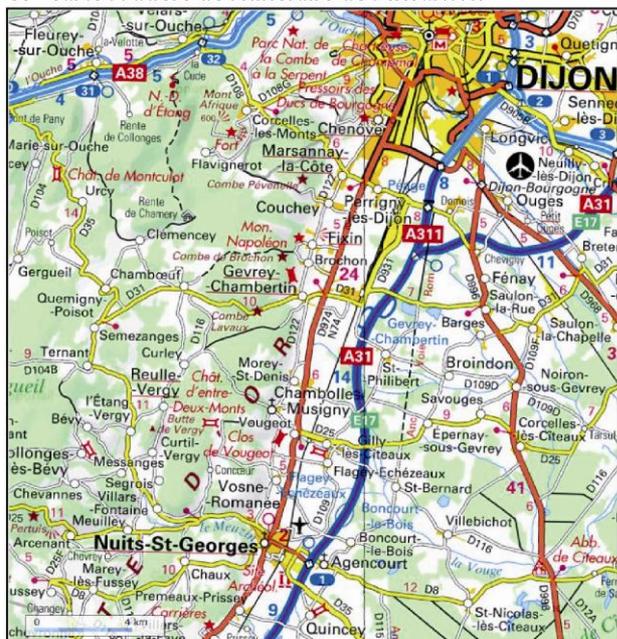
La grande variabilité des sols des versants viticoles est largement influencée par les aménagements anthropiques (voirie, murs parcellaires, murgers...). Ces derniers résultent de l'épierrement des parcelles pour en faciliter le travail du sol, les pierres étant accumulées aux limites de la parcelle cultivée. Les pratiques culturelles récentes et passées (remontées de terre, réaménagement plus ou moins brutal des parcelles lors de leur plantation) rendent ces sols très largement anthropisés, largement transformés directement ou indirectement par l'homme.

La nécessité de comprendre l'agencement du sol et du sous-sol nous a amenés à initier quatre types d'investigations qui font l'objet de présentations au cours de cette excursion. Il s'agit :

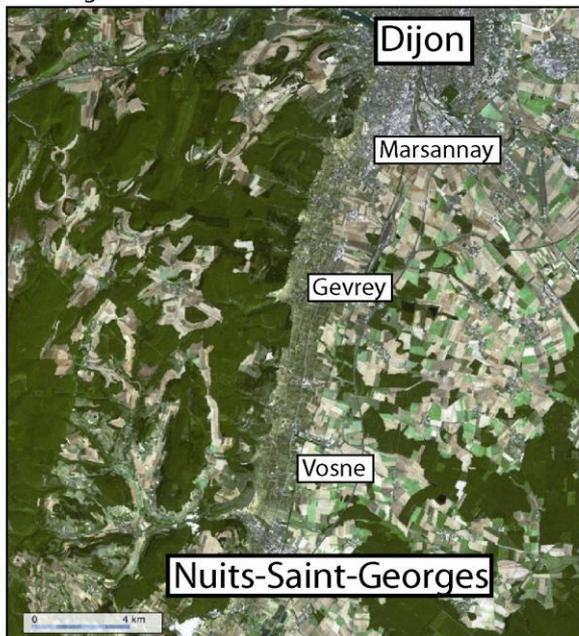
- **d'une cartographie géologique** destinée à mieux connaître la nature lithologique et la géométrie du sous-sol. Ce travail a été réalisé au 1/10 000^e et complété par des investigations géophysiques (tomographies électriques).
- **de l'étude la dynamique sédimentaire de versant** par levés de coupes, de mesure d'érosion des versants et de l'accumulation des colluvions. Ces flux ont été estimés aux échelles de temps hydroclimatiques événementielles par bilan de masse, aux échelles de temps pluri-décennales en réalisant des analyses spatiales de l'érosion, et aux échelles de temps pluricentennales par l'analyse sédimentologique de coupes de colluvions de versants.
- **d'une caractérisation de l'aspect de surface de ces sols** à partir d'images aériennes à très haute résolution, acquises par drone hélicoptère, complétées par des données LIDAR rendant compte des microreliefs de ces versants.
- **de l'étude des relations entre l'homme et son vignoble**, qui existent depuis plus de deux millénaires sur le versant, qui se traduisent par l'évolution des pratiques culturales et de l'organisation parcellaire, en réponse aux changements socio-environnementaux.

Ce livret d'excursion présente ces différents thèmes qui seront illustrés lors des arrêts réalisés le long de la Côte de Nuits (**Figure 1**). Après avoir détaillé le contexte géologique de la Côte viticole, nous présenterons successivement : (1) à Gevrey-Chambertin, les principaux résultats cartographiques, (2) à Vosne-Romanée, la dynamique des versants, (3) Marsannay, la diversité des sols

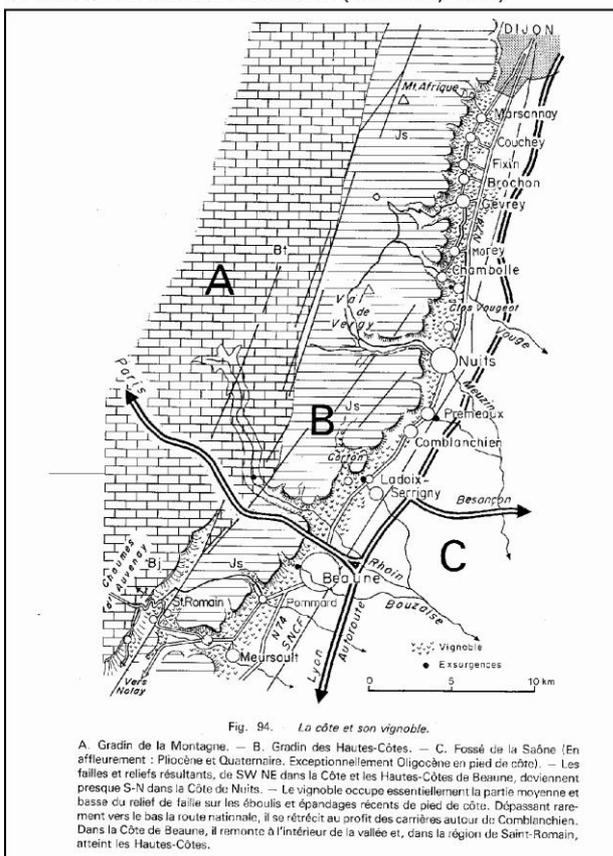
A - Carte routière de l'itinéraire de l'excursion



B - Image aérienne de l'itinéraire de l'excursion



C - Schéma structural de la Côte (Rat et al., 1986)



D - Extrait de la carte géologique de Gevrey-Chambertin au 1/50000 (Rémond, 1972)

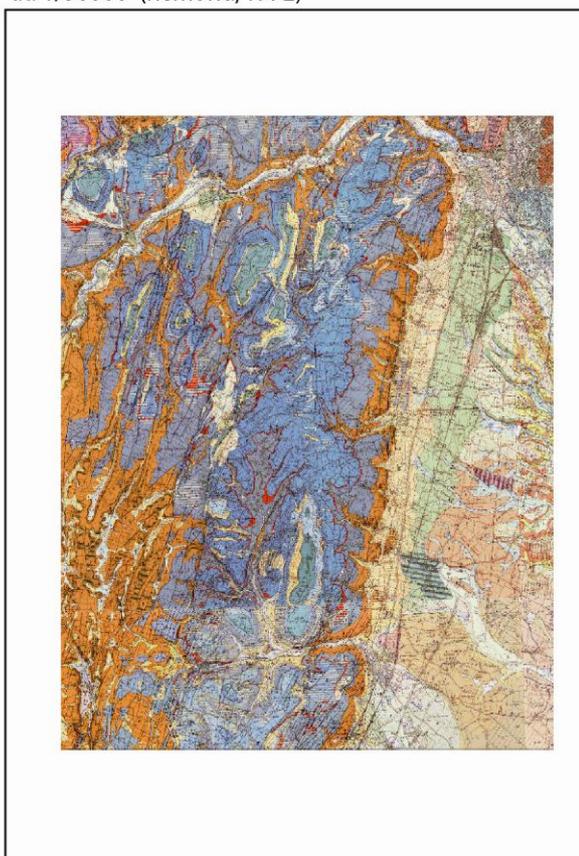


Figure 1 - Itinéraire de l'excursion

Contexte géologique de la Côte

La Bourgogne et son terroir argilo-calcaire...

Qui n'a pas entendu ou utilisé l'expression « **argilo-calcaire** » pour caractériser le sous-sol de la Côte ? Cette dénomination est **vraie**, les roches sont argileuses, ou calcaires, ou le plus fréquemment un mélange de ces deux minéraux, mais elle est ô combien **réductrice**. Il existe une telle diversité entre les climats bourguignons, mais également au sein de ceux-ci, que la nécessité de comprendre la variabilité du sous-sol s'impose.

L'histoire géologique : la lente création des terroirs

La succession des événements au cours des temps géologiques est responsable de l'allure du relief, de l'agencement et du nature sous-sol. L'histoire géologique conditionne le paysage viticole actuel (**Figure 2**). Ces coupes géologiques rendent bien compte de la diversité géomorphologique des vignobles bourguignons qui présentent des substrats différents et une structuration spécifique à chacune des cinq principales régions viticoles de Bourgogne (Fanet, 2001 ; Garcia, Petit et coll. 2005) :

- - l'Auxerrois, couches marno-calcaires du Jurassique supérieur en position monoclinale
- - la Côte de Nuits, versant orienté à l'Est qui présente une succession de compartiments faillés où affleurent horizontalement le plus souvent la série marno-calcaire du Jurassique inférieur et moyen ;
- - la Côte de Beaune, versant orienté au Sud-Est qui présente une succession de compartiments faillés où affleurent horizontalement le plus souvent une série marno-calcaire du Jurassique moyen et supérieur ;
- - le Chalonnais qui présente une succession de gradins de terrains marno-calcaires du Jurassique, à pendage vers l'Est
- - le Mâconnais qui présente une succession de gradins à pendage vers l'Est constitué de terrains très diversifiés datés du Primaire au Jurassique.

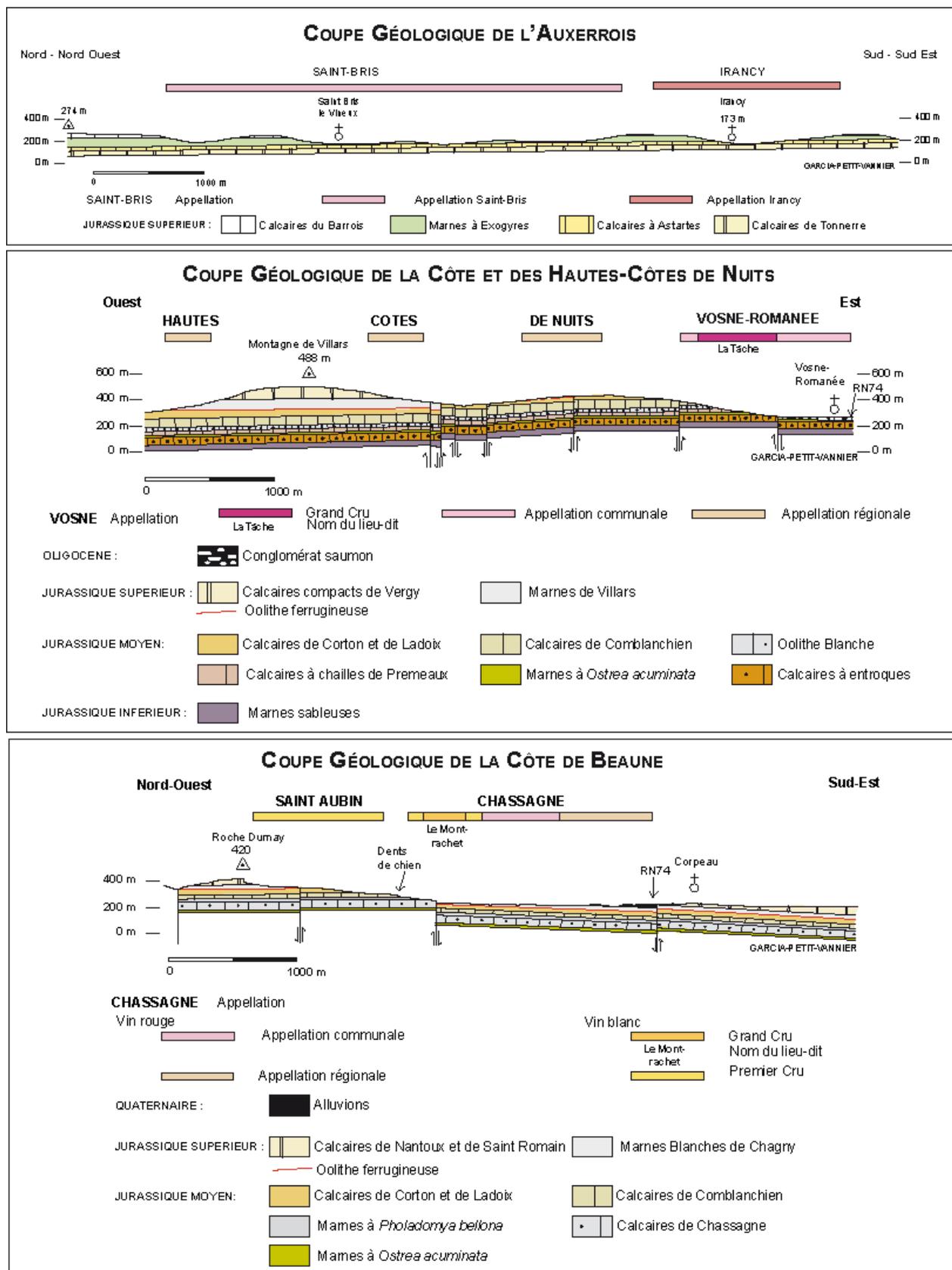


Figure 2 - La diversité géologique des vignobles de Bourgogne.

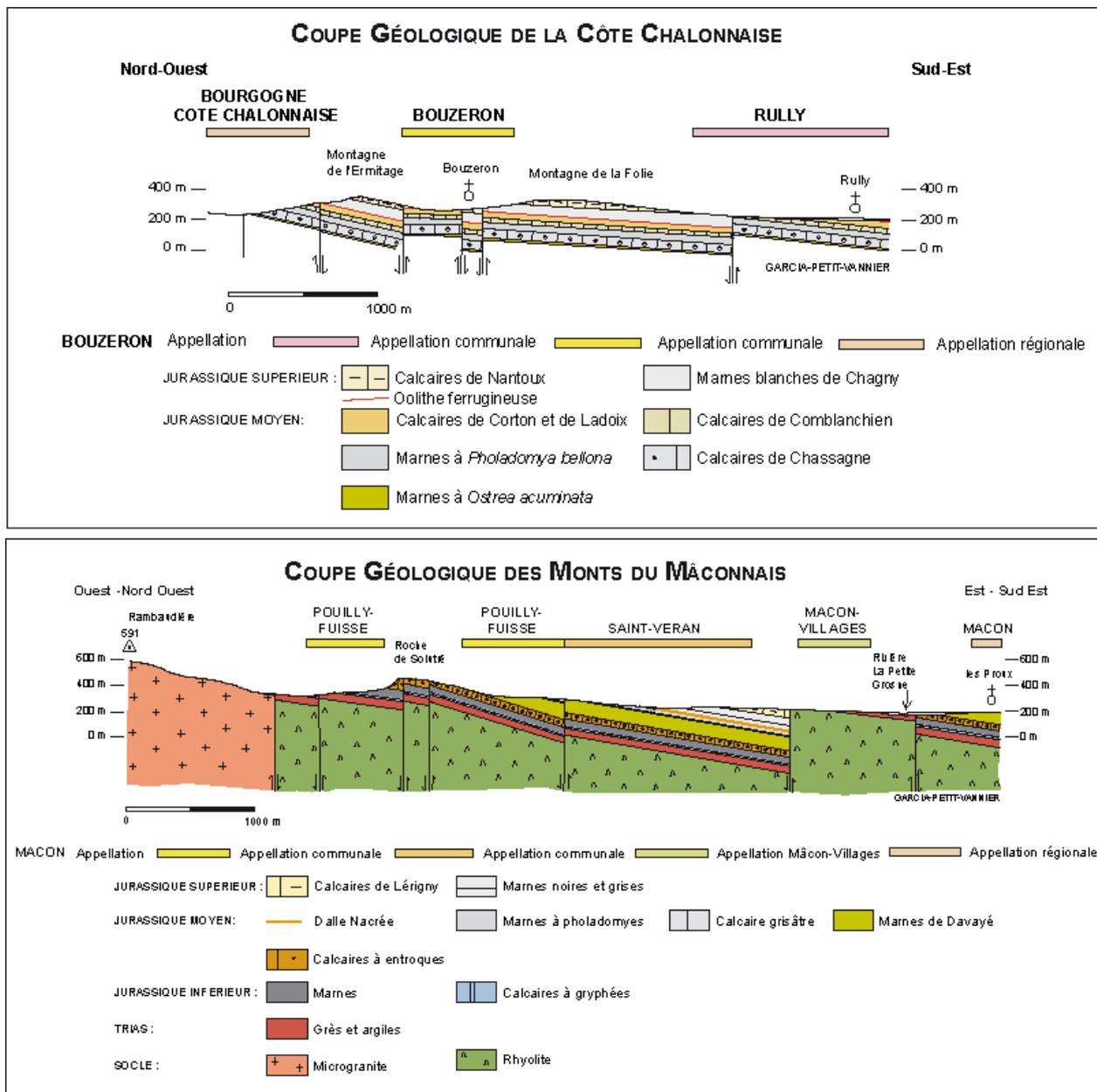


Figure 2 – La diversité géologique des vignobles (suite)

La construction du paysage de la Côte de Nuits, objet de notre excursion, peut se résumer à quatre grandes étapes que l'on peut suivre, de façon simplifiée, sur la **Figure 3**.

La formation des roches au cours de l'ère Secondaire

Transgressif sur la surface pénéplanée de la fin du primaire, le Trias voit le retour de conditions de dépôt marines sur un paysage dépourvu de reliefs. Le Lias, est quant à lui une période de sédimentation essentiellement marneuse, de mer ouverte assez profonde. A partir du Bajocien, une plate-forme carbonatée se met en place, et permet le dépôt de sédiments

calcaires et argileux, qui s'accumulent en couches horizontales sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. La sédimentation carbonatée de plate-forme se poursuit jusqu'à la fin du Callovien. Le Jurassique Supérieur correspond à un approfondissement des conditions de dépôt. La mer crétacée recouvre le secteur et d'importants dépôts de craie recouvrent la région. A la fin du Crétacé, le secteur est définitivement émergé, initiant une lente érosion des dépôts secondaires. Cette érosion va se poursuivre jusqu'à la fin de l'Eocène, période à laquelle la quasi-totalité des dépôts crétacés ont disparu.

La succession des couches géologiques jurassiques peut être identifiée sur le forage d'Argilly implanté à 5 km au sud-est de Nuit-Saint-Georges. La succession verticale des faciès et l'épaisseur de chacune des formations jurassiques y sont clairement définies (**Figure 4**). Cette série identifiée en forage sert de référence pour l'établissement de la carte géologique détaillée des versants viticoles.

