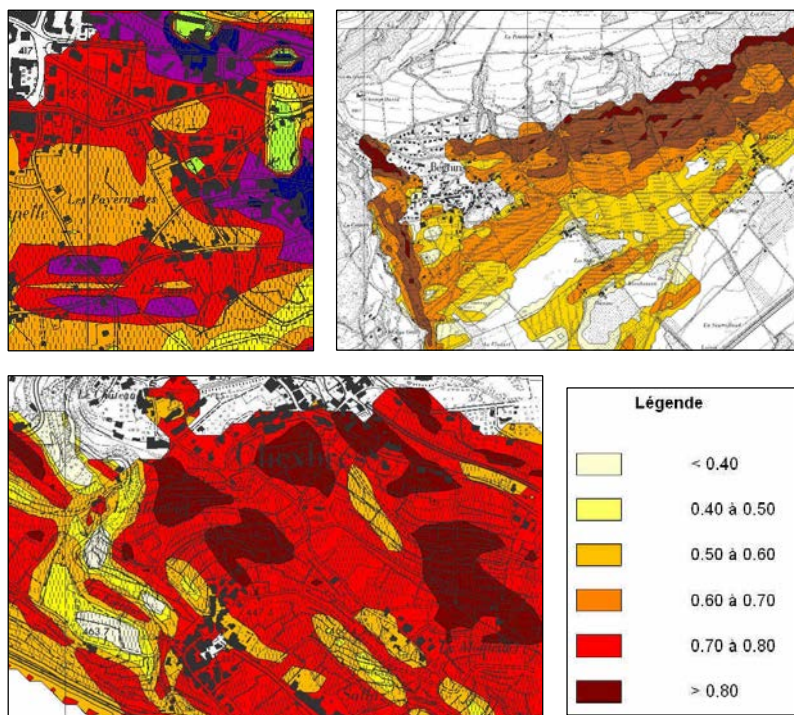


Étude des terroirs viticoles vaudois

CARTES CLIMATIQUES DU VIGNOBLE VAUDOIS

Appellation Côtes-de-l'Orbe



Laboratoire de systèmes d'information géographique – EPFL
1015 Lausanne

Projet réalisé par l'Association pour l'étude des terroirs viticoles vaudois 2000-2003
p.a. Prométerre – Office de conseil viticole

Diffusion : Prométerre, tous droits réservés

Av. des Jordils 3
CP 128
1000 Lausanne 6

Tél : 021/614.24.31
Fax : 021/614.24.04
Email : proconseil.viti@prometerre.ch

Édition avril 2004

MODÉLISATION DE PARAMÈTRES CLIMATIQUES

Karine Pythoud

Laboratoire de Systèmes d'information géographique (LASIG) - EPFL

1015 Lausanne

INTRODUCTION

L'étude des terroirs viticoles vaudois a pour but de caractériser le vignoble au niveau géopédologique et mésoclimatique. L'échelle de perception mésoclimatique est adaptée à l'appréciation de l'effet terroir, induit par la configuration spécifique de chaque portion du vignoble.

L'appréciation des conditions topographiques et géologiques de l'ensemble du vignoble et l'étude pédologique, sur la base de sondages à la tarière et de profils, ont permis de caractériser les sols viticoles du canton. De par la surface importante considérée, la caractérisation du mésoclimat n'a pas été réalisée sur la base de mesures réelles, mais au moyen de modèles permettant d'intégrer les particularités géomorphologiques du vignoble vaudois.

L'étude du comportement de la plante conduite sur un réseau d'une cinquantaine de parcelles a permis en plus de la validation de la cartographie des sols, de mener des premiers essais de validation du mésoclimat.

La définition d'unités climatiques homogènes du point de vue de la culture viticole est relativement complexe. Chaque situation du territoire est soumise à des échanges thermiques qui déterminent son mésoclimat. Ces échanges dépendent directement de paramètres tels que la radiation solaire, la pente, l'exposition, l'altitude et l'exposition aux vents.