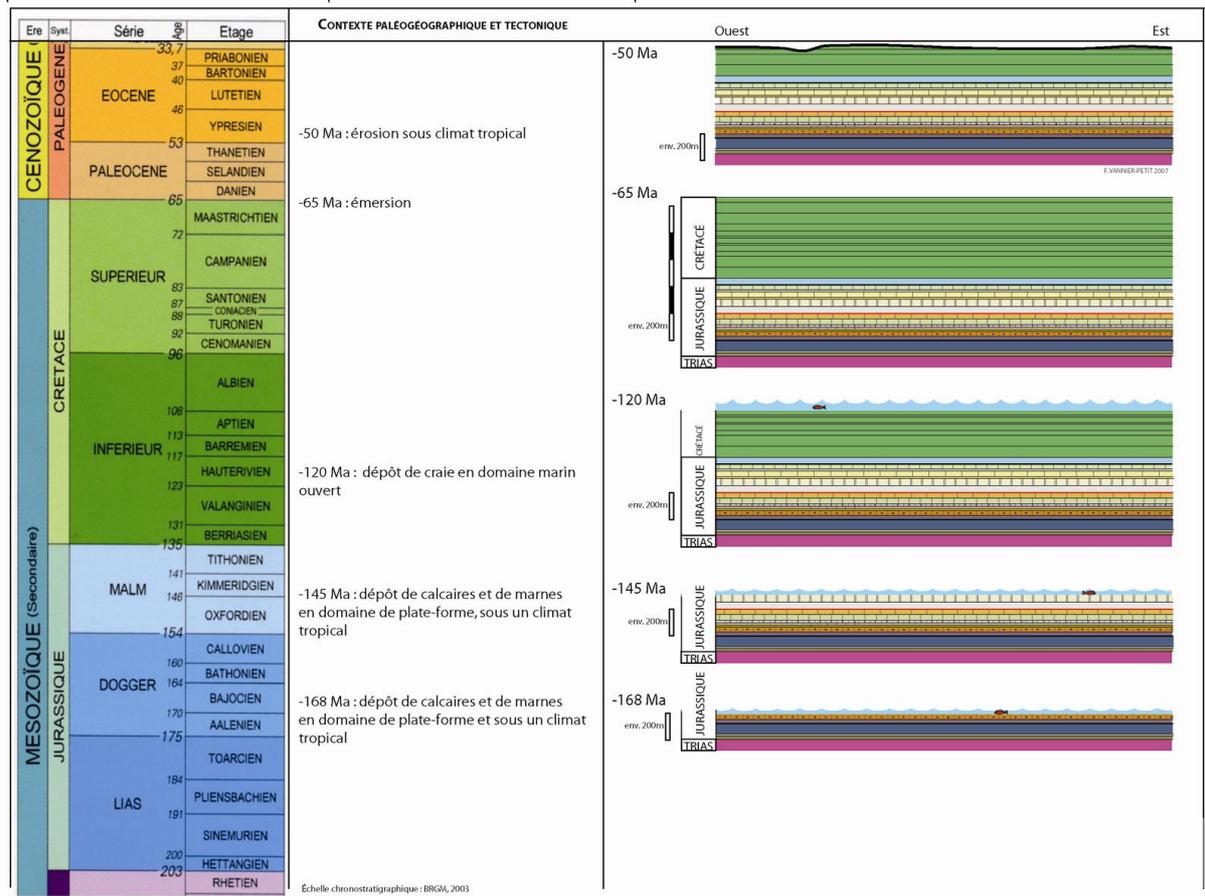
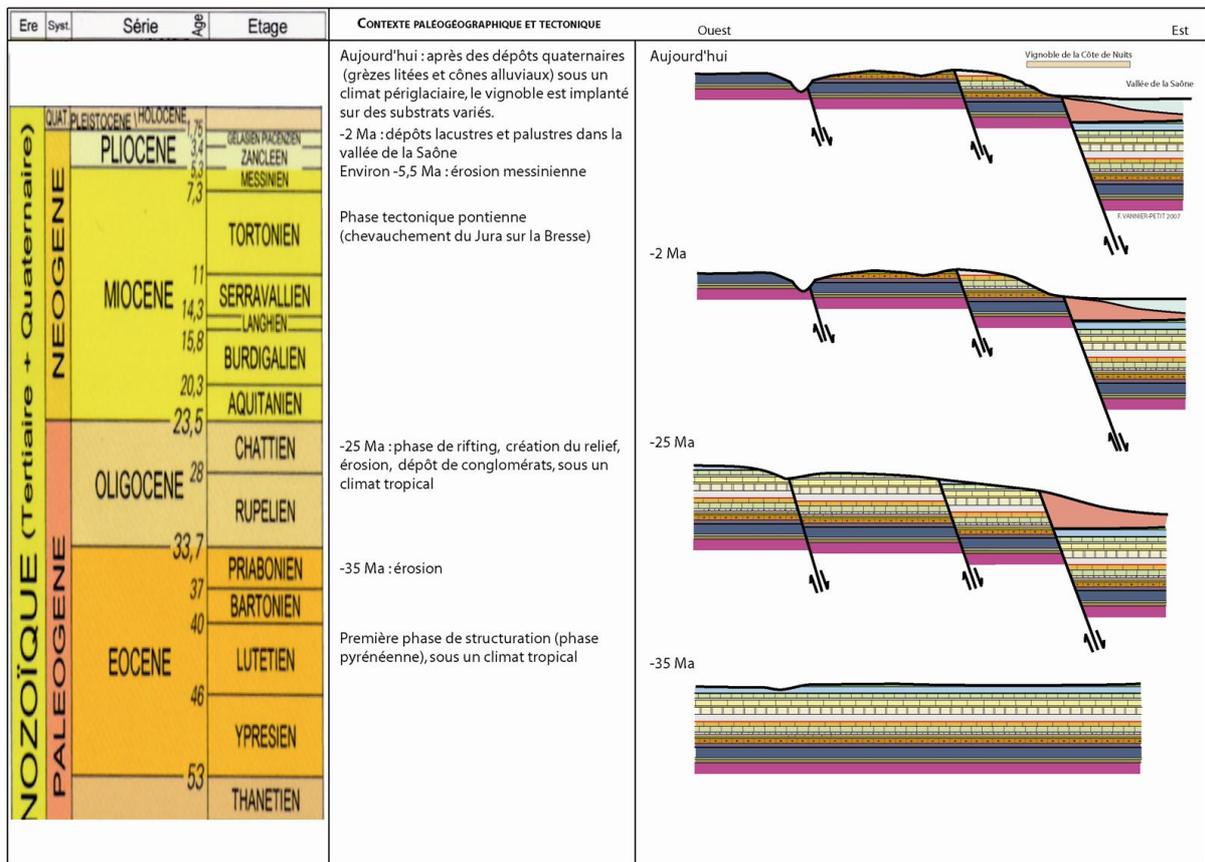


Figure 3 - Principales étapes de la constitution du paysage de la Côte de Nuits.

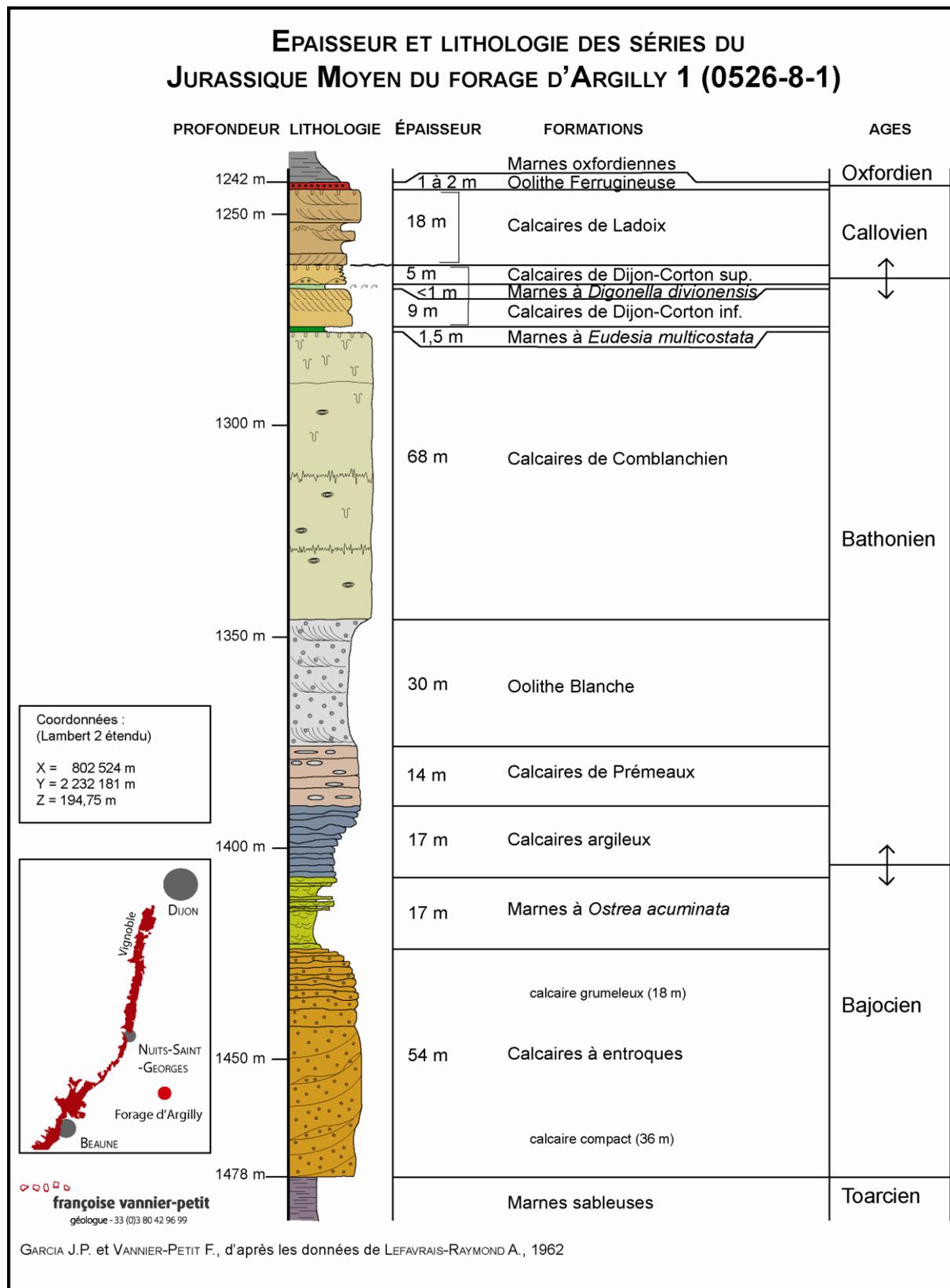


Figure 4 - La série jurassique de la Côte de Nuits recoupé sur le forage d'Argilly

La création du relief de la Côte au cours de l'ère Tertiaire

Il y a environ trente millions d'années, la Côte se trouve toujours dans un contexte climatique tropical, mais les terres sont émergées. Un étirement au sommet du bombement contemporain de l'orogénèse alpine va engendrer le fossé d'effondrement bressan. Les couches argilo-calcaires fracturées s'agencent de Dijon à Nuits-Saint-Georges en longues lanières orientées N10, affaissées vers l'Est (**Figure 5**).

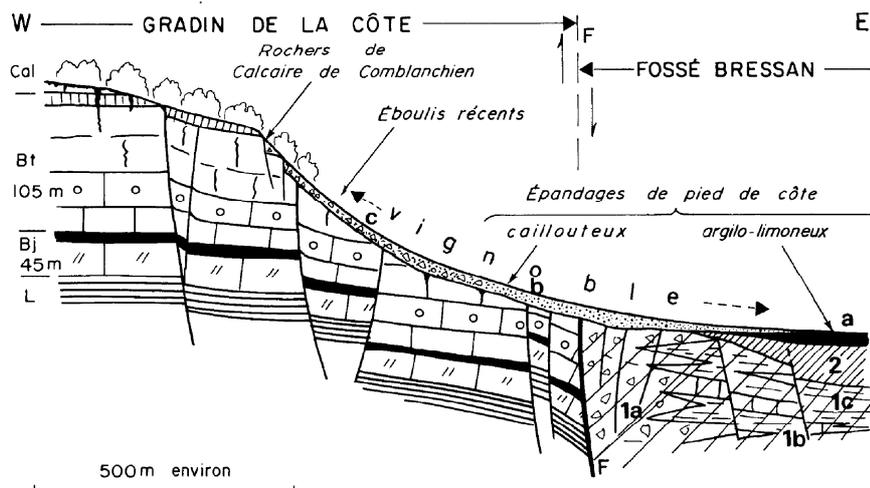


Figure 5- Coupe géologique de la Côte, d'après Rat (1986)

Le fossé d'effondrement de la Bresse se met en place ; le relief de coteau apparaît (**Figure 3**). L'érosion des reliefs naissants va provoquer une accumulation importante de galets calcaires et de marnes connues sous le nom de conglomérats et marnes saumons. Les couches jurassiques désormais largement fracturées offrent un décalage de plus de 1500 mètres entre le coteau et le fossé bressan.

Cette phase de rifting s'arrête à la fin de l'Oligocène. L'érosion du relief de côte se poursuit sous climat tropical, puis sous des conditions plus tempérées.

Des incisions affectent ce relief, entre l'Oligocène et le Pliocène, et initient les principaux réseaux hydrographiques actuels. Ces creusements ne sont mis en évidence que ponctuellement, en corrélant de rares forages profonds. Il est très probable que ce réseau se soit approfondi en réponse à la crise messinienne comme le suggère G. Clauzon (Clauzon et al. 1990), mais la géométrie exacte de cette incision est encore largement spéculative en amont de Lyon. En revanche, les forages peu profonds répartis sur l'ensemble de la Bresse de Dijon à Dôle et de Dijon à Lyon ont permis de reconstituer la géométrie du remplissage plio-pleistocène (Petit, 1993). Il en ressort que ces dépôts essentiellement fluviolacustres se mettent en place entre 3,2 Ma et 1,4 Ma avec un déplacement des dépôts-centre globalement vers l'Ouest. La Bresse fonctionne alors comme un bassin d'avant-pays de type pelliculaire (Petit, 1993 ; Rocher et al. 2003) se mettant en place au front du Jura chevauchant la bordure orientale de la Bresse (Lefavrais-Raymond, 1962 ; Bergerat et al. 1990).

L'analyse stratigraphique des dépôts plio-pléistocène de la Bresse met en évidence une capture hydrographique majeure : le fleuve alpin l'Aar a emprunté le cours du Doubs et est à l'origine de nombreux dépôts fluviatiles entre 3,2 et 2,4 Ma en Bresse du Nord. L'origine alpine des sédiments a été démontrée par l'analyse du cortège de minéralogique des sables et galets originaire des zones internes des Alpes (radiolarites alpines...). Vers 2,4 Ma, ce fleuve alpin est capturé par le Rhin dans le secteur de Bâle ; il se dirige depuis vers le graben du Rhin alsacien et en aval dans les grabens des Pays-Bas (Petit et al., 1996).

Les Marnes de Bresse (**Figure 3**) forment des dépôts palustro-lacustres plio-pléistocènes localement épais et dont le toit est quasi horizontal à la cote de 250 mètres d'altitude. A leur sommet, se mettent en place de larges épandages sablo-graveleux contemporains de période glaciaires anciennes (Eburonien). On peut ainsi reconnaître un contrôle climatique de cette sédimentation, contemporain du début du Quaternaire (Rousseau et al. 1992 ; Petit, 1993). Par la suite, le réseau hydrographique de la Saône s'enfonce et laisse sur les versants des plaines alluviales des terrasses fluviatiles sablo-graveleuses. Intercalée dans cette série quaternaire, peut être reconnue la formation des Marnes du St-Cosme qui correspond au remplissage lacustre contemporain du maximum glaciaire daté du Riss, alors que le glacier du Rhône barrait la vallée de la Saône au niveau de Lyon.

Ces analyses du remplissage géologique de la Bresse permettent de replacer les différentes étapes de la constitution générale de ce relief (**Figure 3**). Néanmoins, les investigations précises de la bordure occidentale, comme la Côte viticole, restent rares et de nombreuses incertitudes subsistent. Ainsi, la géométrie des incisions tertiaires, la géométrie de la bordure occidentale du rift bressan et en particulier le positionnement de la faille (ou des failles ?) sont mal documentés. Nos observations de terrain réalisées dans le vignoble de la Côte semblent montrer que cette bordure du rift est tectoniquement complexe.

Les retouches géomorphologiques du Quaternaire récent

Le climat périglaciaire du Weichselien, dernière période glaciaire, a eu des conséquences importantes dans la zone actuellement cultivée en vigne. Elle est responsable de la mise en place de dépôts typiques de ce climat : cônes alluviaux et éboulis cryoclastiques (grèzes litées) (**Figure 3**).

La présence d'un pergélisol continu au cours des dernières périodes glaciaires du Quaternaire explique le creusement de vallées profondes à travers les séries calcaires qui constituent les versants de la Côte. Les eaux qui ne peuvent d'infiltrer dans les calcaires karstiques - comme c'est le cas actuellement en période interglaciaire- vont ruisseler en surface, entraînant la création de torrents qui creusent des vallées perpendiculaires à la Côte. Par exemple, la Combe Lavaux, vallée sèche aujourd'hui, est à cette époque le lit d'un torrent impétueux qui entaille profondément le coteau. A son débouché s'accumulent les matériaux de toutes tailles (blocs, galets, sables, argiles) arrachés aux plateaux calcaires. Ces cônes alluviaux riches en galets, graviers et sable constituent un excellent substrat pour la culture de la vigne, par leur caractère meuble et drainant.

Les roches calcaires affleurantes sur les versants orientés à l'Est sont exposées dès le matin aux rayons du soleil. Les variations de température entre le jour et la nuit engendrent un cycle journalier de gel-dégel qui va fracturer intensément les roches, par augmentation du volume lors du passage liquide-solide. La pression exercée par la glace est de plusieurs kilogrammes par centimètre carré. L'eau qui s'infiltré dans de minuscules fissures peut provoquer, par la répétition des cycles de gel et de dégel, une intense fracturation de calcaires

massifs comme le Calcaire de Comblanchien, jusqu'à obtenir des graviers très bien triés, de 1 à 2 cm. Ces graviers vont, au fur et à mesure des éboulis sablo-graveleux au pied des falaises, venir s'accumuler en lits successifs, en empâtant le relief. Ces formations superficielles typiques des versants bourguignons orientés à l'Est sont nommées grèzes litées ; leur mode de mise en place peuvent être analysés aujourd'hui au Spitzberg (Van Vliet, 2005).

Relief de coteau, altitude, pente, exposition, nature du sous-sol : les composantes du paysage sont en place, il y a deux mille ans, lorsque les premières vignes sont cultivées sur la Côte.

Les sols viticoles, reflet du travail des hommes

Le sol est un milieu complexe, à l'interface entre les roches de la croûte terrestre (la lithosphère) les organismes vivants (la biosphère), zone d'échange entre le vivant et le minéral, mais également avec l'air (l'atmosphère) et l'eau (l'hydrosphère). Le sol s'élabore lentement à l'échelle des temps géologiques, mais il est très sensible et fortement influencé par l'activité humaine. Le sol résulte en premier lieu de l'altération physique et chimique de la roche sous-jacente sous l'effet des agents météoriques (pluies, gel ou fortes températures selon les climats). Les sols sur le versant viticole sont de nature très variée, et sont en premier lieu le reflet de la nature du substrat car les sols y sont peu épais, le plus souvent moins d'un mètre. Pour nous, les influences les plus fortes, et ce notamment sur les sols peu épais du vignoble de la Côte, sont dues à l'action de l'Homme. Le vignoble bourguignon est chargé de plus de deux mille ans d'histoire (Garcia et al., 2010). Les sols « naturels » sont largement transformés par les actions humaines. Comme le souligne fréquemment l'un des auteurs (CP) dont la trajectoire scientifique oscille entre Science de la Nature et Sciences Humaines, on pourrait définir ces sols comme des objets « **naculturels** », combinant à la fois un fonctionnement naturel et culturel. Ce dernier est le reflet d'actions humaines liées aux sociétés qui exploitent ces versants ; le CNRS ne devrait pas dissocier sciences de l'environnement (CNRS-INEE) et sciences humaines (CNRS-SHS).

Les sols viticoles ne doivent donc pas être considérés comme une donnée immuable et résultant uniquement de la nature du sous-sol, le rôle de l'homme jouant simultanément sur l'épaisseur et la nature des sols viticoles.

Le paysage de l'appellation Gevrey-Chambertin est caractéristique de la Côte. La vigne constitue une monoculture sur le versant, une étroite bande orientée Nord-Sud, large de seulement quelques centaines de mètres, entre les bois qui couvrent les plateaux calcaires à l'Ouest et la plaine plutôt dédiée aux cultures céréalières à l'Est.

La plus grande partie du vignoble de l'appellation se situe entre 250 et 300 mètres d'altitude et offre une forte variabilité de pente. Les deux tiers de l'appellation environ se situent dans des zones de pente nulle à très faible (de 0 à 2%). Le coteau viticole prend progressivement naissance à l'Ouest, avec une bande de pente modérée (de 2 à 5%). La pente devient ensuite significative (de 5 à 10%), puis forte (de 10 à 20%) surtout dans la partie la plus haute du coteau nord de l'appellation Gevrey-Chambertin. Les pentes supérieures à 20% sont principalement associées aux versants des combes, et ne sont pas cultivées en vigne. La majeure partie de l'appellation Gevrey-Chambertin est exposée plein Est, et ce, quelle que soit la position des lieux-dits le long du versant et sa pente. Le secteur de la Combe Lavaux présente la particularité de présenter sur son versant nord, un coteau orienté plein Est au niveau de Brochon et qui progressivement s'oriente au Sud-Est, puis franchement plein Sud.

Le coteau de l'appellation Gevrey est profondément entaillé par une vallée sèche majeure, la Combe Lavaux, dont le rôle viticole est important tant sur la répartition des sols que sur les conditions climatiques locales. Deux autres « combes » limitent l'appellation au Nord (Combe de Brochon) et au Sud (Combe Grisard). Le versant est généralement de forme concave, avec les crus les plus réputés situés la plupart du temps au point d'inflexion de la pente, au « coeur » du coteau.

De part et d'autre de la Combe Lavaux, deux secteurs se distinguent clairement. Au Sud, le coteau porte les neuf grands crus de l'appellation. La limite altitudinale entre le vignoble et le bois varie fortement entre deux combes. Cette limite est située relativement bas sur le flanc du coteau, beaucoup plus haut sur Morey-Saint-Denis. Ce secteur sera dénommé « coteau des grands crus » ou « coteau sud » par la suite.

Au Nord de la combe Lavaux, entre le vieux village de Gevrey-Chambertin et celui de Brochon, le coteau viticole remonte plus haut sur la pente. Ce secteur sera dénommé « coteau des premiers crus » ou « coteau nord ». Ce coteau nord est ponctué par de nombreux murs et murgers mais également par de nombreuses carrières anciennes, reconverties à la culture de la vigne après l'arrêt de l'exploitation (**Figure 7**). L'abondance de la pierre (murs et carrières) sur ce coteau donne déjà des indications sur la nature très calcaire du sous-sol, avec une roche très présente dans ce secteur nord de l'appellation Gevrey-Chambertin.