L'indice climatique est perçu à travers le gradient thermique altitudinal théorique, la radiation solaire potentielle et l'effet du vent. Tous ces paramètres sont mesurés et enregistrés régulièrement dans des stations météorologiques du canton, mais peuvent difficilement être extrapolés à l'ensemble du territoire. L'utilisation de modèles a permis de pallier à l'impossibilité de les mesurer en chaque point du vignoble. Cette démarche a débouché sur l'élaboration d'une cartographie intégrant les variations locales recherchées.

Les variations ressenties à l'échelle des unités terroirs relèvent cependant d'effets relatifs conjoints. L'aspect climatique ne peut expliquer à lui seul des comportements différenciés de la plante. Il s'insère dans la problématique globale des terroirs, intégrant les particularités physiologiques de la vigne, les conditions pédologiques et les spécificités climatiques. Par ailleurs, cette approche par modélisation ne tient pas compte d'effets climatiques localisés tels que vents locaux, effet du fœhn ou du lac. C'est une caractérisation globale à l'échelle cantonale.

Tous les paramètres théoriques et constitutifs du mésoclimat sont dérivés du modèle numérique d'altitude (MNA25) de 25 m de résolution, mis à disposition par l'Office fédéral de topographie.

LE MÉSOCLIMAT ET SES COMPOSANTES

Le gradient thermique théorique

Théoriquement, le gradient de température est une fonction affine du gradient altitudinal. Dans nos régions, la température relative diminue en moyenne de 0.65°C par 100 mètres de dénivelé. L'altitude est donc un très bon indicateur de la tendance générale de la température, sauf dans les situations en cuvette qui sont, à altitude égale, plus froides. Le gradient thermique théorique est modélisé à l'aide du MNA25. Du fait que le modèle mésoclimatique fonctionne avec des grandeurs normalisées, le gradient thermique théorique dépend donc uniquement de l'altitude de chaque point. Chaque maille est ainsi affectée d'une température relative directement proportionnelle à son altitude.

Ce modèle a cependant des limites. Les effets micro-climatiques liés entre autres aux pratiques culturales ne sont pas intégrés, tout comme les mouvements thermiques, le brassage des masses d'air par le vent et le réchauffement des rangs à proximité des grands murs dans les zones de terrasses.

Le rayonnement ou énergie solaire reçue

Du point de vue des potentialités climatiques, le rayonnement est un des paramètres importants de la définition d'entités mésoclimatiques homogènes.

Sa quantification indicative sera déduite indirectement de la radiation globale potentielle. A l'échelle du globe, le gradient latitudinal de l'insolation provient de la géométrie de la rotation de la terre autour du soleil. A l'échelle du paysage, la topographie est le facteur déterminant dans la distribution de l'ensoleillement. La variabilité altitudinale, l'orientation des surfaces (pente et orientation) et l'ombre projetée par le relief proche ou lointain engendrent des variabilités locales du rayonnement. Selon la saison et l'heure, le rayonnement solaire direct est maximum à une pente et une exposition données.

Le territoire suisse comporte plusieurs stations de mesure du rayonnement solaire, la plupart du temps couplées à des stations météorologiques. Le canton de Vaud en comporte 4, Changins, Pully, Aigle et Payerne. Ces données de rayonnement, représentatives des conditions locales des stations, sont fournies depuis 1978. L'extrapolation des valeurs à l'ensemble du territoire n'est pas envisageable sans tenir compte des conditions topographiques et géomorphologiques locales. Les modèles de calcul du rayonnement solaire potentiel représentent les seules solutions susceptibles d'intégrer plus précisément sa variation temporelle et spatiale à l'échelle du paysage.

Le modèle utilisé, exploité par le logiciel *Solar Analyst*, calcule l'ensoleillement pour une région donnée à partir d'un modèle numérique de terrain. Il fournit les cartes de la radiation globale, directe et diffuse exprimée en joules par m² (ou watt-heure par m²) pour n'importe quelle durée (instantanée, journalière, mensuelle,...). Le seul paramètre nécessaire à connaître, outre le modèle numérique de terrain, est la latitude moyenne de la zone géographique. Les périodes de calcul de l'énergie ont été choisies en fonction de la phénologie de la vigne. Elles devaient être suffisamment restreintes pour que les comparaisons soient pertinentes. On est parti du principe que le rayonnement potentiel aux alentours des dates critiques était déterminant dans le développement physiologique de la vigne. Les périodes définies sont:

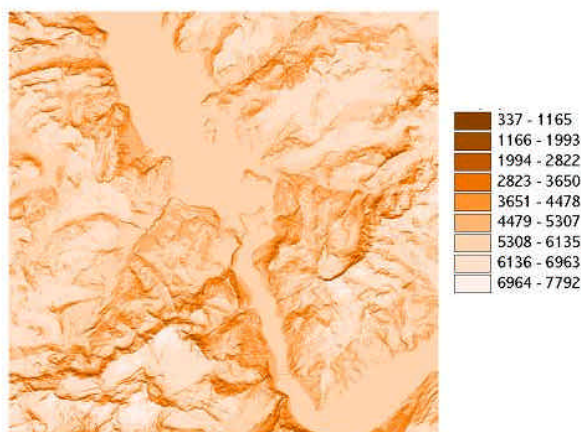
- 5 au 25 avril (période de débourrement)
- 5 au 25 juin (période de floraison)
- 1 au 20 août (période de véraison)

- 1 au 30 septembre (période de maturation)

La radiation sur l'ensemble de la période de végétation a également été calculée.

La figure ci-dessous donne une représentation graphique résultant du modèle *Solar Analyst*, sur un extrait du MNA25 dans la région de Bex (Chablais vaudois). L'image correspond aux valeurs de radiation potentielle journalière.

Radiation globale pour la région étendue de Bex
[Wh/m²]



Extrait du modèle de rayonnement (Radiation potentielle journalière)

Les calculs réalisés ont permis de connaître pour chaque période considérée le rayonnement global potentiel indicatif pour l'ensemble des zones viticoles du canton de Vaud en Wh/m², sans tenir compte de la couverture nuageuse. Les cartes établies fournissent donc des indications quant à l'énergie potentielle maximale que peut recevoir une parcelle, compte tenu de la période considérée et de sa situation (pente, orientation), sans se préoccuper des véritables conditions météorologiques, qui ne peuvent qu'atténuer les valeurs potentielles résultantes.

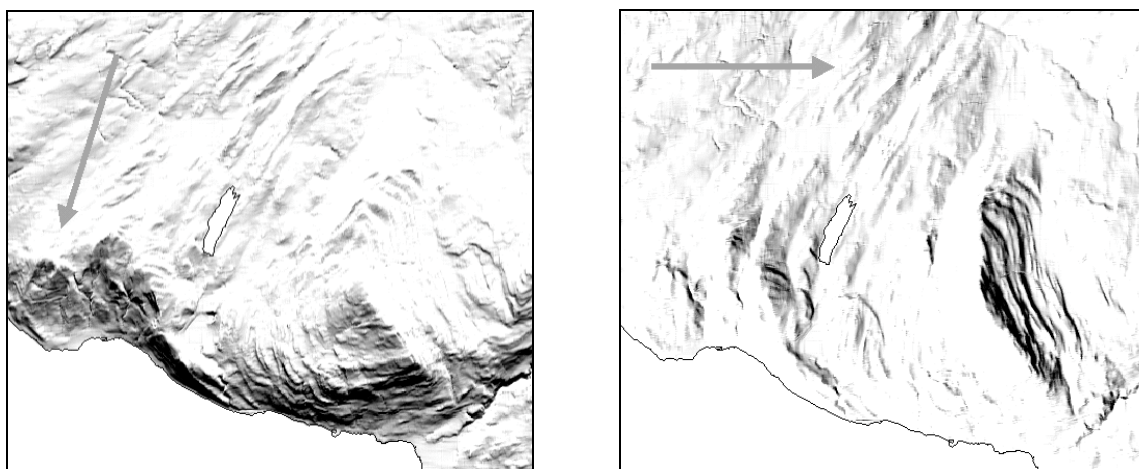
Indice de protection aux courants dominants