La présence importante de vignes, de surcroît en appellation communale à l'est de la route R.D. 974, est l'une des spécificités de l'appellation Gevrey-Chambertin. Ces vignes, plantées sur des pentes faibles à quasiment nulles, doivent leur classement en appellation communale à la nature de leur sol et de leur sous-sol. Les blocs et galets arrachés aux plateaux calcaires se sont épanchés au débouché de la combe Lavaux. La grande incision que constitue la vallée a généré un volume très important de matériaux graveleux constituant le cône alluvial. De tels sédiments se sont déposés au débouché de toutes les combes de la Côte. Seules les vallées les plus importantes ont pu édifier un important cône alluvial, qui s'étend à l'est de la route R.D. 974.

A - Image aérienne d'une partie du versant de Gevrey-Chambertin



B - Données LIDAR mettant en évidence les nombreux murgers et carrières.



Figure 7 – Imagerie aérienne et LIDAR sur l'appellation Gevrey

→ Une carte géologique de l'appellation Gevrey (Figure 8)

Sur ce coteau, une grande diversité de substrats lithologiques affleurent, nécessitant par là-même une cartographie de la zone du vignoble à une échelle précise, au 1/10 000. En effet, la carte géologique levée au 1/50 000 (Rémond, 1972, **Figure 1**) ne permet pas de rendre compte de cette diversité géologique de ce coteau fréquemment recouvert de formations superficielles. Cette cartographie au 1/10 000 a été réalisée à partir d'une campagne de relevé commandé par le syndicat viticole de Gevrey (Vannier-Petit, 2011).

Méthodologie

La carte géologique à 1/10 000 a été réalisée à partir de plusieurs types d'information. La connaissance précise de la série géologique régionale est nécessaire pour identifier les différentes formations jurassiques (lithostratigraphie régionale), connaître leur épaisseur, leur succession stratigraphique, et connaître les variations tant latérales que verticales des faciès sédimentaires (Debrant-Passard, 1984 ; Rat, 1986). Quelques dépôts plus récents, *i.e.* tertiaires, oligocènes ou pliocènes, et discordants sur les précédents dépôts, complètent la série (Petit, 1993). Les formations superficielles quaternaires, sols, colluvions et alluvions, et dépôts anthropiques fournissent des informations géopédologiques indispensables à la réalisation d'une nouvelle carte. Des informations ponctuelles fiables ont été recueillies soit lors de la réalisation de fosses pédologiques, soit par des observations lors de travaux de terrassement (constructions, voiries, etc...). Elles permettent d'observer directement la nature du sous-sol et ont été consignées et géoréférencées. Une prospection pédestre minutieuse, a été réalisée pour recueillir le maximum de données sur le terrain. Les observations sont parfois évidentes : front de taille d'une ancienne carrière, contour de parcelle « rafraîchi » au tractopelle... La plupart du temps, l'information est plus ténue et nécessite un examen plus approfondi du versant viticole : une ravine va mettre au jour la roche-mère, une « tête de roche » va affleurer dans un contour ou dans un rang de vigne, un affleurement de calcaire a servi de soubassement à l'édification d'un mur..., autant de preuves de la nature du substrat qui nécessitent un examen attentif du vignoble pour être recueillies.

Résultats

La carte présentée aujourd'hui permet de proposer une première synthèse de plus de 400 points d'information (affleurement, fosses pédologiques, détermination lithologiques de murger d'épierrement) (**Figure 8**). La constitution d'une base de données informatisée permettra de faire évoluer cette carte géologique, qui reste toujours un document interprétatif. Les observations futures et des investigations géophysiques permettront d'affiner le détail des zones complexes qui restent encore à préciser.

Globalement, la carte géologique montre clairement que le coteau viticole apparaît intensément fracturé. Les compartiments tectoniques dessinent d'étroites lanières parallèles. Le réseau de fracturation dans le secteur de la Combe Lavaux semble complexe et explique la différence entre le coteau sud et nord de Gevrey.

Quatre grands secteurs doivent être décrits séparément afin de montrer toute la complexité tant tectonique que géomorphologique d'une appellation comme Gevrey.

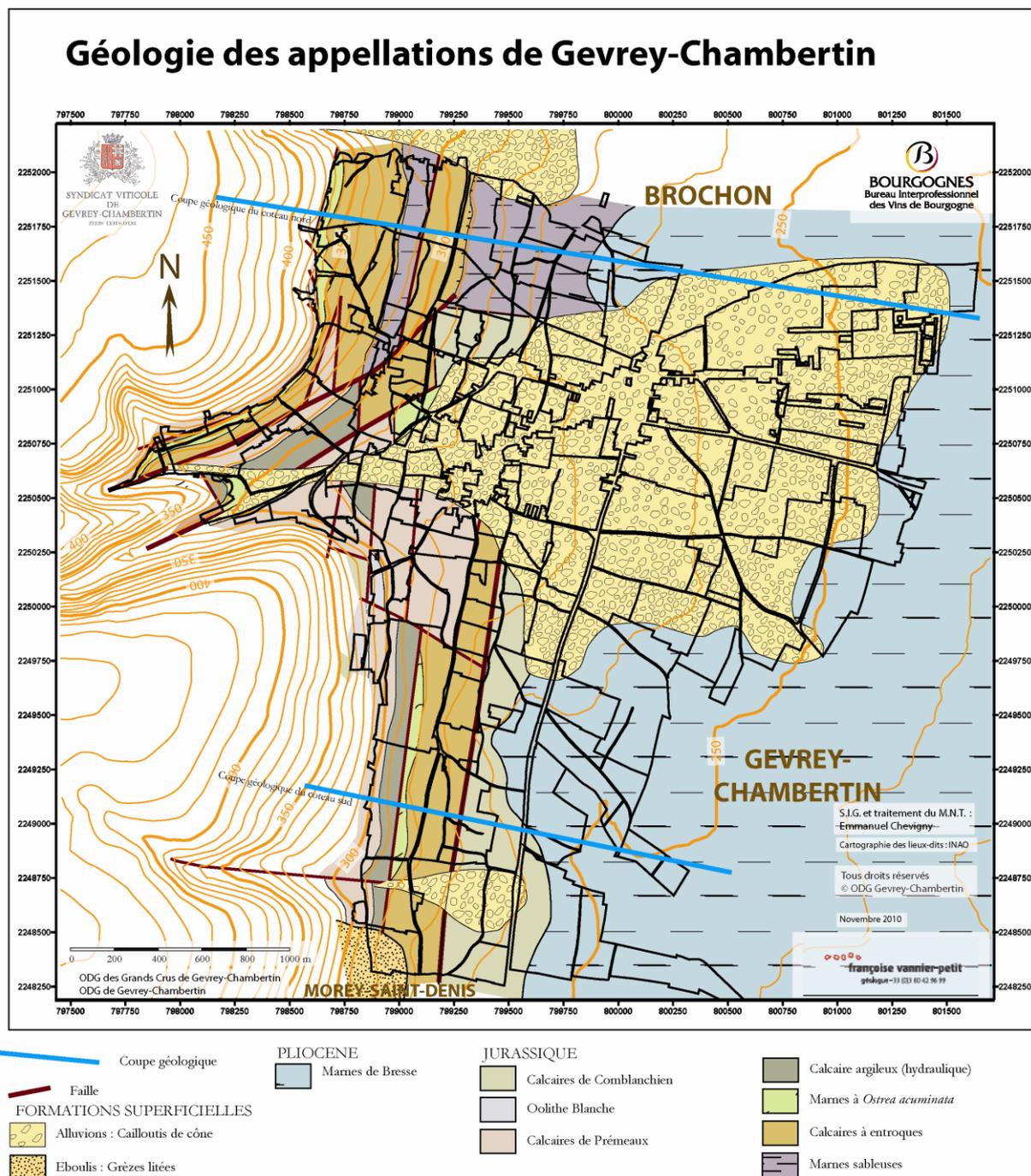


Figure 8 - Carte géologique de l'appellation Gevrey

Le coteau sud, coteau des grands crus (Figure 9)

Au sud de la Combe Lavaux, le coteau des grands crus déroule ses crus prestigieux sur un substrat à dominante très calcaire. Deux grandes failles nord-sud découpent ce versant viticole en trois compartiments :

- Le Calcaire de Prémeaux marque très nettement le haut du vignoble avec des sols très minces, très riches en pierres claires, surmontant le calcaire argileux qui affleure fréquemment au pied des murs.

- Plus bas sur le versant, un second compartiment est dominé par le Calcaire à entroques et les Marnes à *Ostrea acuminata*. Ce compartiment est relativement surélevé par rapport à ceux qui l'encadrent. Les calcaires en entroques n'affleurent que sur une mince bande de part et d'autre de la Route des Grands Crus, ainsi qu'en témoignent quatre carrières abandonnées (La Perrière, Clos de Bèze, Les Charmes, Les Mazoyères). Le compartiment tectonique le plus oriental montre à l'affleurement le Calcaire de Comblanchien qui, très présent en bas du coteau, explique la présence d'abondantes pierres claires dans les sols, et ce jusqu'à la route R.D. 974.

- Enfin, un cône alluvial de taille relativement modeste s'est épandu au débouché de la Combe Grisard. Les Marnes de Bresse sont présentes à l'est de la R.D. 974. Ce schéma général présente deux autres particularités. Au sud de l'appellation, des grèzes litées recouvrent ce substrat jurassique. Enfin, l'extrémité nord du coteau des grands crus (Les Mazis, Les Ruchottes) présente un large affleurement de Calcaire de Prémeaux riche en chailles, constituant le versant de la Combe et qui s'individualise par le jeu complexe de fractures obliques par rapport à la côte.

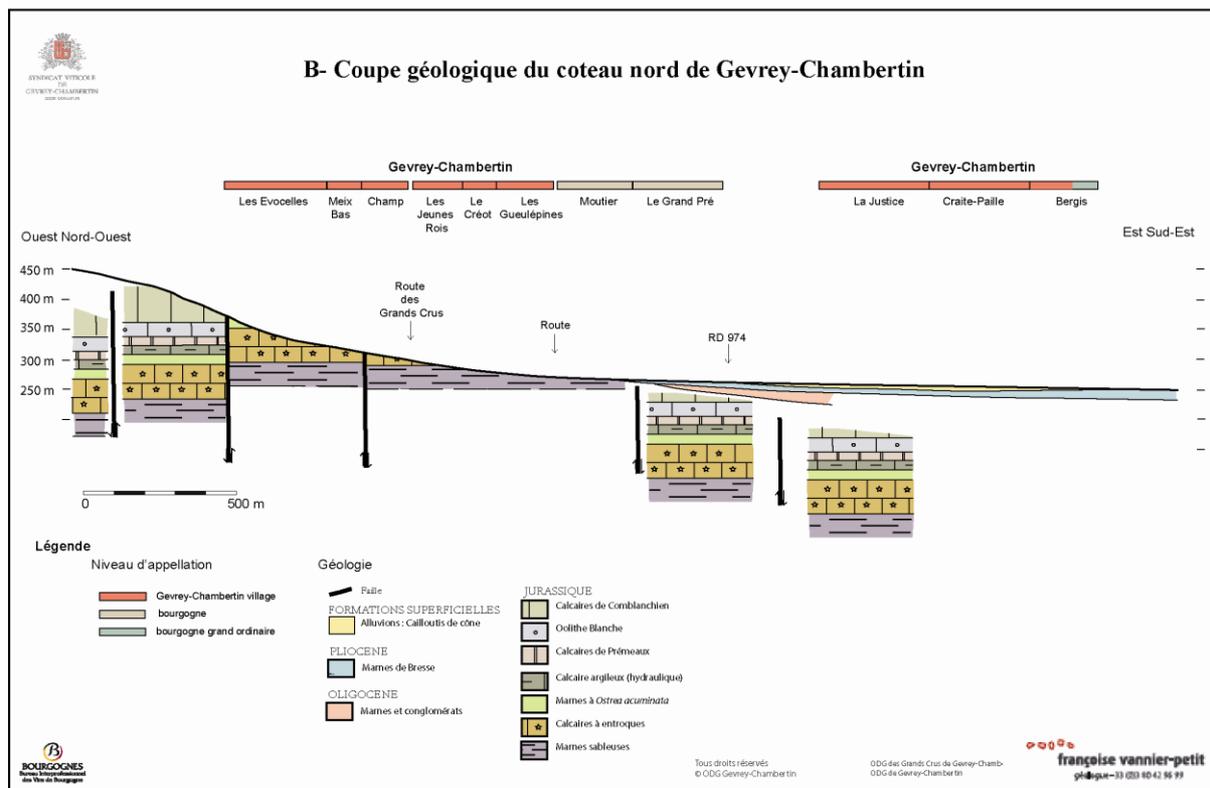
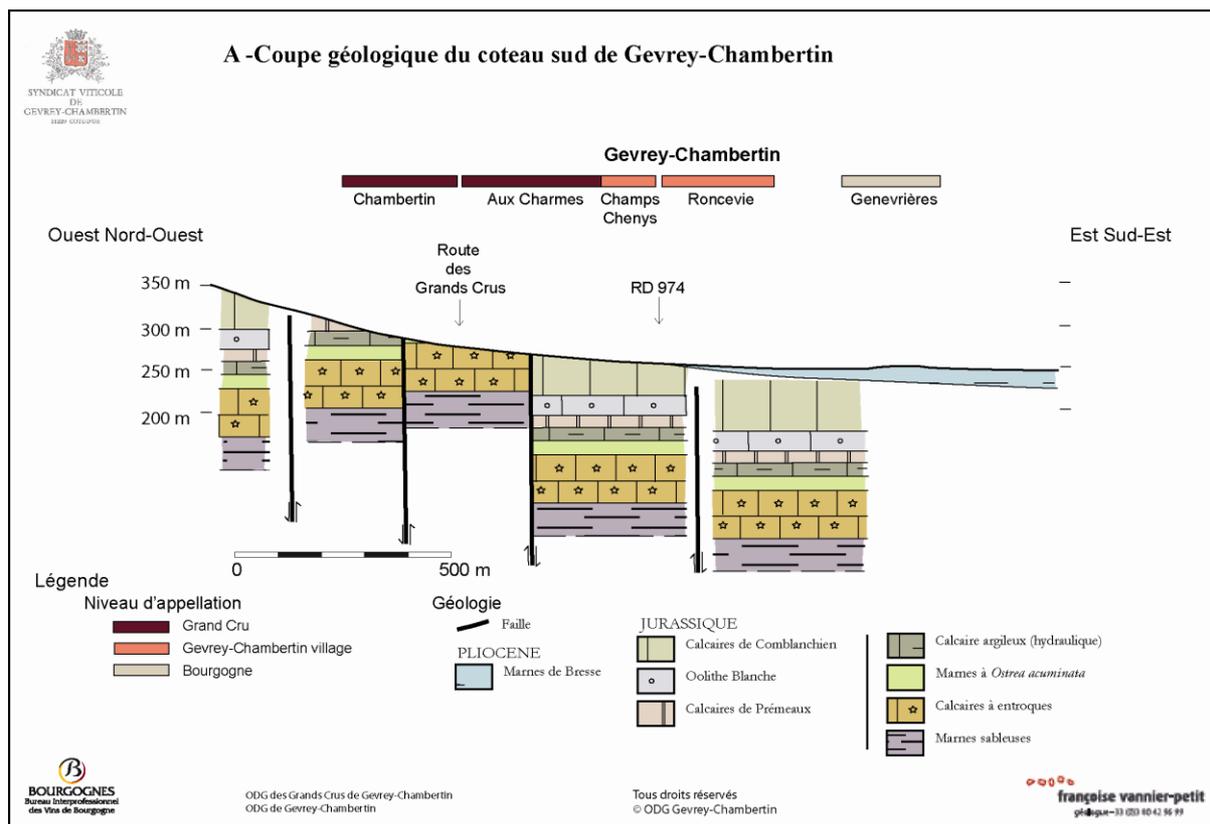


Figure 9 – Coupes géologiques à travers le versant sud et nord de l'appellation Gevrey

Le coteau nord, entre les villages de Brochon et de Gevrey-Chambertin (Figure 9)

Le substrat du versant nord de l'appellation est dominé par le Calcaire à entroques, très présent dans la moitié haute du coteau avec des sols qui peuvent être localement assez minces, et très riches en pierres de couleur ocre. C'est le secteur privilégié des premiers crus. Ce coteau est largement façonné par l'homme qui y a extrait dans de nombreuses carrières la pierre de construction pour les bâtiments du village (Les Goulots, Combe au Moine, etc...). D'imposants murs d'épierrement témoignent eux aussi de la forte présence de la pierre qui gênait le travail du sol.

Les Marnes à *Ostrea acuminata* affleurent sur une mince bande tout en haut du versant viticole. Elles sont en contact par faille avec des Calcaires de Premeaux ou des Calcaires de Comblanchien parfois bien visibles dans les bois. Une faille est clairement visible dans un angle de contour à la Combe aux Moines entre des Marnes à *Ostrea acuminata* et des Calcaires de Prémeaux.

Plus au sud, de nombreux cristaux de calcite, des miroirs de faille, des blocs de brèches de faille témoignent depuis le lieu-dit Poissenot jusqu'aux Evocelles d'un contact anormal avec les calcaires situés immédiatement au-dessus du vignoble. Ce système de faille courbe « tourne » au fur et à mesure vers le débouché de la Combe Lavaux. Ceci pourrait s'expliquer par un jeu en décrochement dans ce secteur.

En contrebas de la Route des Grands Crus, un secteur dominé par les marnes sableuses du Jurassique inférieur affleure largement. Cette bande de marnes liasiques est caractéristique du secteur de la Côte de Nuits qui s'étend du sud du village de Couchey au nord du village de Gevrey-Chambertin. Les sols sont très argileux, dépourvus de pierres. Ces marnes sont parfois recouvertes de chailles altérées et de nodules de fer de la taille de graviers et galets qui témoignent de la présence résiduelle de placage tertiaires ou quaternaire.

Plus à l'est, le sous-sol de la plaine céréalière est constitué par les Marnes de Bresse.

Les versants de la Combe Lavaux

Entaille large et profonde dans le coteau, armée par ses blanches falaises de Calcaire de Comblanchien, la Combe Lavaux est une zone géologiquement très complexe. De nombreuses failles isolent des compartiments variés. Les Calcaires de Premeaux à mi-coteau et le Calcaire à entroques en haut de coteau sont observables sur le versant nord, avec des sols pierreux peu épais. Le fond de vallée est caractérisé par des limons et des dépôts plus grossiers qui constitue l'apex du cône alluvial.

L'examen de la carte géologique (**Figure 8**) montre qu'il n'est pas possible d'envisager une continuité géologique entre le nord et le sud de la combe Lavaux. Il devient nécessaire d'impliquer des fractures obliques, qui « décalent » les formations de part et d'autre de la Combe Lavaux. Ces accidents N45, sont identiques au développement de la combe Lavaux, laquelle est probablement située sur une zone de fractures de direction hercyniennes. Cependant, le réseau de fracturation et son jeu tectonique n'est pas encore clairement compris (rejeu de failles hercyniennes, failles secondaires lié à des décrochements ?)

Le cône alluvial au débouché de la Combe Lavaux

Le creusement de la Combe Lavaux a engendré en contrebas le dépôt d'un grand volume d'alluvions qui se sont largement étalés sur une vaste superficie, allant même bien au-delà de la route R.D. 974, cas unique sur la Côte bourguignonne. Les cônes alluviaux se situent donc dans des zones de pente très faible (moins de 2%), en bas du coteau viticole, à des altitudes de 250 à 280 mètres. C'est donc cette nature du sous-sol qui explique l'extension du vignoble de Gevrey-Chambertin à l'est de la route qui relie Dijon à Beaune. Le cône alluvial dont le sommet date probablement du Weichsélien s'est constitué en épisodes de dépôts successifs, formant à chaque fois un lobe sédimentaire plus ou moins individualisés spatialement. Ces alluvions, mélange de galets, de limons et d'argiles, forment un matériau drainant qui fournit un excellent substrat pour la culture de la vigne. Il est intéressant de noter que la villa gallo-romaine de Gevrey exploite déjà ce terroir graveleux et peu pentu (Garcia et al., 2010).

Les parties latérales et distales du cône sont peu épaisses, et notamment à l'est de l'appellation, la présence des Marnes de Bresse sous le cône est à prendre en compte pour les sols viticoles.

→Discussion

De la carte à l'histoire géologique

Cette carte géologique précise la nature du sous-sol de chaque lieu-dit de l'appellation Gevrey-Chambertin. Elle permet de s'interroger sur les modalités de la fracturation tectonique tertiaire de la Côte, bordure occidentale du rift bressan (compartiments en lanières longues et étroites). Mais aussi, elle met en évidence le rôle des accidents transverses situés à l'emplacement de certaines combes, *e.g.* comme celle de la Combe Lavaux, sur la structuration des versants.