L'effet du vent sur les variables mésoclimatiques des parcelles est indéniable. La température est en partie dépendante de l'exposition aux courants, par l'effet favorable reconnu dans les zones abritées du vent. Bien connus la plupart du temps des viticulteurs, ces phénomènes mésoclimatiques restent des paramètres complexes à quantifier. L'exposition au vent influence les échanges thermiques au voisinage des pieds de vignes, la sensibilité aux maladies fongiques et aux dangers de gel printanier.

Les cartes d'Haeberli [1966-1970] établies en relevant la déformation de la couronne des arbres donnent une grandeur indicative des courants locaux dominants (direction et intensité). L'échelle de restitution de ce document [$\approx 1 : 3'000'000$] n'est toutefois pas adaptée aux besoins du projet; elle a cependant l'avantage de définir les directions préférentielles des courants présents dans les vignes.

L'approche suivie pour la modélisation de l'exposition aux courants est celle de l'ombrage. Connaissant les directions préférentielles de courants données par la carte d'Haeberli, les zones soumises à l'action du vent sont modélisées grâce aux fonctions d'ombrages intégrées dans la plupart des logiciels d'analyse spatiale. Elles créent l'ombre d'un rayonnement solaire fictif qui agit sur le relief pour en faciliter sa représentation. Dans notre cas, il ne s'agit pas de rayonnement solaire mais bien d'un courant défini par une direction horizontale (azimut) et

un angle vertical. Un vent d'ouest sera représenté par l'azimut 270° et une inclinaison de 30° environ. Les résultats de deux tests effectués sur la région de Lavaux sont présentés ci-dessous. Plus une zone est protégée par rapport aux courants dominants, plus elle apparaît foncée.



Résultats de l'ombrage du MNA dans deux directions de vents connus (bise et vent d'ouest)

Sur la base de la carte empirique de déformation de la couronne des arbres, les zones viticoles sont découpées en zones d'exposition homogène. Les directions préférentielles de chacune ont été transformées en paramètres caractérisant l'ombrage correspondant.

Niveaux thermiques de Schreiber

Les relevés des stades phénologiques effectués par K.-F. Schreiber entre 1962 et 1964 ont abouti à la création de la carte des niveaux thermiques au printemps du canton de Vaud. Basée sur la floraison de différentes espèces végétales, elle fournit les niveaux thermiques relatifs et les possibilités d'exploitation agricole. Elle a été établie à l'échelle 1:100'000. Pour l'étage de la vigne, le découpage est fait en trois zones (assez chaud, chaud, très chaud). Bien que l'échelle de restitution au 1:100'000 soit peu adaptée à l'étude du mésoclimat, cette cartographie reste intéressante et sert de référence dans la modélisation des paramètres mésoclimatiques à plus grande échelle.

Indice climatique modélisé

Le modèle du mésoclimat utilisé se réfère à un indice climatique résultant d'une combinaison du gradient thermique altitudinal théorique, de l'effet du vent (protection aux courants dominants) et de l'ensoleillement (rayonnement solaire). Jusqu'à présent, celui-ci était estimé de manière grossière par la graduation thermique du canton présentée par Schreiber. Cette référence est sans doute significative du point de vue temporel mais trop générale pour évaluer le mésoclimat à l'échelle de quelques parcelles. Il est donc nécessaire de prendre en compte des informations à plus grande échelle. La carte des niveaux thermiques de Schreiber intervient alors dans notre démarche pour estimer les poids respectifs des trois facteurs retenus. La pluviométrie qui joue un rôle parallèle et complémentaire, n'est pas intégrée à l'indice.