On peut donc maintenant affirmer que ce relief de Côte est issu de l'érosion d'une zone de fracturation complexe et ne résulte pas du seul fonctionnement d'une unique faille bordière à jeu normal, laquelle, si elle existe, doit être située plus à l'est.

La diversité de ce paysage viticole est donc le résultat de l'érosion de compartiments tectoniques découpés en lanières, impliquant des décalages latéraux et verticaux des formations géologiques. Nos observations ne mettent pas en évidence de plissement. L'existence de « l'anticlinal de Gevrey », que certains présentent encore comme une subtile ondulation des couches géologiques du sud au nord, et ce à l'échelle de la Côte entière, jusqu'à Volnay, est donc très discutable. D'après nos travaux, cet « anticlinal » ne permet pas d'expliquer l'agencement des couches de part et d'autre de la Combe Lavaux, et ne peut être retenu comme une hypothèse valide. Il faut noter que Pierre Rat (Rat, 1986 repris à l'identique par Fanet, 2001) a eu l'intelligence de mentionner un « anticlinal » entre guillemets. Le terme a été repris par la suite par des personnes, géologues (Bizot, *et al.* 2011 pour les derniers) ou grands amateurs de vin, français (B. France, 2020, p. 182) ou étrangers (Wilson, 1998, p. 132 ; Morris, 2010, p. 41) en omettant les guillemets qui donnaient toute la subtilité à l'utilisation de ce terme et ne maîtrisant pas, la plupart du temps, les notions de

géologie. Jusqu'à maintenant, seul Remington Norman, dans son ouvrage consacré aux grands crus bourguignons (Norman, 2010) a écrit une partie géologie et pédologie en tenant compte de nos travaux. Le découpage du coteau viticole en compartiments étroits, véritables lanières, est assez intense, avec des largeurs parfois assez réduites (quelques centaines de mètres).

L'observation du substrat de la Côte depuis l'autoroute A6, ne permet pas de rendre compte de la complexité de ce versant largement découpé par des failles multiples. Ce panorama met sur un même plan de vue, des compartiments géologiques différents. Ce livret guide est l'occasion de publier cette mise au point sur la géologie de la Côte qui pourra servir à une meilleure définition des terroirs viticoles.

Géologie et terroir

Est-il donc possible à l'issue de cette étude de pouvoir répondre à la question «La spécificité de ses vins de Gevrey est-elle liée à son sous-sol? » Il serait fort présomptueux de prétendre pouvoir répondre à cette question. Si un type de substrat permettait d'obtenir soit un certain niveau de qualité, soit des caractéristiques très précises (par exemple un arôme de cerise), des correspondances nettes auraient été établies depuis fort longtemps. Néanmoins la bonne connaissance du substrat permet de se poser d'autres questions, d'intégrer d'autres facteurs que la géologie dans la compréhension des terroirs viticoles.

La connaissance précise des paramètres du paysage viticole aide à caractériser des spécificités ou des similitudes entre deux lieux-dits, à impliquer d'éventuelles conséquences micro-climatiques... Les caractéristiques physiographiques fournissent des indications précises pour chaque climat et pour les grands secteurs de l'appellation. La grande différence de paysage entre le nord et le sud de l'appellation est clairement montrée. La carte obtenue est donc amenée à évoluer par intégrations de données complémentaires sur les secteurs les plus complexes. L'approche pédologique peut dès lors être appréhendée sur une base géologique très précise.

Dynamique des versants viticoles de Vosne-Romanée

Bien que soumise à un climat continental, la Côte viticole bourguignonne est affectée chaque année par de très violents orages d'été à l'origine de l'érosion des parcelles viticoles. Cette érosion, *e.g.* de l'ordre de 30 tonnes/ha/an pour la Côte, conduit à une disparition progressive des sols viticoles. Cette dégradation irréversible est reconnue comme étant un problème majeur pour l'agriculture durable des sols puisqu'elle détermine le potentiel pérenne des parcelles viticoles. Mais, cette forte érosion modifiant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, peut entraîner des répercussions environnementales, comme la contamination des nappes par les engrais et les produits phytosanitaires, et peut avoir des conséquences sur le rendement des cultures et sur la qualité de la production viticole du fait de la perte de fertilité. Il est donc nécessaire de quantifier et prédire la dégradation des sols pour une meilleure gestion durable et raisonnée des sols (Goudie, 2005; Morgan, 2005) à différentes échelles temporelles.

Aux échelles de temps courtes, annuelles à pluri-annuelles, la dégradation des sols résulte des effets combinés de l'érosion naturelle par ruissellement en réponse aux événements hydro-climatiques intenses et des pratiques culturales (labour, remontées de terre, travail du sol...) (Brenot et al., 2008; Quiquerez et al., 2008). Sur de plus longues échelles de temps, pluri-décennales à pluri-centennales, les sols subissent aussi des remaniements liés à la modification du paysage par l'homme : défrichement, remembrement, création de murs, de fossés, de haies, et les remontées de terre (**Figure 10**).

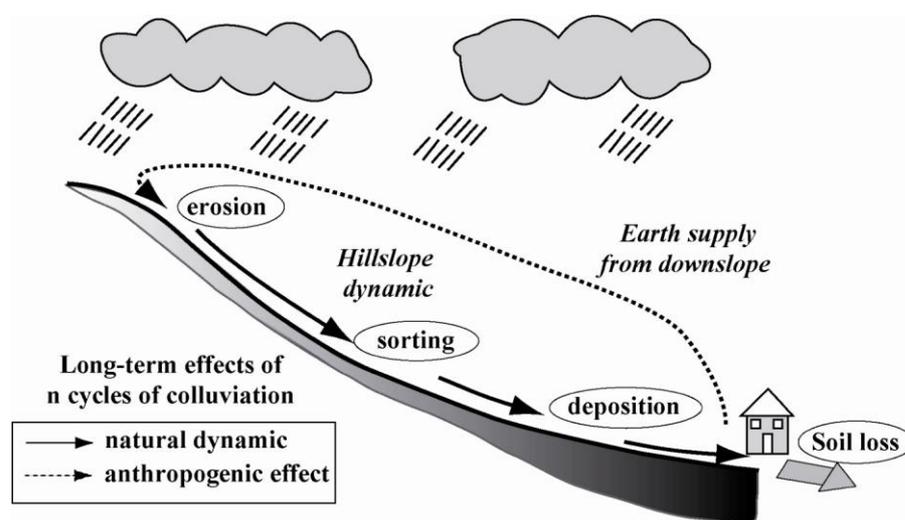


Figure 10 - Cycle de la matière sur les versants viticoles, Les processus naturels, *i.e.* l'incision de rigoles, les mouvements de masse, contribuent à l'ablation physique des versants, par l'incision et l'exportation des sédiments. Les effets de l'érosion naturelle sont partiellement compensés par un apport de matières anthropiques stockées en bas de versant, ceci afin de maintenir les sols sur les versants viticoles. D'après Quiquerez et al. (2008).

L'objectif de cet arrêt est d'illustrer cette dynamique des versants analysée à différentes échelles temporelles : échelle événementielle, pluri-décennale et historique.

→ **Présentation du site (Figure 11)**

Le versant étudié est localisé dans la partie orientale de la Commune de Vosne-Romanée, et couvre une surface de 25 hectares. Il est divisé en 9 climats, dont 4 en grands crus (La Romanée, La Romanée-Conti, Les Richebourgs et Les Verroilles), 3 en premiers crus (Les Reignots, Les Petits Monts, et le Cros Parantoux), et 2 en appellations communales (Les Barreaux et les Champs Perdrix). Une ancienne carrière est localisée autour du Cros Parantoux. De nombreux murs ont été érigés sur le versant. Les limites du versant étudié correspondent à des chemins (**Figure 11**).

Ce versant est marqué par la présence de grandes parcelles dans la partie aval, tandis que le haut de versant est occupé par des parcelles de plus petites dimensions. Cette différence correspond à la répartition des appellations, où les plus grandes parcelles sont situées en AOC grand cru, les parcelles de dimensions moyennes en AOC communale, et les plus petites parcelles en AOC premier cru. Les pratiques culturales à Vosne-Romanée sont dominées par le buttage/débuttage en plaine et l'enherbement, tandis que les versants présentent des parcelles qui sont soit griffées et désherbées, soit enherbées, soit désherbées chimiquement.

Les premiers vignobles identifiés à Vosne-Romanée apparaissent dès le 13^{ème} siècle, mais on signale déjà de la vigne sur la commune au 7^{ème} siècle (Morelot, 1831). En 1232, les moines du monastère de St-Vivant - fondé en 890 à Vergy dans les Hautes Côtes - acquièrent une parcelle de Vosne, la « Romanée Saint-Vivant ». Plusieurs documents attestent de l'extension du vignoble à Vosne-Romanée après cette date (Bazin, 1994). Jusqu'en 1789, le vignoble et le parcellaire de Vosne-Romanée se structure essentiellement par les échanges, ventes et donations de terres entre l'aristocratie et les religieux.

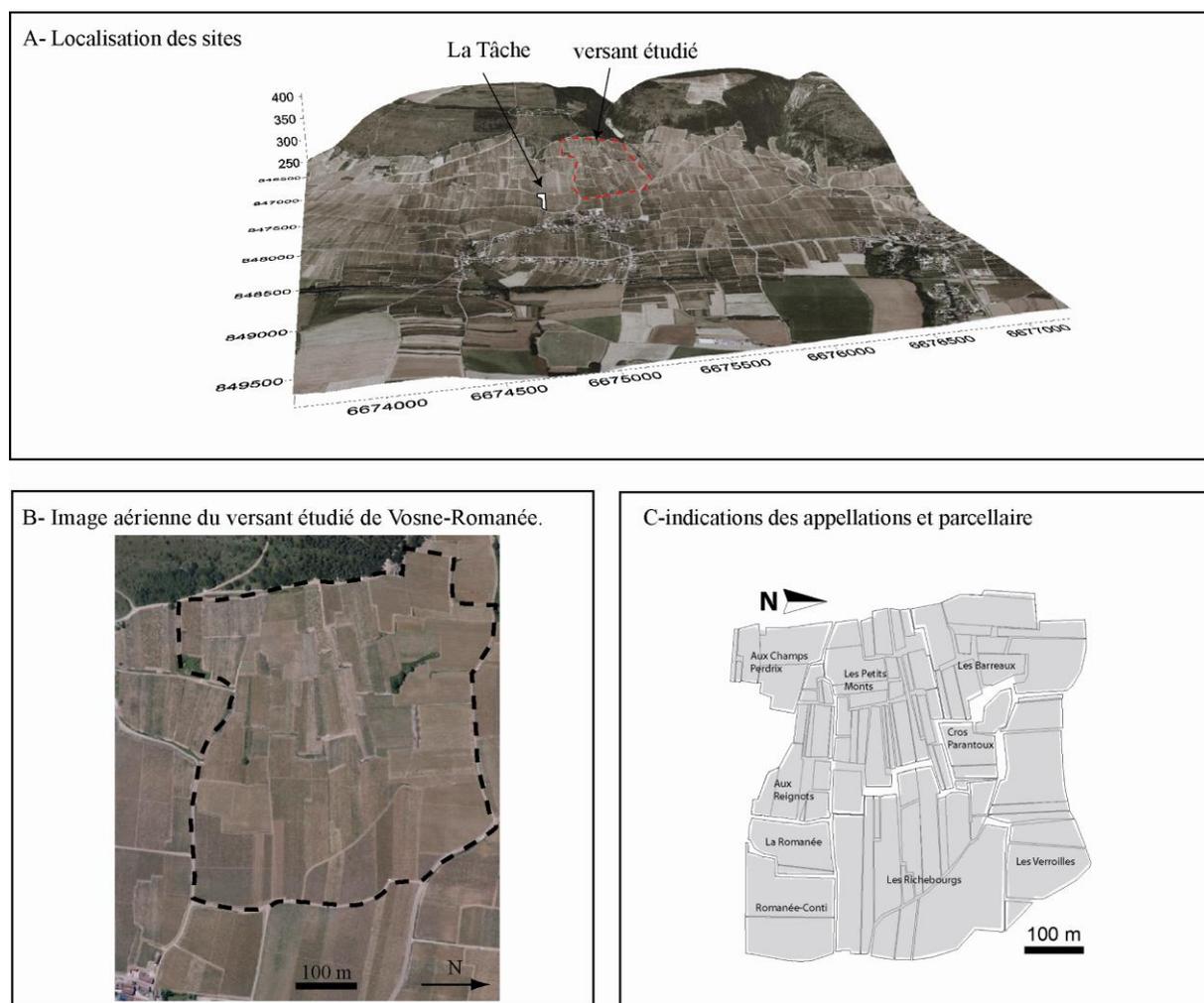


Figure 11 – Localisation des versants de Vosne-Romanée

→ **Le contexte géologique (Figure 12)**

Les hauts de versants sont constitués de sols caillouteux à matrice limono-argileuse sur le toit du Comblanchien. Ces sols sont pauvres, peu épais et généralement occupés par des friches ou des pelouses. A mi-coteau, les grèzes litées recouvrent les pentes sur des épaisseurs pouvant atteindre plusieurs mètres. Ces grèzes, témoins de l'action des cycles de gel/dégel durant le Pléistocène, sont essentiellement composées de clastes de Calcaires de Comblanchien. Elles se développent jusqu'à mi-coteau, et leur répartition sur le versant se superpose aux Calcaires de Comblanchien et masquent l'Oolithe Blanche. En pied de versant, les sols sont plus argileux (calcosols), et alimentés par le remaniement des grèzes en amont par le ruissellement, mais également par l'altération des calcaires oolithiques et des calcaires à chailles sous-jacents. Les sols de plaine sont très argileux (calcisols), et contiennent des lithoclastes calcaires issus des formations de versant. Ils recouvrent les formations des Marnes à *Ostrea acuminata* et des calcaires oligocènes.

Afin de préciser la diversité géologique des substrats, une coupe tomographique a été réalisée le long du versant sur le lieu dit « la ravine des Boudots ». Du fait de l'érosion, cette ravine permet une identification directe des différents substrats et ce, malgré la présence d'un épais manteau de colluvions. Ces observations fournissent des points de calage à l'interprétation du profil géophysique.

Ce profil met en évidence, comme cela est le cas pour le versant de Gevrey, un compartimentage en lanières, démontrant par là même une continuité du fonctionnement complexe de la tectonique.

Le sous-sol des versants de Vosne-Romanée

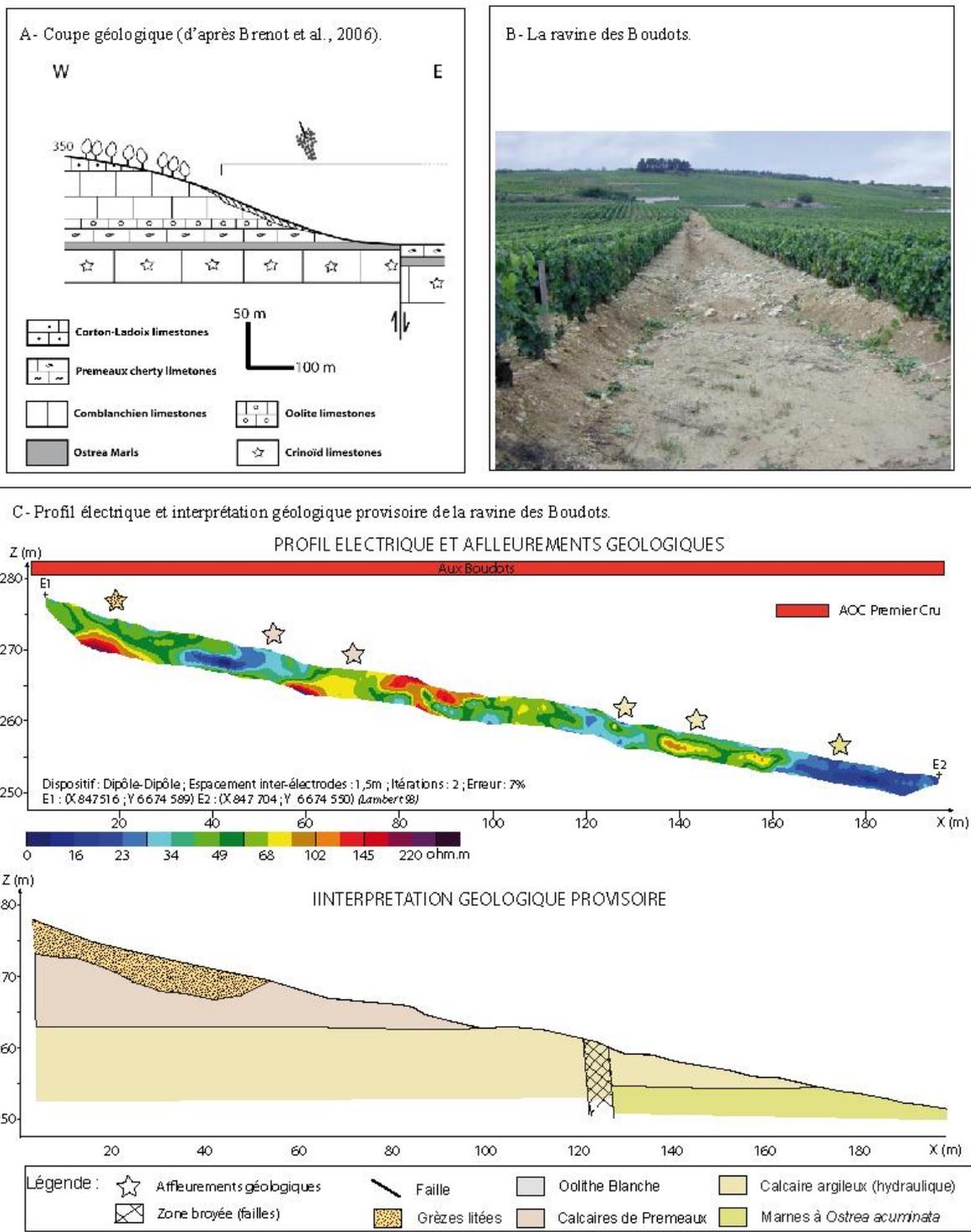


Figure 12 - Contexte géologique du site. **A** : Coupe géologique le long du versant de Vosne-Romanée ; **B** : Ravine des Boudots ; **C** : Profil électrique réalisé le long de la ravine des Boudots et son interprétation géologique.

→ Un bilan sédimentaire à l'échelle événementielle : Cartographie des ravines à Vosne-Romanée « Champs-Perdrix »

Rôle des événements hydriques et des pratiques culturales (Figure 13)

Le suivi d'un orage (21 juin 2004, 40 mm pendant 2 heures) a permis de caractériser l'impact d'un événement extrême sur le transfert sédimentaire associé au déclenchement du ruissellement sur une parcelle, située sur les hauts-coteaux de Vosne-Romanée, aux « Champs Perdrix » (Quiquerez *et al.*, 2008). Dans cette parcelle, les pentes sont comprises entre 10 et 12°. Le sol, constitué de grèzes litées, est griffé et désherbé. Les contours en aval de la parcelle correspondent à des plates-formes de retournement, qui s'appuient en aval sur des murgers.

Le ruissellement est à l'origine de la formation de rigoles dans les interrangs, et du développement de cônes sédimentaires sur le bas la parcelle. La cartographie des phénomènes d'érosion et de sédimentation montre que, dans la partie centrale, les rigoles sont apparues à intervalles réguliers à un rythme régulier de deux rangs tous les cinq rangs, tandis que des cônes ont été préservés sur les plates-formes de retournement en aval (en grisé sur la photographie).

A partir des bilans sédimentaires réalisés sur les ravines et les cônes, il a été possible de montrer que les volumes déplacés par érosion concentrée linéaire (ravines) sont deux fois supérieurs à ceux induits par le ruissellement diffus. Au cours de cet événement hydrique, de récurrence annuelle, nous avons mesuré une perte nette de matière de l'ordre 24 à 48 t/ha, engendrant une ablation moyenne de l'ordre de 1 à 2 mm à l'échelle de la parcelle pour ce seul événement. Par l'analyse de la granulométrie, nous avons montré que les particules fines ont été définitivement exportées tandis que les fractions grossières ont été préservées dans les cônes sédimentaires. Par la simulation numérique de l'évolution temporelle de la granulométrie en réponse à plusieurs événements pluvieux successifs, nous avons montré que les premiers centimètres du sol avaient perdu près de 30 % de leur fraction fine. Cette perte sélective de matière démontre ainsi que le cycle de la matière est biaisé puisqu'une partie des sédiments est exportée de façon définitive hors du système. A moyen terme, cette exportation systématique des fines au cours d'événements hydriques peut avoir des effets considérables sur la conservation des sols, puisqu'une partie des sols disparaît, mais aussi sur la qualité des sols puisque leur fertilité est affectée par la perte en éléments nutritifs associés à la fraction fine, et une diminution de la réserve utile en ce qui concerne le régime hydrique.

Par ailleurs, la répétition d'un même motif érosion/dépôt dans la partie centrale illustre l'impact du passage des engins agricoles sur le tassement des sols, et sur la diminution de la porosité et de la perméabilité des niveaux de surface des sols. Les formes extrêmes du ruissellement observées montrent que les rigoles concentrent les flux hydriques et sédimentaires, et les distances de transfert sont très grandes dans ce cas-ci.

Suivi d'un orage le 11 juin 2004 (40 mm en 2h)

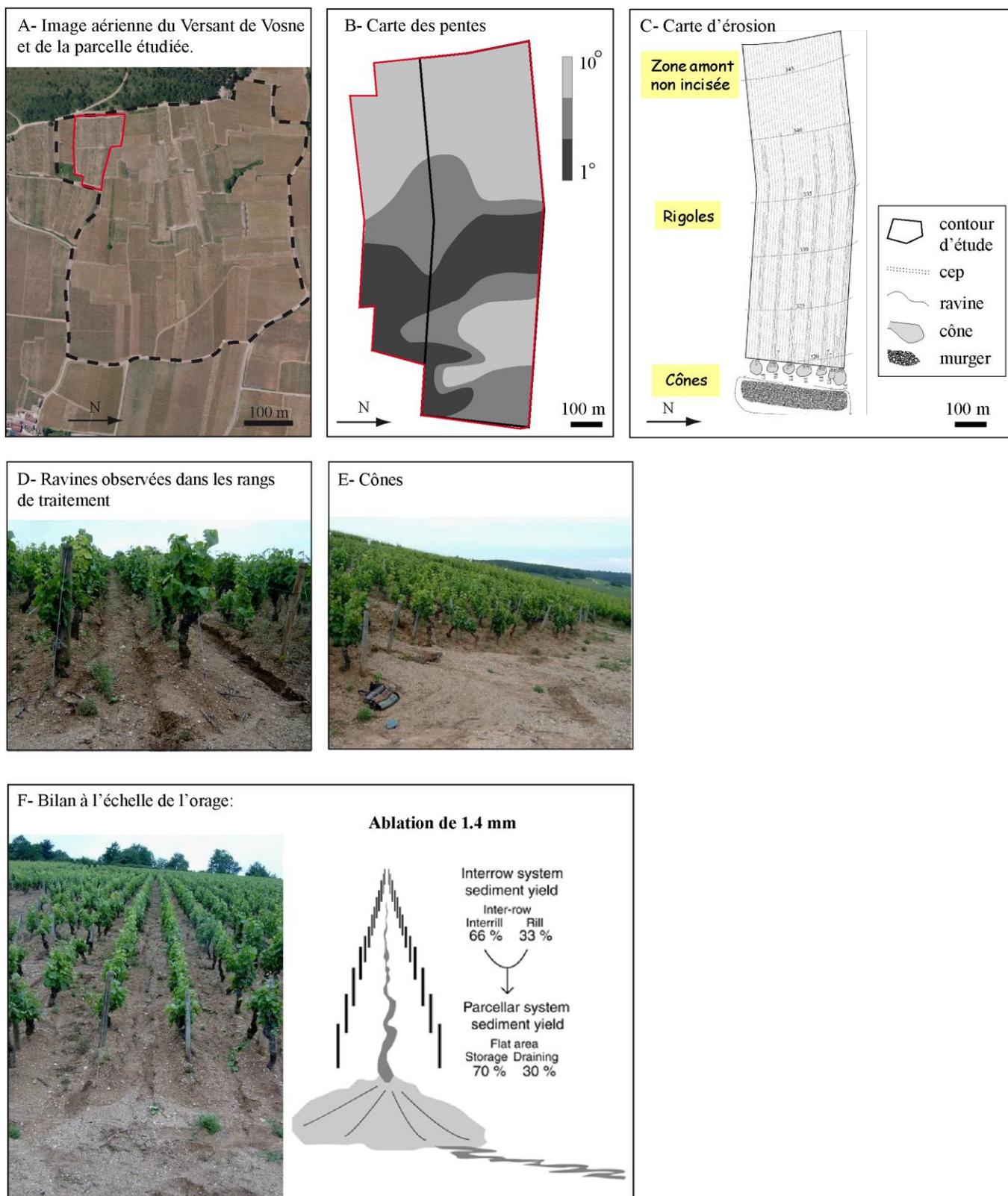


Figure 13 - Suivi d'un orage au lieu-dit Vosne-Romanée « Champs Perdrix » (11 juin 2004), d'après Quiquerez et al. (2008)

→ Un bilan à l'échelle pluri-décennale : le déchaussement des ceps aux Champs-Perdrix (Figure 14)

A l'échelle de la parcelle, pour une échelle de temps pluri-décennale, la quantification de l'érosion s'effectue en utilisant la méthode du SUM (Stock Unearthing Method, déchaussement des ceps de vigne) (Brenot et al., 2008). L'érosion est estimée à partir de la mesure directe de la hauteur du porte-greffe qui dépasse du niveau actuel du sol, et ceci à une résolution spatiale du mètre-carré. La base de données actuelle comporte environ 138000 mesures de ceps réparties sur les communes de Vosne-Romanée en Côte-de-Nuits, et celles d'Aloxe-Corton et Monthélie en Côte de Beaune. Les mesures effectuées sur ces versants montrent une grande variabilité spatiale de l'érosion dans ses formes (typologie, morphologie, distribution spatiale) et dans ses vitesses le long des versants, se traduisant par une variabilité à la fois interparcellaire et intra-parcellaire.

Sur le versant de Vosne-Romanée, quatorze parcelles ont été étudiées. Les parcelles couvrent la moitié supérieure du versant depuis des pentes de 7° jusqu'à 12° en haut de versant et leur longueur varient de 20 à 160 mètres. Les vitesses d'érosion estimées varient de 0.13 à 0.77 mm/an. Ces vitesses correspondent à des vitesses d'érosion des sols de 1,73 à 10,44 t/ha/an. Les vitesses ne dépassent jamais 1 mm/an, contrairement aux versants de la Butte de Corton et de Monthélie.

Les relations entre vitesses d'érosion et paramètres morphologiques des parcelles sont présentées sur la Figure 14. Le diagramme érosion/pente ne met pas en évidence de relation de dépendance entre ces deux paramètres. En revanche, le diagramme érosion/longueur montre que les vitesses d'érosion augmentent avec la longueur des parcelles, depuis 0.1 mm/an pour des longueurs de 30 mètres, jusqu'à 0.7 mm/an pour des longueurs de 120 mètres. Les valeurs d'érosion aux échelles de temps décennales sont faibles comparativement aux valeurs événementielles. Une pratique intense de remontée de terre semble être à l'origine de ces différences. Les effets du ravinement à l'échelle événementielle sont compensés par l'action anthropique (labour et remontée de terre).

La figure 14 illustre la carte de déchaussement réalisée sur la parcelle du lieu-dit « Champs-Perdrix ». La mesure spatialisée de l'érosion montre qu'il existe une très forte variabilité de l'érosion dans cette parcelle, d'amont en aval mais aussi latéralement. Néanmoins, la bonne corrélation de cette carte de déchaussement avec la carte d'érosion événementielle suggère que la répartition spatiale de l'érosion est dominée par le transport événementiel. Il devient donc possible d'interpréter ces cartes de déchaussement comme la somme des effets de mécanismes de l'érosion agissant à des échelles spatio-temporelles différentes.

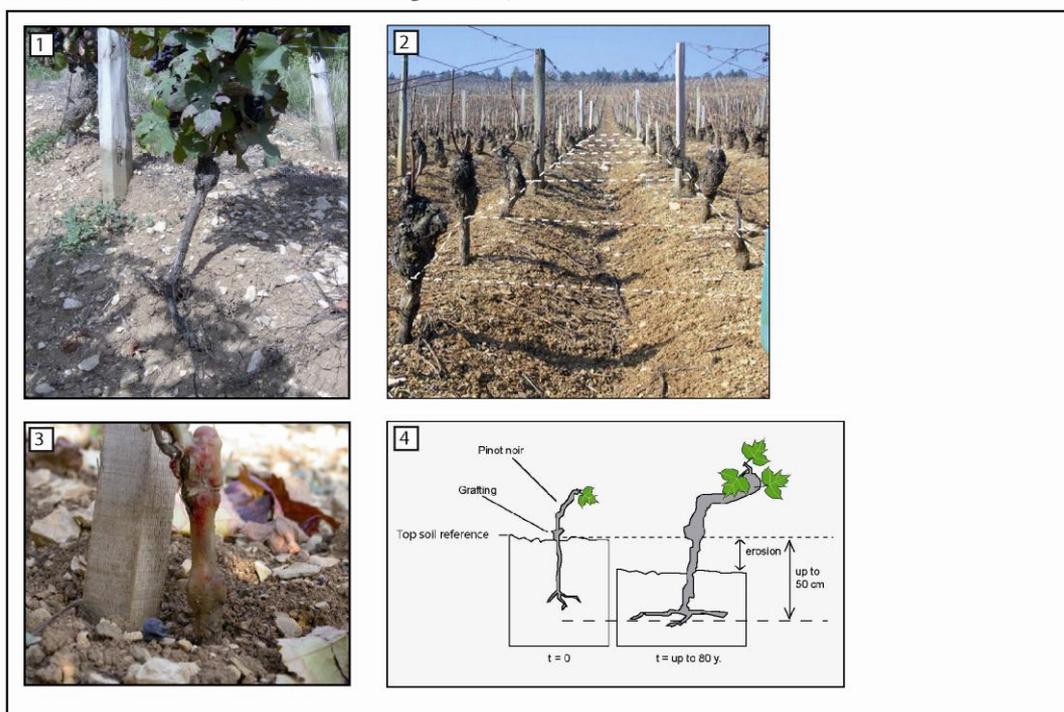
Plus précisément, à mi-versant, nous suggérons que certaines structures linéaires identiques à celles observées à l'échelle événementielle, illustrent une persistance spatiale et temporelle du déclenchement de l'érosion par le ruissellement concentré associé aux événements hydriques intenses, et ce malgré l'action du labour tendant à lisser la surface. En haut de versant, la bonne corrélation entre le faible déchaussement des ceps et l'absence de structures linéaires d'érosion à l'échelle événementielle et décennale suggère la dominance des effets splash et du ruissellement diffus. Inversement, les différences entre les deux cartes

suggèrent que les rigoles temporaires déclenchées par certains événements hydriques à mi-pente ont été effacées soit par des processus de diffusion, et/ ou par l'action répétée des labours à des échelles pluri-annuelles.

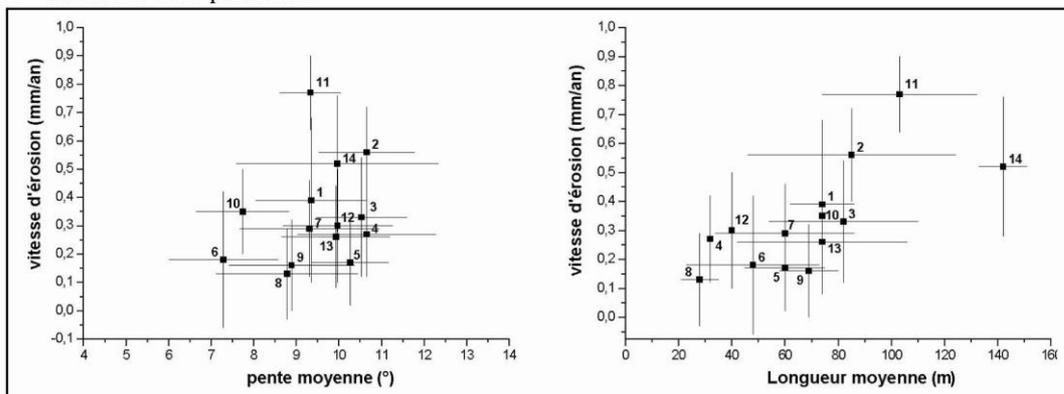
Ainsi, ces cartes de déchaussement montrent un partitionnement spatial et temporel des mécanismes d'érosion sur la parcelle. Le domaine à mi-pente est dominé par les processus liés au ruissellement concentré au cours d'événements hydroclimatiques. Inversement, le haut de parcelle est dominé par des processus efficaces à des échelles de temps pluri-décennales, comme l'effet splash ou le labour.

Bilan sédimentaire à l'échelle pluridécennale

A - Méthode du SUM (Stock Uncarthing Method)



B - Variabilité inter-parcellaire



C - Variabilité intra-parcellaire

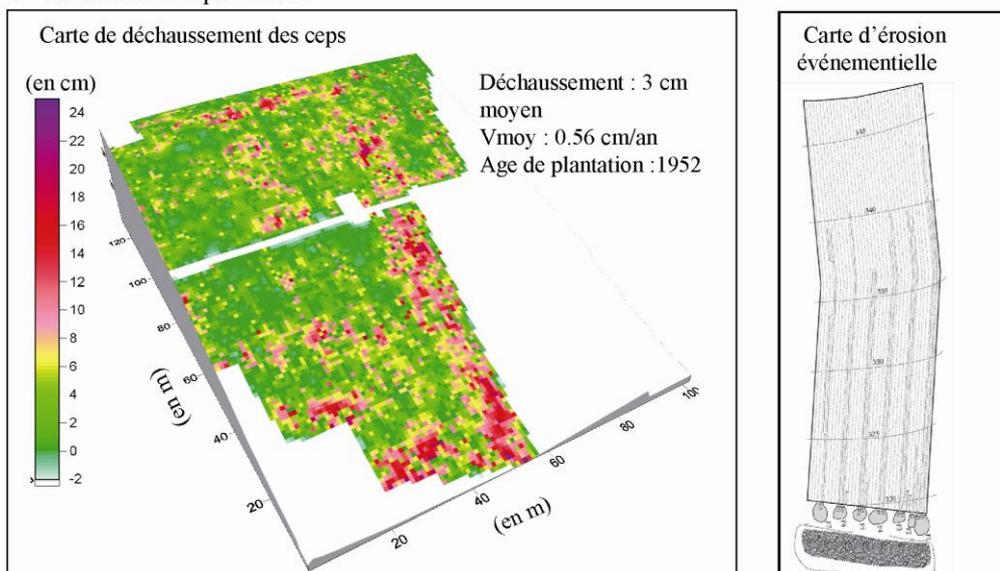


Figure 14 – **A** : le SUM (1) cep déchaussé ; (2) Reconstitution de la topographie ; (3) Plantation des ceps à 1 cm au dessus du sol ; (4) Principe de la méthode du SUM, d'après Brenot et al. (2008) ; **B** : Variabilité inter-parcellaire des mesures d'érosion ; **C** : Variabilité intra-parcellaire de l'érosion

→ **Un bilan à l'échelle historique : Le colluvionnement historique de « La Tâche » (Figure 15 et 16)**

La dynamique sédimentaire des versants de Vosne-Romanée est illustré par l'analyse d'une série de sondages réalisés dans la parcelle de grand cru « La Tache » (Brenot, 2007 ; Garcia *et al.* 2008). Cette parcelle (4°57'4''E ; 47°9'33''N) orientée selon une direction Est-Ouest, s'étend sur 200 m de longueur, et environ 20 m de large, pour une dénivelée de 10 m. Trois fosses ont été ouvertes à la pelle mécanique, durant l'été 2004, par le domaine de la Romanée-Conti, propriétaire de la parcelle. Ces fosses correspondent à des tranchées, notées T1 à T3, depuis l'aval vers l'amont de la parcelle. Le profil T1 est distant d'une quinzaine de mètres du mur en aval, 90 mètres séparent T2 de T1, et 70 mètres T3 de T2. La profondeur de ces profils est fonction de la profondeur d'affleurement du substrat géologique, soit 1.5 mètre pour le profil T1, et de 50 cm pour les profils T2 et T3. Les tranchées sont en forme de « L ». L'étude des profils de sols à l'intérieur de ces trois tranchées permet d'observer l'évolution du substrat de cette parcelle le long d'un profil aval-amont.

Plusieurs échantillons organiques ont été prélevés afin d'effectuer des datations. Il s'agit de micro et macro-charbons, relativement abondants sur la coupe, ainsi que d'une dent de rongeur et d'un os de bovidé. Tous les échantillons se répartissent de part et d'autres du niveau caillouteux, à quelques centimètres de ses limites inférieures et supérieures. Les dates fournies sont comprises dans une fourchette de temps de 5 siècles environ. Les échantillons situés sous le niveau de pierres sont datés du 11 au 12^{ème} siècle, et des 8-9^{ème} siècles, tandis que les échantillons supérieurs sont datés entre le 6^{ème} et le 10^{ème} siècle A.D. Ces dates montrent que ce niveau d'empierrement a été mis en place entre 760 et 1190 A.D. La tranchée T1 montre une phase de sédimentation récente qui a permis l'enfouissement et la conservation de paléosols historiques et anté-historiques.

Le sol vu en 3 tranchées

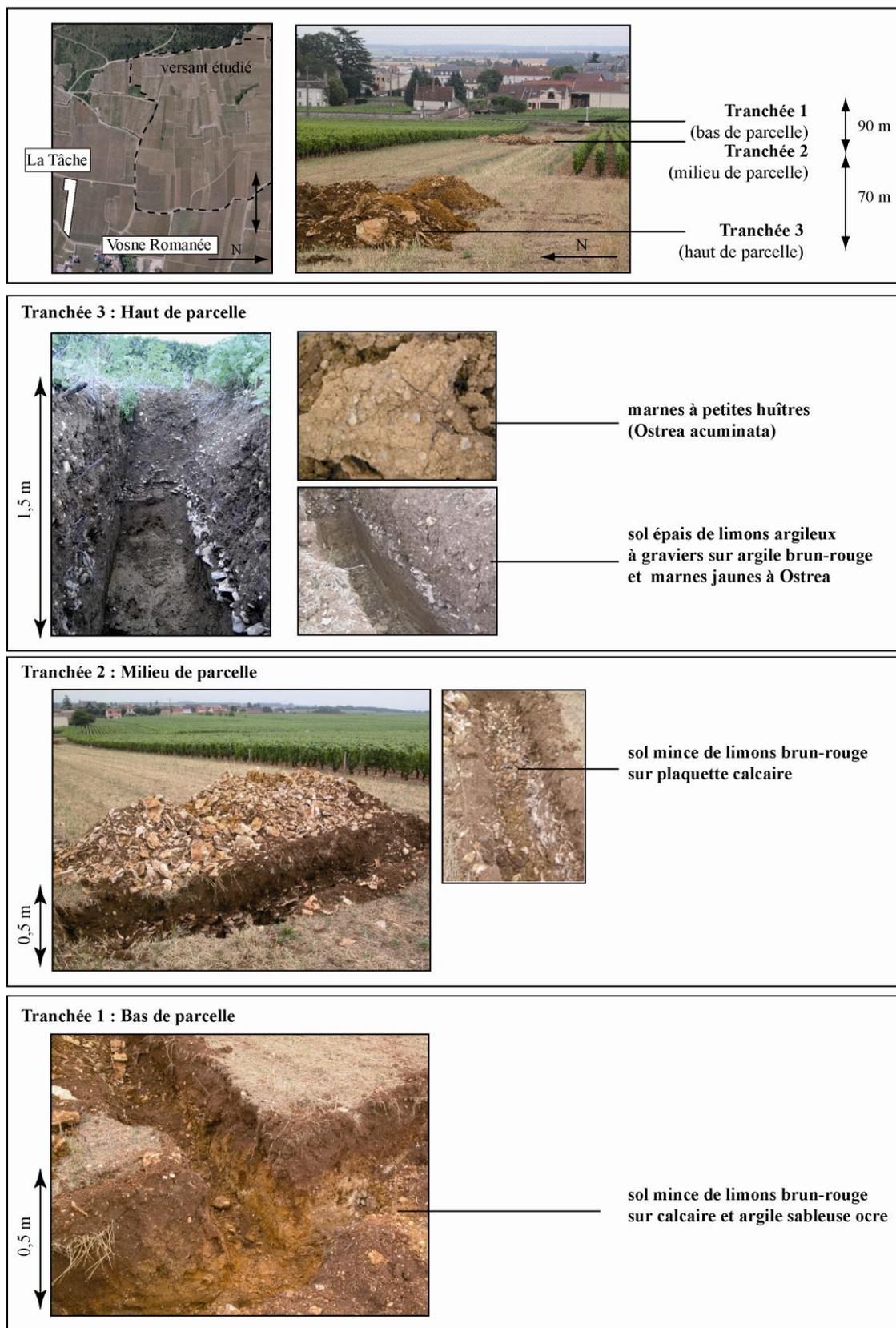


Figure 15 – Bilan sédimentaire à l'échelle pluri-centennale sur la parcelle de La Tâche, Vosne-Romanée.

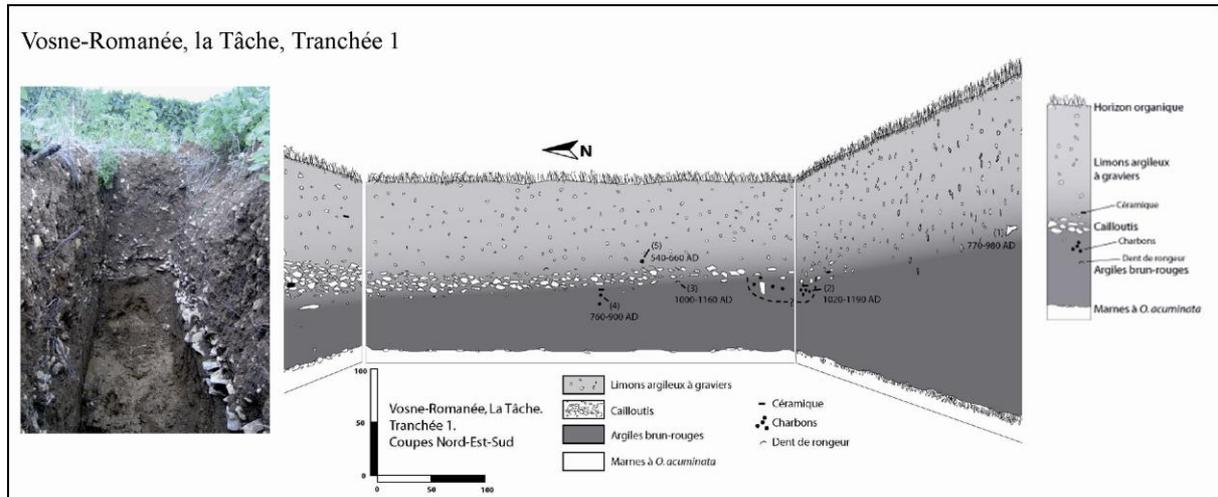


Figure 16 – Coupe Nord-Est-Sud de la Tranchée 1, La Tâche, Vosne-Romanée

→ Les grèzes litées et la pente : des facteurs favorisant l'érosion (Figure 17)

Pour étudier le rôle des paramètres géologiques (substrat), géomorphologiques (pente et longueur), des pratiques culturales (désherbage chimique, travail du sol, remontée de terre), du parcellaire (murgers, zones de retournement) dans le déclenchement de l'érosion, une cartographie et une quantification de l'érosion ont été réalisées sur ce versant.

La corrélation entre la distribution spatiale des ravines et la répartition des grèzes litées montre que la forte érodabilité des sols est le paramètre primordial dans la localisation de l'érosion. La pente et l'orientation des rangs dans le sens de la pente favorisent l'initiation de l'érosion des terres. En revanche, la présence de murs en amont des parcelles ne semble avoir qu'une faible efficacité dans la lutte contre le départ des terres. L'enherbement limite l'apparition des formes de ravinement et d'érosion.

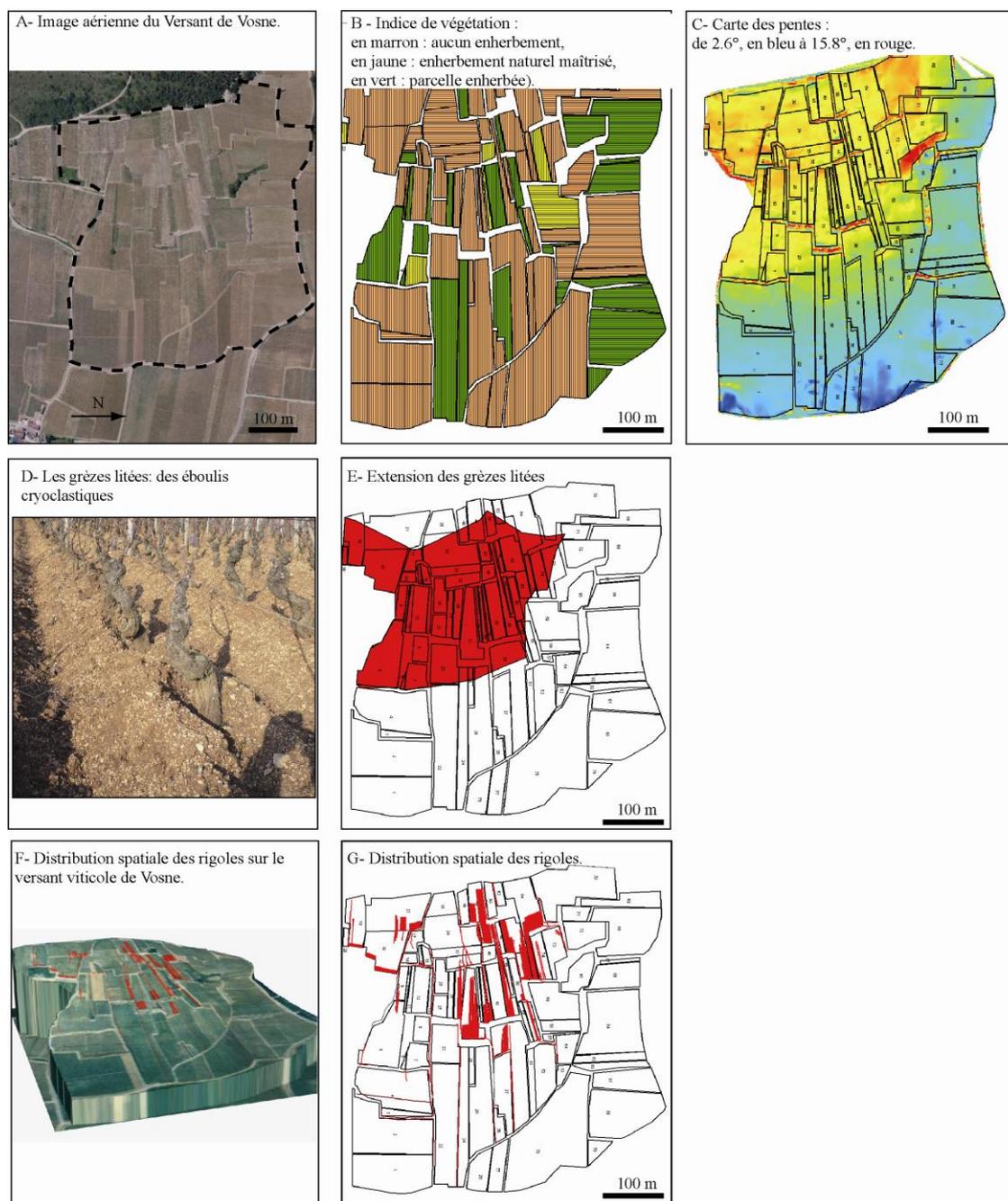


Figure 17 - Facteurs de contrôle de l'érosion événementielle, d'après Brenot, 2003, modifié

De la surface au sous-sol des versants de Marsannay

La localisation et l'intensité de l'érosion résultent des effets combinés de l'érosion naturelle par ruissellement et des pratiques culturales (**Figure 10**). Parmi les facteurs contrôlant l'érosion des versants viticoles à l'échelle de la parcelle, le rôle de la topographie (longueur et pente) est essentiel tant dans la forme de l'érosion initiée que dans les volumes impliqués (Brenot, 2007 ; Quiquerez et al., 2008)(**Figure 12**). Mais, si, à l'échelle de la parcelle, la topographie joue un rôle majeur dans les processus de ruissellement et d'érosion, elle n'explique cependant pas l'hétérogénéité spatiale des vitesses d'érosion observée à l'échelle métrique au sein d'une même parcelle (Brenot, 2007; Brenot et al., 2008) (**Figure 14**).

L'hétérogénéité de l'érosion à l'échelle métrique traduit la variabilité spatiale à cette même échelle des paramètres gouvernant l'érosion, *i.e.* de la micro-topographie, mais aussi des capacités d'infiltration, de ruissellement et d'érodabilité des sols. Ces paramètres sont contraints localement par les caractéristiques physiques et culturelles du sol sur ses premiers centimètres en surface (pétrologie du substrat, pierrosité, rugosité, minéralogie des argiles, structuration et travail du sol, présence/absence de résidus végétaux...) (Corbane et al., 2006), déterminant l'état de surface du sol (EDS).

La compréhension de ces hétérogénéités observées à l'échelle métrique nécessite une bonne connaissance du sous-sol et du sol à cette même échelle pour discuter du rôle des paramètres locaux sur la spatialisation de l'érosion, et fait l'objet de cet arrêt.

Pour ce faire, nous présenterons:

- une cartographie précise du substrat et une coupe géologique
- une cartographie de la répartition spatiale des états de surface des sols à haute-résolution
- une quantification de l'érosion décennale.

→ Présentation du secteur d'étude au sein de l'appellation Marsannay (Figures 18 à 22)

L'appellation Marsannay, qui constitue l'appellation la plus septentrionale de la Côte de Nuits produit des vins de trois couleurs, rouge, blanc et rosé. La carte de l'appellation a été réalisée par l'une d'entre nous (F.V-P) lors de l'établissement d'une demande de classement de certains lieux-dits communaux en premiers crus (**Figures 18 à 21**). Deux transects géophysiques de plus de 1000 m de long permettent de rendre compte de la structuration de ces versants (**Figure 22**).

Lors de cette excursion, seront principalement présentés les travaux, encore inédits, conduits dans le sud de l'appellation, associant investigations géophysiques, prospection géologique et cartographie haute résolution de la surface des sols soumis à l'érosion. Le secteur d'étude du versant se situe sur la limite communale qui sépare le village de Couchey au Nord du village de Fixin au Sud, il couvre une superficie de 20 ha. Le secteur d'étude est exposé au soleil levant et au midi, il s'étage de 260 à 390 mètres d'altitude, entre les cultures céréalières de la plaine de la Bresse, à l'Est, et les forêts et pelouses calcaires des plateaux, à l'Ouest (Vannier-Petit, 2005). On dénombre sur le transect étudié huit climats de l'appellation Marsannay, dont six en appellations communales (Champs-Perdrix, La Plantelle, Les

Mogottes, Au Potey, En Sampagny, En Varangée) et deux en appellation communale rosé (En Varangée, En Lautier).

Sur le secteur retenu, trois types de pratiques culturales ont été recensées : désherbage chimique, buttage/débuttage et entretien mécanique du sol par labour. Le type de pratique culturale utilisé conduit à une différenciation des caractéristiques physiques du sol. Le désherbage chimique, le plus souvent utilisé sur des parcelles à forte pente, provoque un tassement du sol et le rend imperméable. A l'inverse, le travail du sol par labour homogénéise le sol. L'infiltration de l'eau y est favorisée. Cependant lors d'évènements pluvieux intenses, ces sols meubles sont sujets à une érosion intense.

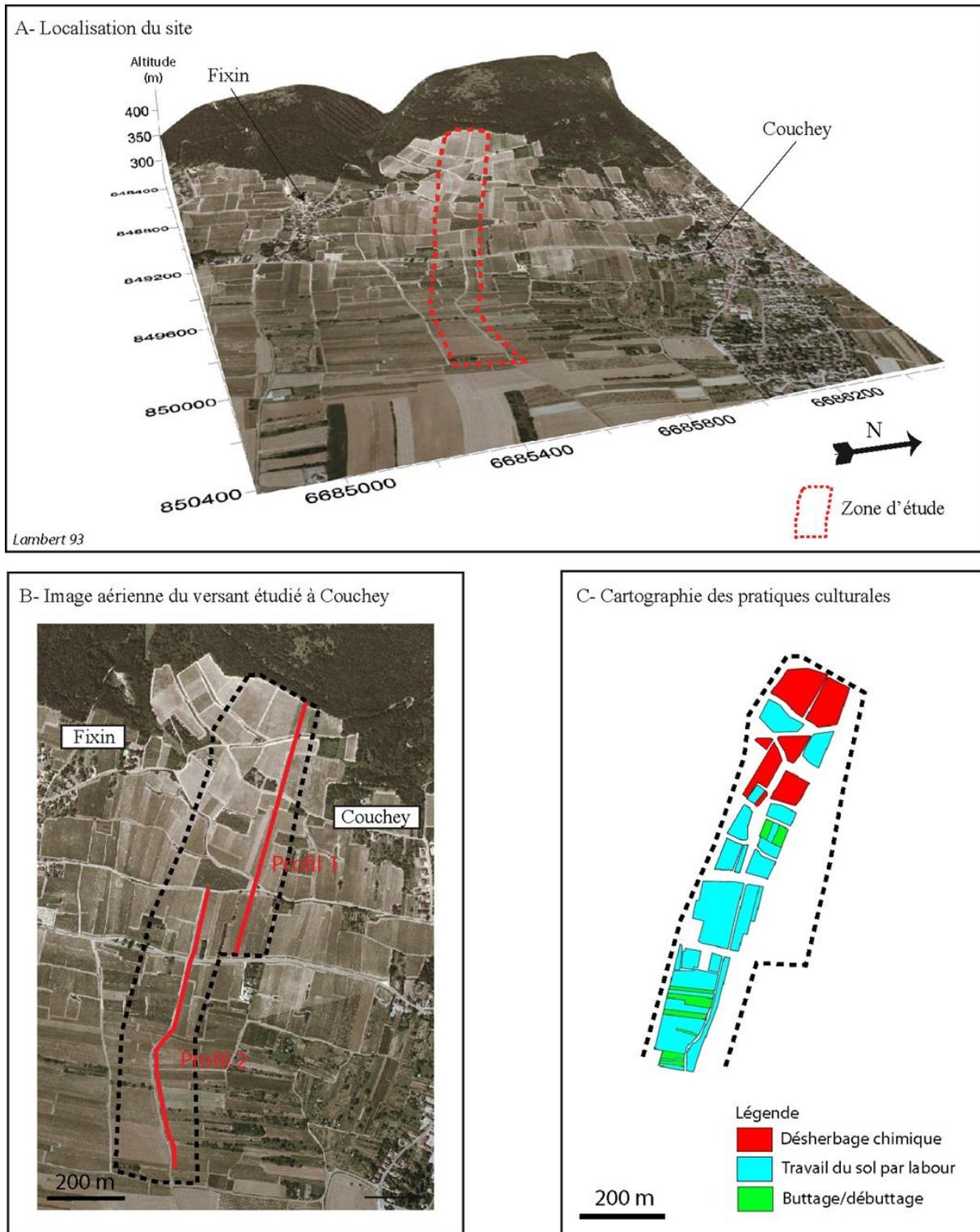


Figure 18 - Localisation du site étudié

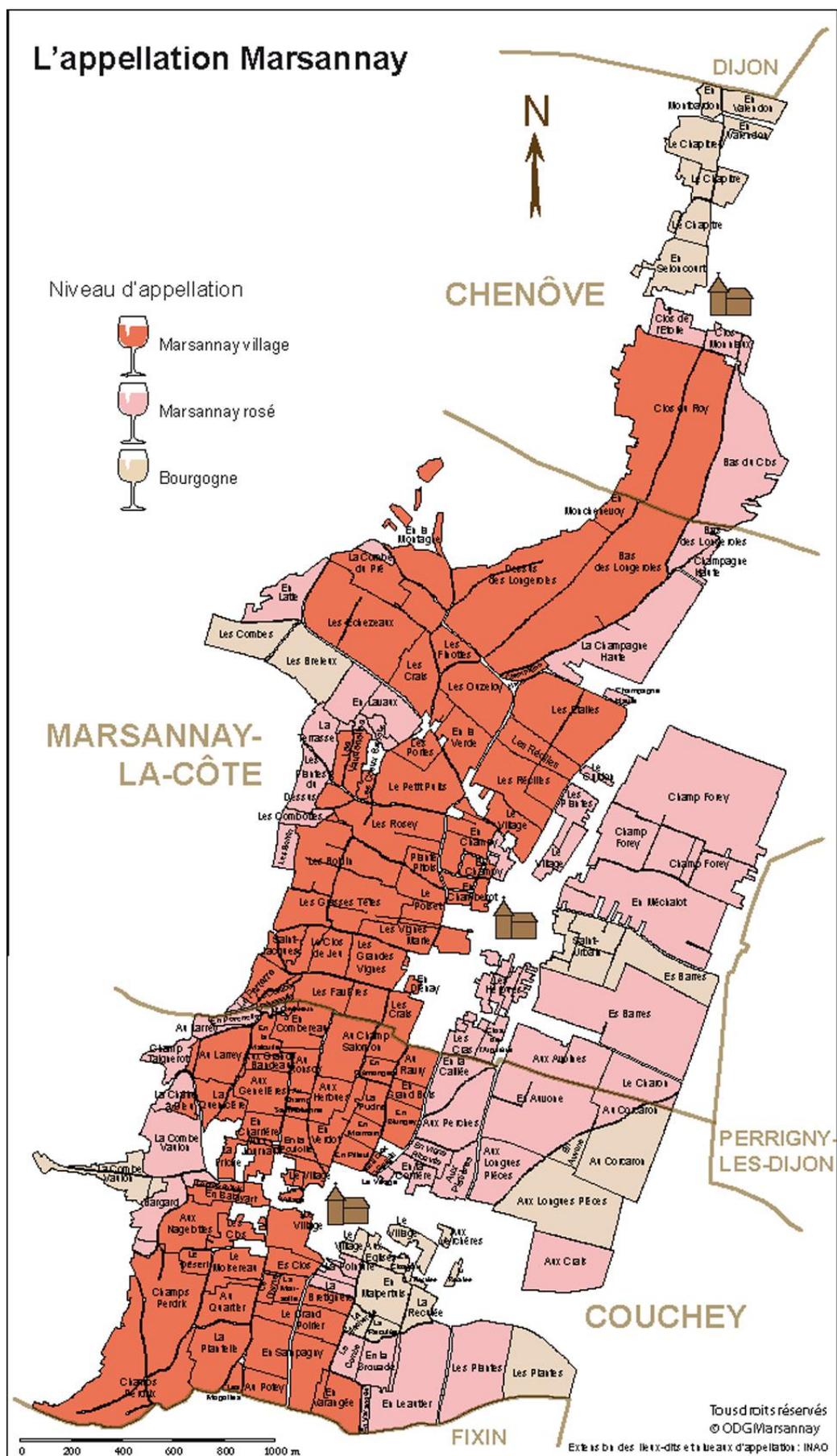


Figure 19 - Carte des appellations Marsannay.

→ Cartographie géologique et profils électriques (Figures 20, 21 & 22)

De nombreuses failles d'orientation N-S découpent intensément la série jurassique argilo-calcaire déterminant des compartiments de quelques centaines de mètres de largeur, s'effondrant globalement d'Ouest en Est. Le haut de versant est constitué de Calcaires de Comblanchien sur lesquels se développent des sols pauvres, peu épais et généralement occupés par des friches ou des forêts de pins et feuillus. La partie sommitale du coteau est recouverte par des grèzes litées. Elles sont essentiellement composées de clastes de Calcaires de Comblanchien. Elles se développent au niveau des pentes fortes, leur répartition sur le versant se superpose à l'Oolithe Blanche et au Calcaire de Premeaux. L'érosion fait apparaître des bancs de calcaires de Comblanchien dans la partie médiane du coteau. Plus bas sur le versant, les sols sont pierreux et se développent au dépend des Calcaires à entroques. Les sols de pied de versant sont très argileux car ils se développent sur les marnes sableuses du Lias. Au delà d'une faille importante, située au niveau de la Route des Grands Crus, les sols sont argileux et présentent des lithoclastes calcaires transportés le long du versant. Ils recouvrent les formations des Marnes de Bresse et les alluvions issues de la Combe de Fixin.

Cette mosaïque géologique combinée à une morphologie contrastée du versant, offrent une diversité pédologique importante :

- les sols des hauts de coteaux sont des sols bruns calcaires caillouteux caractérisés par une teneur importante en argiles.
- les sols de coteaux (sols bruns calcaires) sont le plus souvent peu profonds, de composition argilo-calcaire et caillouteux.
- les sols de bas de versant sont des sols bruns calcaires ou calciques épais, se caractérisant par une composition argilo-limoneuse et une faible pierrosité.

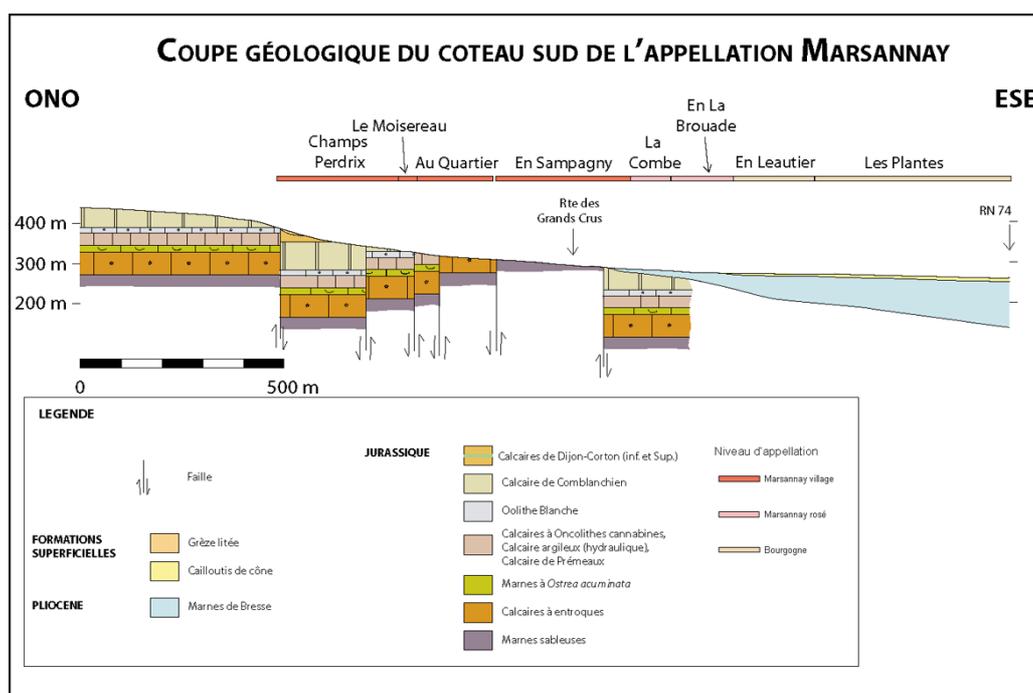


Figure 20 - Coupe géologique à travers le versant sud de l'appellation Marsannay (profil « Camps-Perdrix »).

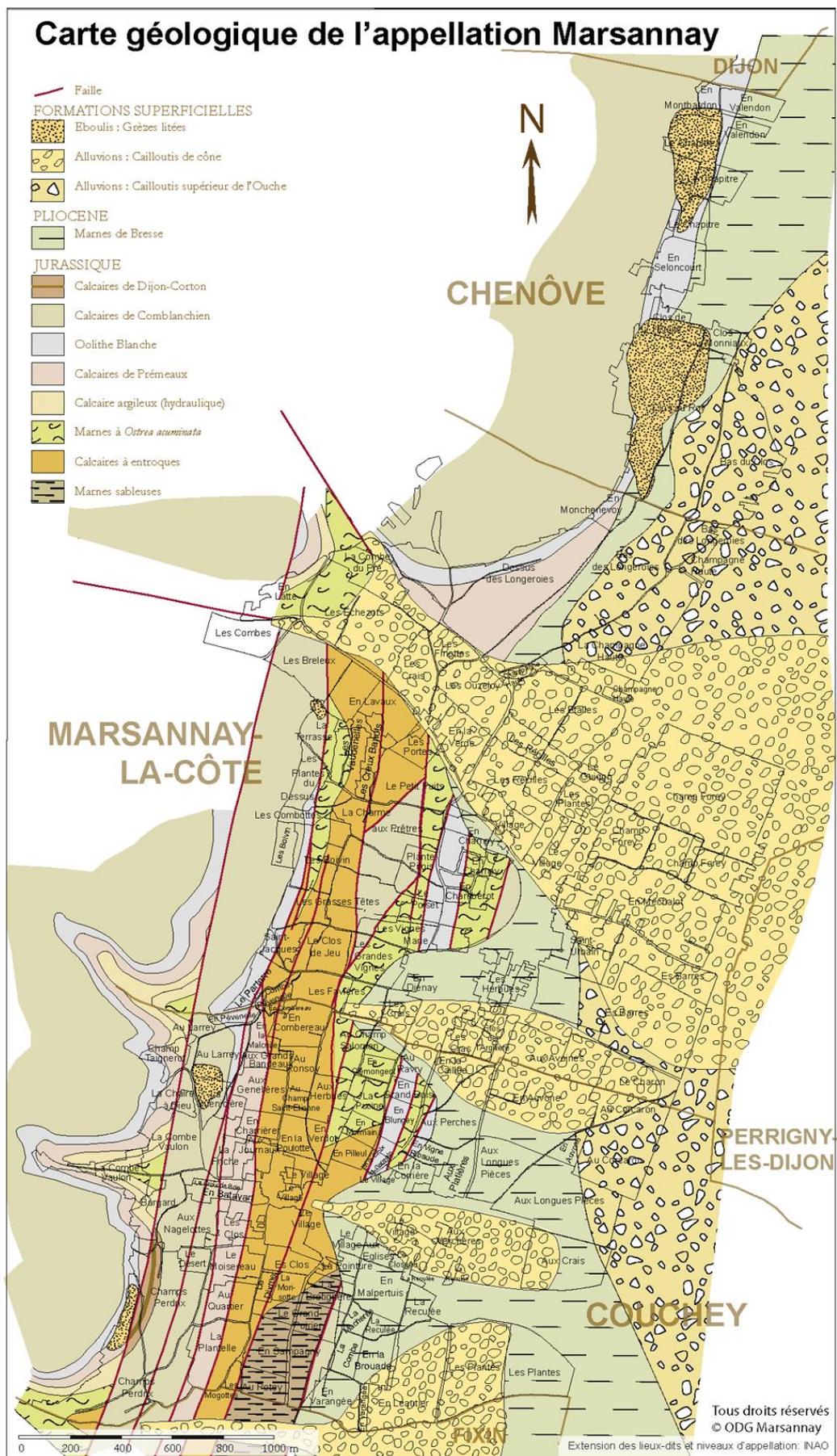
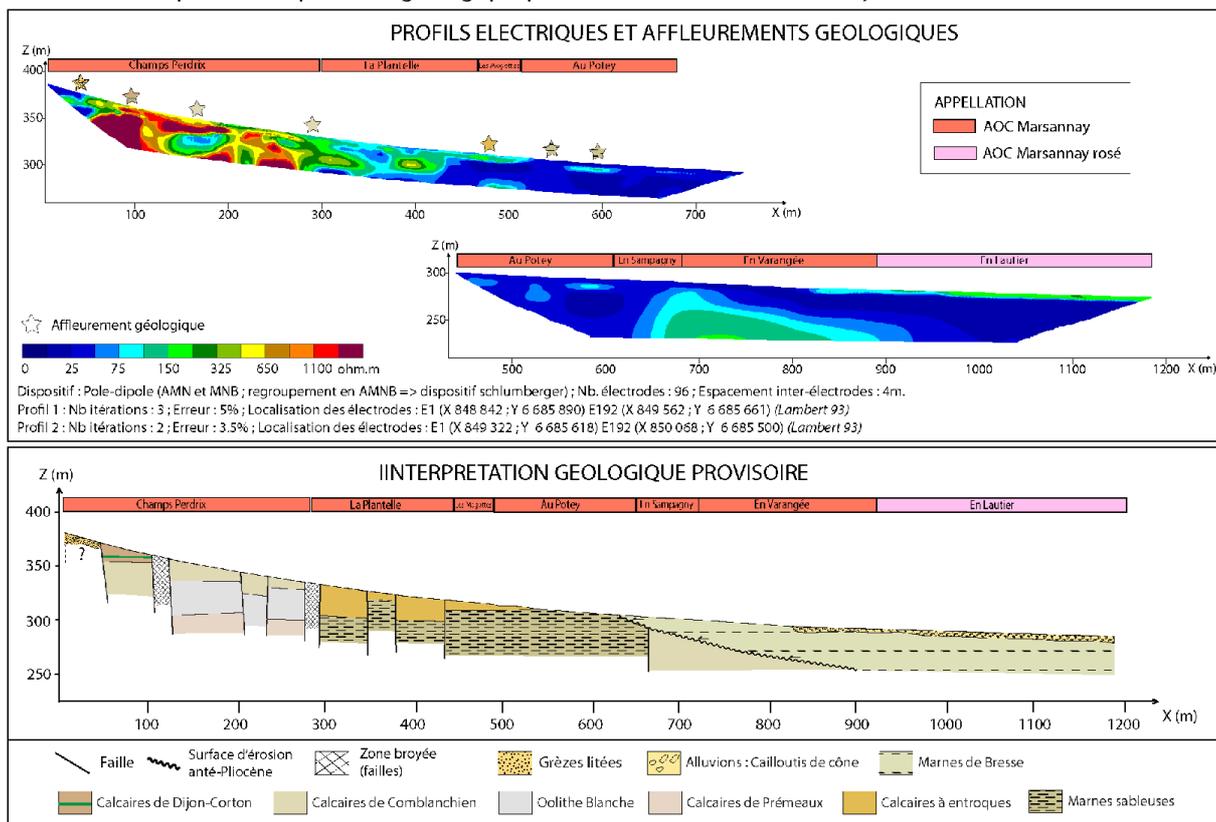


Figure 21 - Extrait de la carte géologique de Marsannay .

A- Profils électriques et interprétation géologique provisoire du versant de Couchey



B- Profil électrique et interprétation géologique provisoire du versant de Marsannay

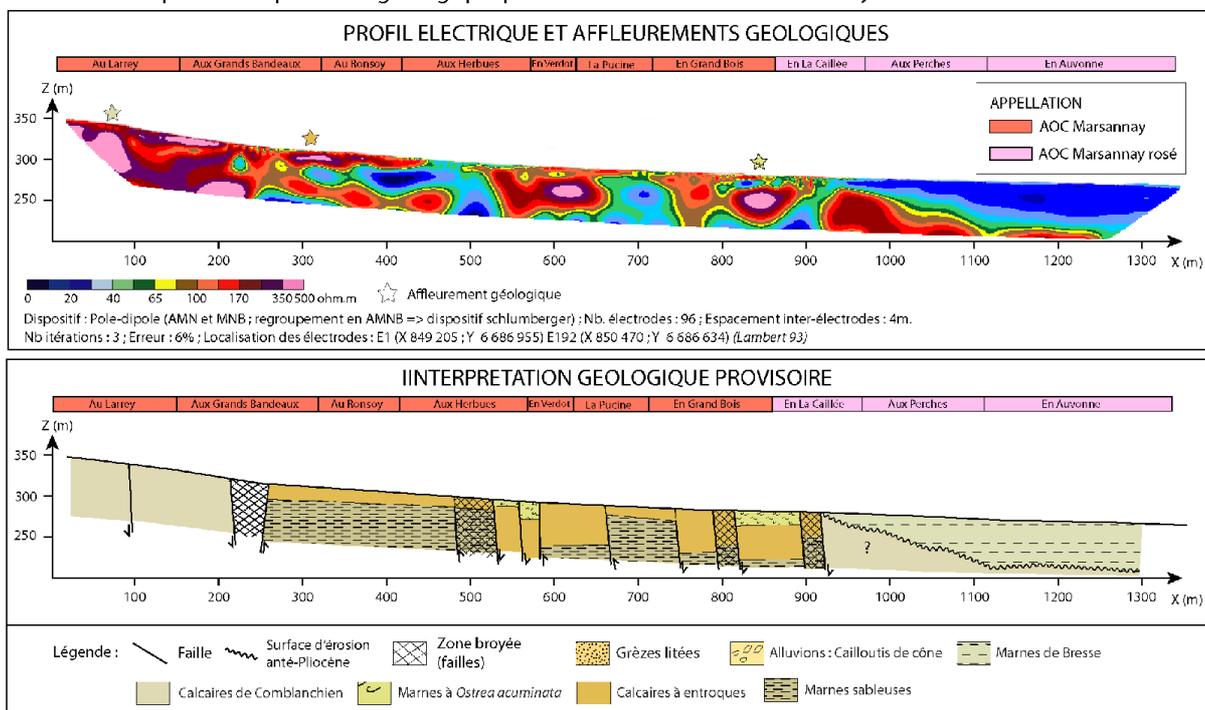


Figure 22 - Profils électriques et interprétations géologiques provisoires de deux secteurs de l'appellation Marsannay

→ **Cartographie des états de surface par traitement d'images à très haute résolution spatiale (Figure 23 & 24)**

L'état de surface des sols peut varier à l'échelle du mètre. Une cartographie des variations intra-parcellaires des états de surface des sols nécessite donc l'acquisition de données à très haute résolution spatiale (THRS).

La cartographie des sols est réalisée à partir du traitement d'images aériennes THRS acquises par un appareil photo-numérique opérant dans le domaine spectral du visible et installé sur un drone-hélicoptère (Université Lyon 1 & Université de Bretagne Occidentale). Le GPS intégré donne le positionnement géographique de l'appareil en temps réel. Les sols ont été photographiés à une altitude constante de 70 m au dessus du sol, pour obtenir des photos à une résolution spatiale variant de 2 à 5 centimètres. Le drone-hélicoptère se déplaçant à vitesse quasi-constante (20 à 30 km/h), les prises de vues sont effectuées toutes les 2 secondes. Cet intervalle offre un recoupement des photos de l'ordre d'un tiers.

Ces images THRS permettent donc une bonne caractérisation des sols dans l'interrang.

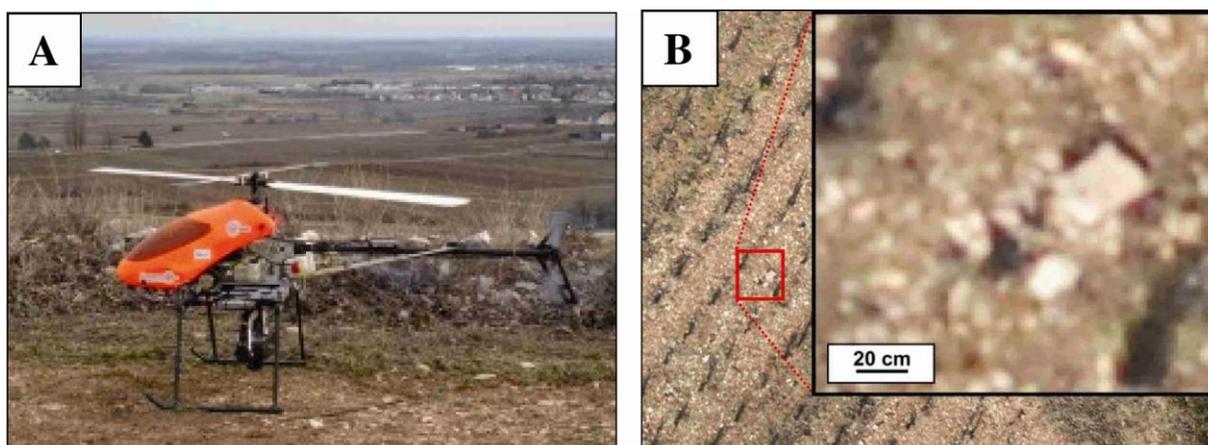


Figure 23 - **A** : Drone-hélicoptère (Université Lyon 1 et Université de Bretagne) équipé du capteur photographique numérique Nikon D200 ; **B** : Cliché d'une image à très haute résolution spatiale ; la valeur du pixel est de 17 mm.

La détermination et la cartographie des variabilités spatiales des états de surface à l'échelle du versant est abordée par approche combinant des techniques d'échantillonnage « terrain » et des techniques de télédétection. Dans un premier temps, une cartographie des états de surface des sols est réalisée à partir de traitements des images (ACP) qui permettent d'accentuer les différences de réflectances de la surface du sol. Cette cartographie est ensuite contrainte par des observations *in situ* de terrain qui permettent de caler et valider les typologies des sols. La couleur, la pierrosité de surface, et le mode cultural sont les critères principaux de description de ces sols (Chevigny, 2009).

La **figure 24** illustre le traitement par ACP de la mosaïque naturelle. Les valeurs de l'ACP sont converties en fausses couleurs. Chaque couleur est significative d'une variance différente, donc indirectement d'une réflectance de la surface différente. L'ACP met en

évidence à cette échelle un motif particulier d'organisation spatiale. Sur la partie orientale et en bas de versant, les fausses couleurs de l'ACP dominantes sont le bleu clair et le vert. En remontant vers l'amont du versant, la couleur la plus représentée est le bleu foncé. Sur le haut de versant, la couleur verte alterne avec le rose.

Les prélèvements réalisés le long de ce transect montrent que les différences de réflectance correspondent également à des différences de pierrosité, de couleur de l'état de surface, et ou de pratique culturale. Ainsi parallèlement aux observations réalisées sur l'ACP, une évolution spatiale de la pierrosité et de la couleur des sols sont mises en évidence. La pierrosité est plus importante en haut du versant et est composée pour partie de clastes calcaires de forme anguleuse, de taille décimétrique, et pour partie de grèzes litées. Les parcelles du milieu de versant et de bas de versant présentent plutôt une faible pierrosité.

A l'échelle du versant, les sols gris se situent dans la partie sud-ouest de la zone d'étude, tandis que les sols bruns sont observables dans la partie nord-ouest du versant et les sols bruns rouge dans la partie médiane du versant.

Cette méthodologie est donc efficace pour mettre en évidence des différences d'état de surface des sols à l'échelle inter-parcellaire et à l'échelle intra-parcellaire.

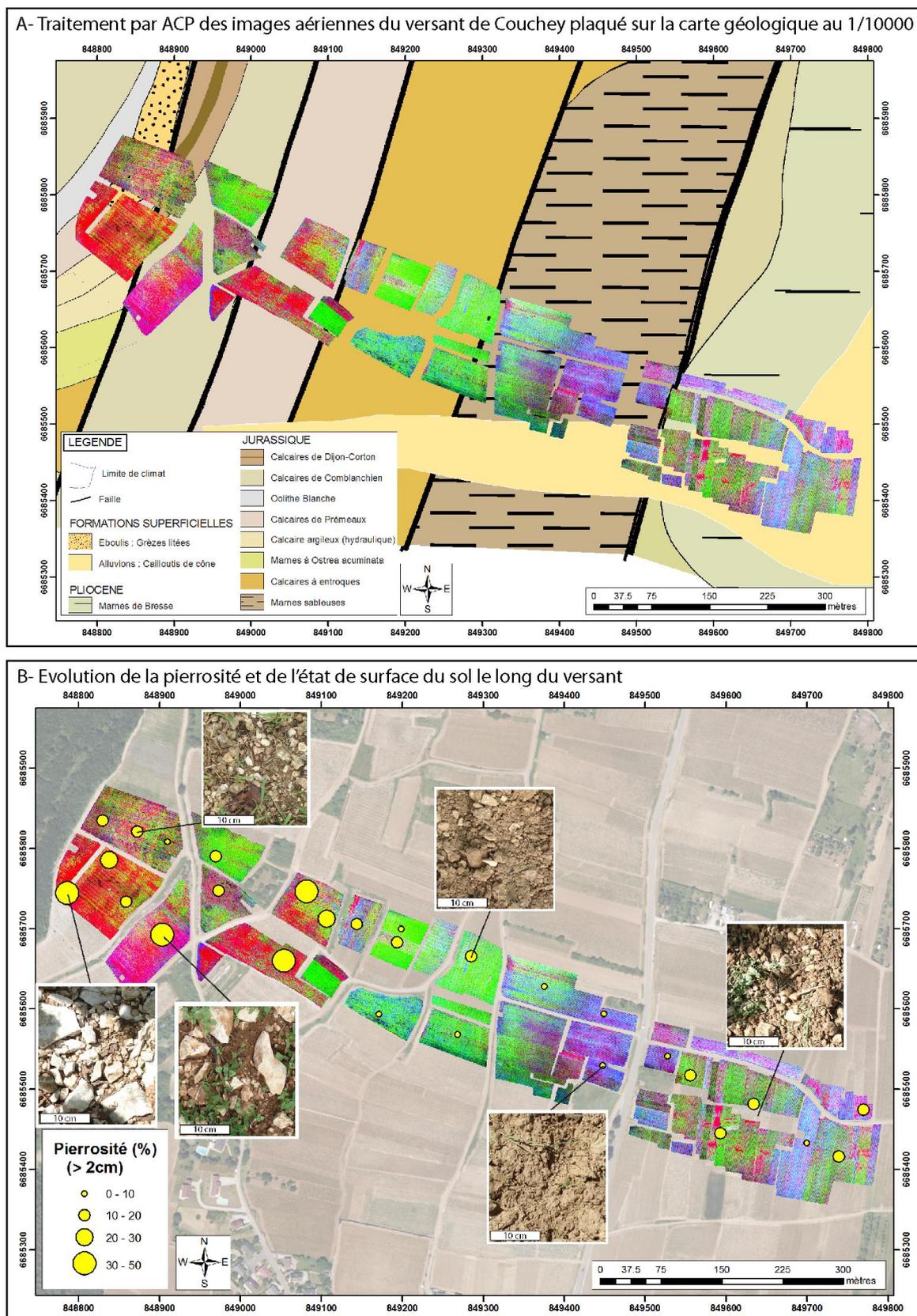


Figure 24 - Traitement par ACP des images aériennes du versant de Couchey et évolution de la pierrosité et de l'état de surface le long du versant.

→ Distribution spatiale de l'érosion le long du versant de Couchey à l'échelle décennale (Figure 25)

Des mesures de déchaussement, basées sur la méthode du SUM, ont été réalisées le long du versant. Les valeurs de déchaussement varient à l'échelle du versant, entre -27 cm (érosion) et 5 cm (sédimentation). On distingue deux groupes de parcelles, les parcelles présentant un fort déchaussement de l'ordre de 8 cm en moyenne (parcelles C1, C5, C9r) et les parcelles à déchaussement modéré 4 cm en moyenne (parcelles C2, C4, C9 et C10) (Figure 25).

La Figure 25 montre que cette répartition spatiale de la lithologie du substrat influe sur l'intensité de l'érosion sur la parcelle C1. D'amont en aval, on observe les évolutions suivantes. Les sols situés sur la formation de l'Oolithe Blanche sont caractérisés par une forte érosion. Cette érosion diminue rapidement jusqu'à la transition avec des grèzes litées. Sur ces grèzes, l'érosion augmente avec la pente. Au passage à la formation des Calcaires de Dijon-Corton, on note une diminution du déchaussement. La formation des Calcaires de Dijon-Corton est caractérisée par de fortes valeurs de déchaussement de la parcelle (20cm). Enfin, le déchaussement diminue de nouveau au contact par faille avec la formation des Calcaires de Comblanchien (Chevigny, 2009).

Nous suggérons ainsi que la lithologie du substrat sous-jacent contrôle l'intensité et la localisation de l'érosion. Les calcaires oolithiques et bioclastiques (Oolithe Blanche, Calcaires de Dijon-Corton) facilement friables sont sujets à de plus fort taux d'érosion, qu'un calcaire micritique compact (Calcaires de Comblanchien).

Les analyses d'images à très haute résolution spatiale couplées aux données de terrain permettent de mieux appréhender l'hétérogénéité spatiale des vitesses d'érosion. Cette hétérogénéité spatiale, variable d'une parcelle à l'autre et d'un versant à l'autre peut être expliquée par des variations de pente, de lithologie du substrat, d'état de surface des sols. Il ressort de cette étude les points suivants.

Contrôle de la pente

- Les valeurs de fortes pentes ($p > 15^\circ$) induisent systématiquement une forte érosion des sols, et ce quel que soit le versant et le type de substrat.

- Au niveau des pentes faibles ($p < 9^\circ$), les sols n'ont pas de distribution spatiale particulière.

Pour des pentes $9^\circ < p < 15^\circ$, l'état de surface des sols apparaît comme un facteur majeur dans l'intensité et la localisation de l'érosion. Les sols pierreux (pierrosité $> 20\%$) protégés de l'effet splash sont les moins érodés. Les sols peu pierreux sont sujets à de forts taux d'érosion. La répartition des types de sols est corrélée aux valeurs de pentes fortes, les sols peu pierreux se trouvent dans les zones les plus pentées.

Contrôle du substrat

- Le substrat sous-jacent joue aussi un rôle sur l'intensité de l'érosion. Les formations caractérisées par des calcaires compacts présentent des déchaussements modérés. Les formations composées de calcaires qui se délitent sont sujettes à une érosion intense.

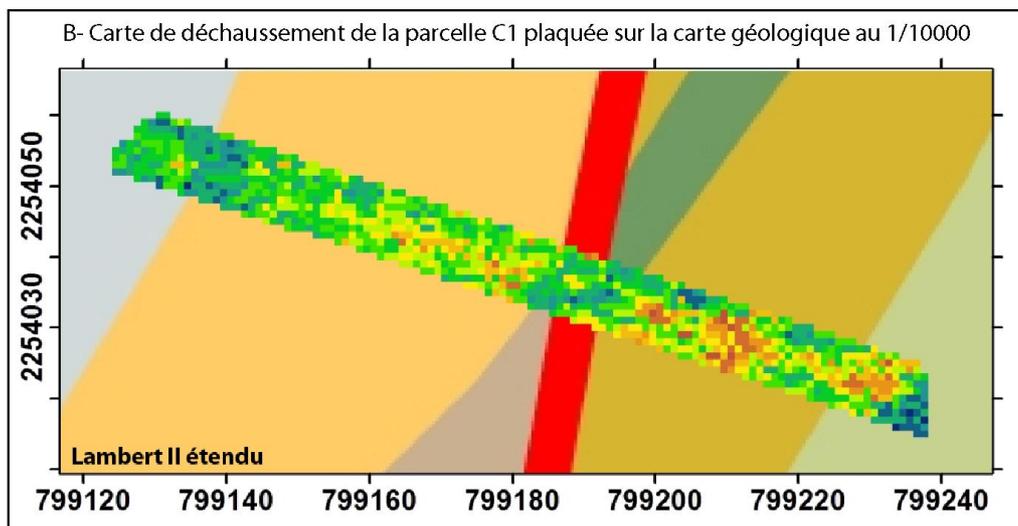
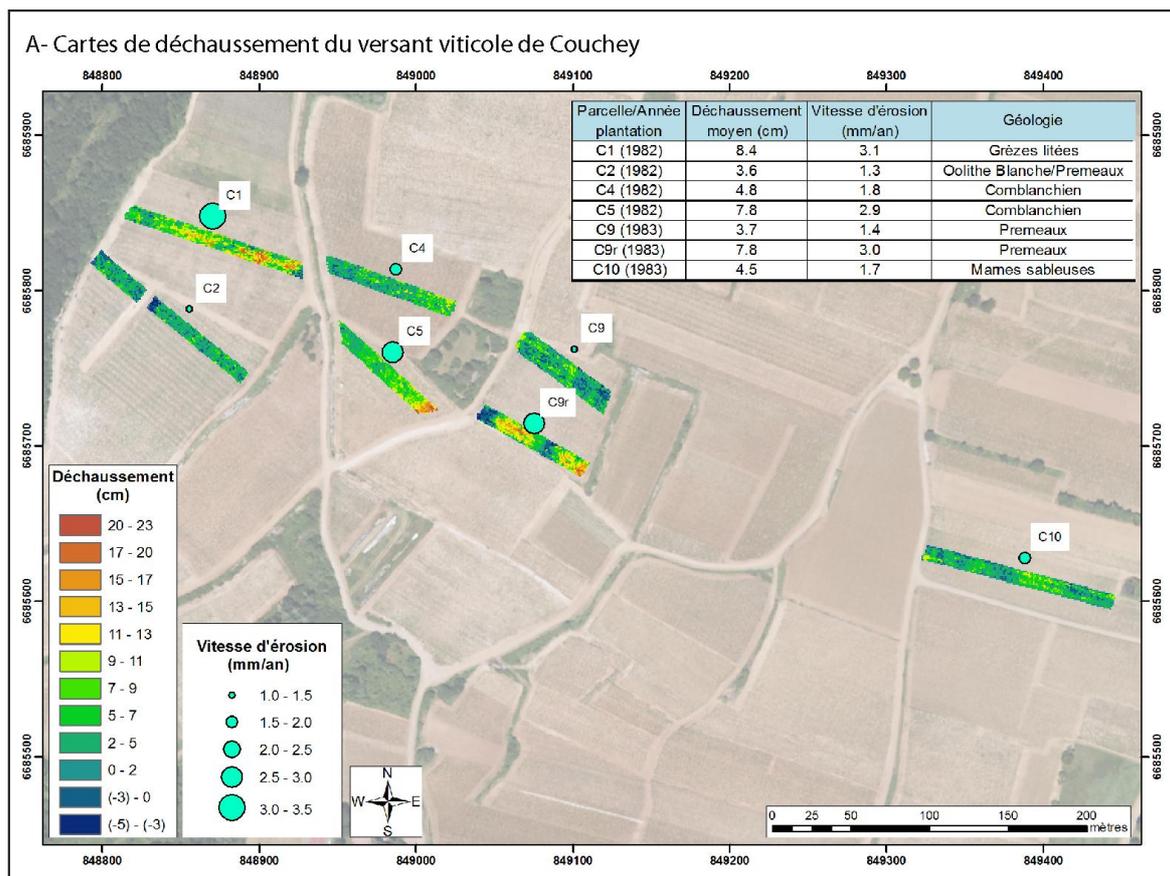


Figure 25 - Cartes de déchaussement du versant viticole de Couchey.

Références bibliographiques

- Bazin, J.-F. (1994). La Romanée-Conti: la côte de Nuits de Vosne-Romanée à Corgoloin. J. Legrand, 1994 - 319 pages.
- Bergerat F., Mugnier J.L., Guellec S., Truffert C., Cazes M., Damotte B., et Roure F. (1990). - Extensional tectonics and subsidence of the Bresse basin: an interpretation from ECORS data, in: F. Roure, P. Heitzmann, R. Polino (Eds.), Deep Structure of the Alps, Mém. Soc. Géol. Fr., N. S., 156, 1990.
- Bizot J.Y, Campy M., Vincent E. (2011). – Le vignoble bourguignon, son terroir et ses appellations In « terroirs, vigne et vins : quel rôle pour la géologie ? », Géologues, 168, mars 2011, p. 59-70.
- Brenot J., 2003. Processus d'érosion en versant anthropisé : exemple et modélisation du parcellaire viticole. Mémoire de DEA, Université de Rennes 1, 25p.
- Brenot J., Quiquerez A., Petit C., Garcia J.-P., Davy P., 2006. Erosion rates and soil sustainability in the Burgundian vineyards, *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, vol. Speciale n°6, pp. 169-173.
- Brenot, J. (2007) Quantification de la dynamique sédimentaire en contexte anthropisé. L'érosion des versants viticoles de Côte d'Or, Doctorat, Université de Bourgogne, 318 p.
- Brenot, J., Quiquerez, A., Petit, C., Garcia, J. P., 2008. Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France). *Geomorphology* 100 (3-4), 345-355.
- Chevigny, E. 2009. Approche multi-échelle de l'hétérogénéité spatiale des sols et de l'érosion des versants viticoles bourguignons. Apport de l'imagerie à très haute résolution spatiale (THRS). Mémoire de recherche de Master 2^o année, 65p.
- Chrétien J. (1995). Carte pédologique de Beaune au 1/100 000. INRA
- Clauzon G., Suc J.-P., Aguilar J.-P., Ambert P., Cappetta H., Drivaliari A., Domenech R., Dubar M., Leroy S., Martinell J., Michaux J. Roiron P., Rubino J.-L. Savoye B. and Vernet J.-L. (1990). – Pliocène geodynamic and climatic evolutions in the French Mediterranean region. *Paleontologia i Evolutio*, Mem Esp. 2, p. 131-186
- Corbane, C. 2006. Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale. Doctorat, Université de Montpellier II, 252p.

- Debrand-Passard ed. (1984) Synthèse géologique du Sud-Est de la France. Mem. BRGM, 125
- Fanet J. (2001). – Les terroirs du vin. Hachette, 239 p.
- France B. dir. (2002). Grand atlas des vignobles de France. Solar ed., Paris, 323 p.
- Gadille R. (1967). – Le vignoble de la Côte bourguignonne. Fondements physiques et humains d'une viticulture de haute qualité. Publication de l'Université de Bourgogne XXXIX, Les Belles lettres, Paris 652 p.
- Garcia J.-P., Chevrier S., Dufraisse A., Foucher M. et Steinmann R. (2010). –Le vignoble gallo-romain de Gevrey-Chambertin « Au dessus-de-Bergis », Côte d'Or (Ier-IIe s. ap. J.-C.) : mode de plantation et de conduites de la vignes antiques en Bourgogne, *Revue archéologique de l'Est*, 59-2, p. 505-537.
- Garcia J.P., Petit C. et coll. (2005). – Dossier « Les terroirs viticoles de la Côte ». Bourgogne Aujourd'hui, n° 62, p. 50-70
- Garcia J.-P., Petit C., Quiquerez A., Brenot J. (collab), Combaud A. (collab), Brigaud (collab), Petrovic M. (collab) (2008) "Données nouvelles de datation des substrats du vignoble en Côte de Beaune et en Côte de Nuits : contribution à l'histoire longue des terroirs viticoles", in Cahiers d'histoire de la vigne et du vin, n° 8, p. 5-11.
- Garcia J.-P., J. Brenot, A. Quiquerez, C. Petit 2008 - Erosion des sols viticoles par les évènements orageux (Vosne-Romanée) : quels risques pour le futur? in : [Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles? Global warming, which potential impacts on the vineyards? : Actes du colloque international et pluridisciplinaire, 28-30 mars 2007, Dijon et Beaune, France], 10 p.
- Garcia J.-P. (dir.), (2010) « Les “climats” du vignoble de Bourgogne comme patrimoine mondial de l'humanité », Ed. Universitaires de Dijon 357 p. ([31] p. de pl.)
- Gélard J.-P. (1977). - Rejeu en coulissement sénestre des accidents varisques prolongeant vers la Bresse le fossé de Blanzay-Montceau-les-Mines, C. R. Somm. Soc. Géol. Fr. 1 (1977) 32–34.
- Goudie, A., 2005. The human impact on the natural environment. Blackwell Publishing, sixth edition, 362 p.
- Lefavray-Raymond A. (1962). – Contribution à l'étude géologique de la Bresse d'après les sondages profonds. Université de Paris, 171 p
- Mériaux S., Chrétien J., Vermi P. et Leneuf N. (1981). – La Côte viticole. Ses sols et ses crus, Bulletin Scientifique de Bourgogne, 34, p. 17-40
- Dr Morelot, (1831). - Statistique de la vigne dans le département de la Côte-d'Or, Dijon, 284 p

- Morgan, R.P.C., 2005. Soil Erosion and Conservation. Third Edition. Blackwell Publishing, 312p.
- Morris J. (2010). – Inside burgundy. The vineyards, the wine & the people. Berry Bros & Rudd Press, London, 656 p.
- Norman R. (2010). – Grand Cru. The great wines of Burgundy through the perspective of its vineyards. Kyle Cathie Limited, London, 239 p.
- O.I.V. (2010). Définition du terroir, Résolution OIV/VITI 333/2010.
- Petit C. (1993). – Un bassin d'avant-pays de type pelliculaire : la Bresse au Plio-pléistocène. Thèse de l'université de Bourgogne, 348 p.
- Petit, C., Campy M., Chaline J. & Bonvalot J. (1996). - Major palaeohydrographic changes in Alpine foreland during the Pliocene-Pleistocene. *Boreas*, vol. 25, p. 131-143.
- Pitiot S. et Servant J.M. ((2004). Les vins de Bourgogne. Collection Pierre poupon, (13e édition avec nouvelles coupes géologiques), 303 p.
- Pomerol Ch. (sous la direction de) (1984, 3ed. 1990). - *Terroirs et vins de France. Itinéraires œnologiques et géologiques*, éditions du BRGM, Orléans, 343 pages
- Quiquerez, A., Brenot, J., Garcia, J. P., Petit, C., (2008). - Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for medium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. *Catena* 73, issue 1, 89-97.
- Rat, P. ,1974 - Le système Bourgogne - Morvan – Bresse. Géologie de la France. Ed. Doin, Paris, p. 480-500.
- Rat P. (1978). - Les phases tectoniques au Tertiaire dans le Nord du fossé bressan et ses marges bourguignonnes en regard des systèmes d'érosion et de sédimentation, C. R. Somm. Soc. Géol. Fr. 5, 213–214.
- Rat P. (1976). - Structures et phases de structuration dans les plateaux bourguignons et le Nord-Ouest du fossé bressan (France), *Geol. Rundsch.* 65, 101–126.
- Rat et coll. (1986). -Guides géologiques régionaux, Bourgogne Morvan, éd. Masson,, 216 p.
- Ray A. (2010). - Dictionnaire historique de la langue française. Dictionnaires Le Robert, 2614 p.
- Rémond 1972). – Carte géologique de Gevrey-Chambertin. Ed. BRGM, 1 carte et la notice, 33 p.
- Rocher M., Chevalier F., Petit C., Guiraud M. (2003). - Tectonics of the Northern Bresse region (France) during the Alpine cycle, *Geodynamica Acta*, 16, 131-147.

Rousseau D.D., Petit C., Taoufiq N.B., Farjanel G., Méon H. and Puisségur, J.J. (1992). - Continental late Pliocene paleoclimatic history recorded in the Bresse Basin (France). *Palaeogeogr., Palaeogeogr., Palaeoecol.*, 95, p. 253-261.

Van Vliet-Lanoë B. (2005). - La planète des glaces — Histoire et environnements de notre ère glaciaire, Vuibert, Paris, Paris, 470 p.

Wilson J. E. (1998). Terroir. The Role of Geology, Climate and Culture in the making of French Wines, Mitchell Beazley ed. 336 p.



LISTE DES PUBLICATIONS A.S.F.
(ACTUELLEMENT DISPONIBLES)

- Livre Sp. – La sédimentation du Jurassique W-Européen. 1979.
- Livre n° 6 - Le Trias détritique de Provence et du Dôme de Barrot.
- Livre n° 10 – 2^{ème} congrès Français de Sédimentologie, 1989, Paris.
- Livre n° 11 – Mesozoic eustacy record on western Tethyan margins. Abstract book.
- Livre n° 12 - Mesozoic eustacy record on western Tethyan margins. Excursion.
- Livre n° 13 - Diapirisme sur une marge en distension puis en décrochement.
- Livre n° 16 - 3^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, 1991, Brest. Excursions.
- Livre n° 19 - 4^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, 1993, Lille. Résumés.
- Livre n° 20 - 4^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, 1993, Lille. Excursion.
- Livre n° 21 - Géométrie et productivité des plates-formes carbonatées. Résumés.
- Livre n° 22 - IAS, 16th Regional Meeting of Sedimentology et 5^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, 1995, Aix. Abstracts, Résumés.
- Livre n° 23 - IAS, 16th Regional Meeting of Sedimentology et 5^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, 1995, Aix. Field-trip, excursions.
- Livre n° 24 - Modélisation d'un système de piémont. Excursion.
- Livre n° 26 - Microbial mediation in carbonate diagenesis. International workshop.
- Livre n° 27 - 6^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Montpellier. Résumés.
- Livre n° 28 - 6^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Montpellier 1997. Excursions.
- Livre n° 29 - Danube delta : geology, sedimentology, evolution. Field-trip.
- Livre n° 30 - Argiles : sédimentologie, diagenèse, environnement. Résumés.
- Livre n° 31- Mauritanian microbial buildups. Field-trip.
- Livre n° 32 - Paleooceanology of reefs & carbonate platforms : Miocene to Modern.
- Livre n° 34 - 7^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Nancy. Excursions.
- Livre n° 36 - 8^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Orléans 2001. Résumés.
- Livre n° 37 - 8^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Orléans. Excursions.
- Livre n° 38 - 9^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Bordeaux 2003. Résumés.
- Livre n° 39 - Excursion. Processus gravitaires et évolution de bassin : Le Crétacé et le Tertiaire du Pays Basque.

- Livre n° 40 - Excursion. Sédimentologie et stratigraphie de deux vallées incisées de la côte aquitaine : la Gironde et la Leyre.
- Livre n° 41 – Excursion. Géologie et typicité des vins de Bordeaux
- Livre n° 42 – Excursion. La plate-forme carbonatée cénomanienne de Charente : une double approche sédimentologique et paléoécologique.
- Livre n° 43 – Excursion sur les sites stratotypiques de l’Aquitainien et du Burdigalien et sur le Miocène régional.
- Livre n° 44 – Sédimentogenèse des sites préhistoriques du Périgord.
- Livre n° 45 – Ecole d’été : Carbonates récifaux et de plate-forme.
- Livre n° 46 – Atelier / Workshop : Microbialithes et communautés microbiennes dans les systèmes sédimentaires.
- Livre n° 47 – 38^{ème} Symposium de l’ECSA - Programme Seine-Aval : Excursion en Baie de Somme.
- Livre n° 50 – Sédimentologie de la formation des Sables de Fontainebleau et architecture des dépôts oligocènes du Bassin de Paris.
- Livre n° 51 – 10^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Presqu’île de Giens 2005. Résumés.
- Livre n° 52 – Sédimentations gravitaires carbonatées et silicoclastiques dans un bassin en transtension, séries d’âge Cénomanien à Coniacien moyen du Bassin Sud-Provençal.
- Livre n° 54 – Sédimentologie, stratigraphie séquentielle et architecture réservoir des séries Eocène-Oligocène du Sud-Est de la France (Grès d’Annot et systèmes associés).
- Livre n° 55 – Sealaix’06. Sea level changes: records, processes and modeling.
- Livre n° 56 – International symposium « Early Permian continental environments in the Autun basin ».
- Livre n° 57 – 11^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Caen 2007. Résumés.
- Livre n° 58 – 11^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Caen. Excursion. La Baie du Mont-Saint-Michel : faciès, séquences, évolution.
- Livre n° 60 – 11^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Caen. Excursion. Les séismites de l’Oxfordien supérieur sur la bordure occidentale du Bassin Parisien.
- Livre n° 61 – 11^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Caen. Excursion. Résidus à silex de l’Ouest du bassin de Paris (Normandie et Perche).
- Livre n° 62 – Excursion. The Triassic of NE France: continental environments and unconformities.
- Livre n° 63 – Argiles et sédiment. Ecole thématique. Poitiers 2008.
- Livre n° 64 – 12^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Rennes 2009. Résumés.
- Livre n° 65 – Excursions. Etudes sédimentologiques en presqu’île de Crozon. 12^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Rennes 2009.
- Livre n° 66 – Excursion. Les vallées incisées pléistocènes de Bretagne : l’exemple de l’estuaire de la Vilaine. 12^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Rennes 2009.
- Livre n° 67 – Excursion. Les systèmes de dépôt tertiaires de la bordure méridionale du bassin sud-pyrénéen dans la Sierra de Guara. Contrôle tectonique de la sédimentation et instabilités gravitaires. RST, Bordeaux, 2010.
- Livre n° 68 – 13^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Dijon 2011. Résumés.

Pour commander ou consulter la mise à jour de cette liste, visitez le site web de l’association :
<http://www.sedimentologie.com>

For ordering any of these books, please visit our web site:
<http://www.sedimentologie.com>

Ce document a été imprimé par
L'Université Lille 1 – Service de Reprographie
59 655 – Villeneuve d'Ascq Cedex

ISSN 0990-3925
ISBN 2-907205-69-2

Dépôt légal : 3^{ème} trimestre 2011

LIVRE EXCURSIONS

**GÉOLOGIE DE
LA CÔTE VITICOLE
bourguignonne**

Géologie
Côtes de Nuits
Terroirs viticoles
Jurassique moyen et supérieur
Pédologie
Evolution de versant

ISSN 0996-3903
ISBN 2-907303-69-2