Chacun des paramètres précédemment modélisés est réduit à la zone du vignoble, à l'aide d'une extraction de grille sur la base de la délimitation des zones de vignes (données numériques cantonales), puis normalisé. Les valeurs extrêmes se retrouvent en effet fréquemment en dehors des zones viticoles, et cachent ainsi les écarts localisés, plus

intéressants du point de vue de la caractérisation du vignoble. Sur la base de ces trois paramètres modélisés, un indice climatique a été défini de la manière suivante:

$$I = a*T + b*R + c*V$$

I = indice climatique modélisé

R = rayonnement potentiel

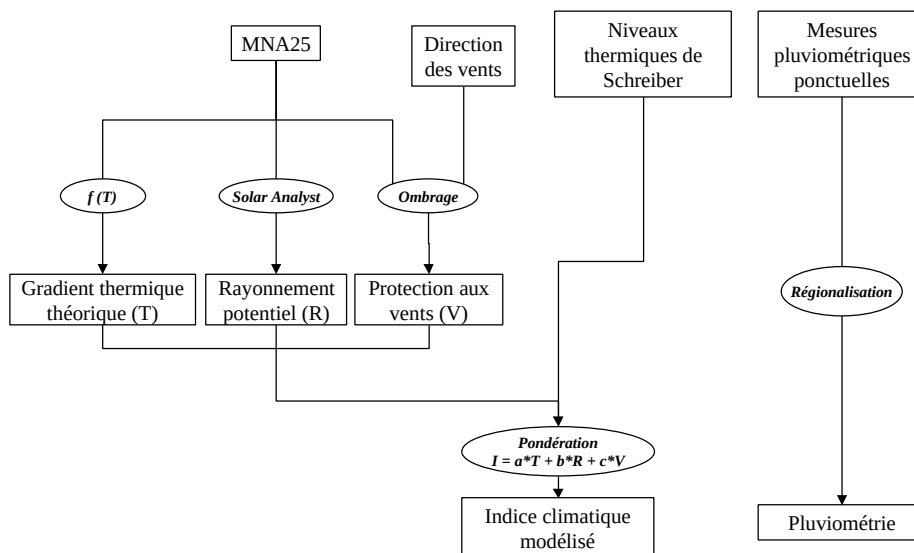
T = gradient thermique théorique

V = protection aux vents

La carte des niveaux thermiques de Schreiber est ensuite utilisée pour estimer les facteurs de pondération a, b et c de l'équation ci-dessus et permet d'établir ainsi la carte résultante qui s'ajuste au mieux à la cartographie existante. Le modèle suivant a été retenu:

$$I = 0.5*T + 0.35*R + 0.15*V$$

La méthode utilisée pour caractériser le mésoclimat du vignoble du canton de Vaud peut être synthétisée dans le schéma ci-dessous:



Méthode de caractérisation du mésoclimat viticole vaudois

La pluviométrie

La pluviométrie est le dernier paramètre important du point de vue climatique dans la définition d'unités terroir homogènes. Les données pluviométriques proviennent des stations de mesure du réseau Météosuisse, dont une trentaine sont disponibles aux environs du vignoble vaudois. Le réseau fournit des données météorologiques depuis plus d'un siècle pour certaines d'entre elles. La Station fédérale de recherches agronomiques de Changins a synthétisé les données mensuelles moyennes sur 30 ans pour chaque station de la Suisse romande. Les stations de mesures ont été référencées de manière à spatialiser l'information mensuelle. Dans le cadre de l'étude, les stations d'intérêt, représentatives du vignoble, sont situées dans des zones climatiques comparables à faible altitude. La modélisation de la pluviométrie sur les reliefs environnants n'apportent aucun intérêt. L'interpolation des valeurs des stations pluviométriques à l'ensemble du vignoble peut dans ce cas se faire au moyen de modèles relativement simples. Les stations pluviométriques trop éloignées géographiquement ou situées à des altitudes trop élevées ont été exclues du réseau pour le calcul. L'interpolation

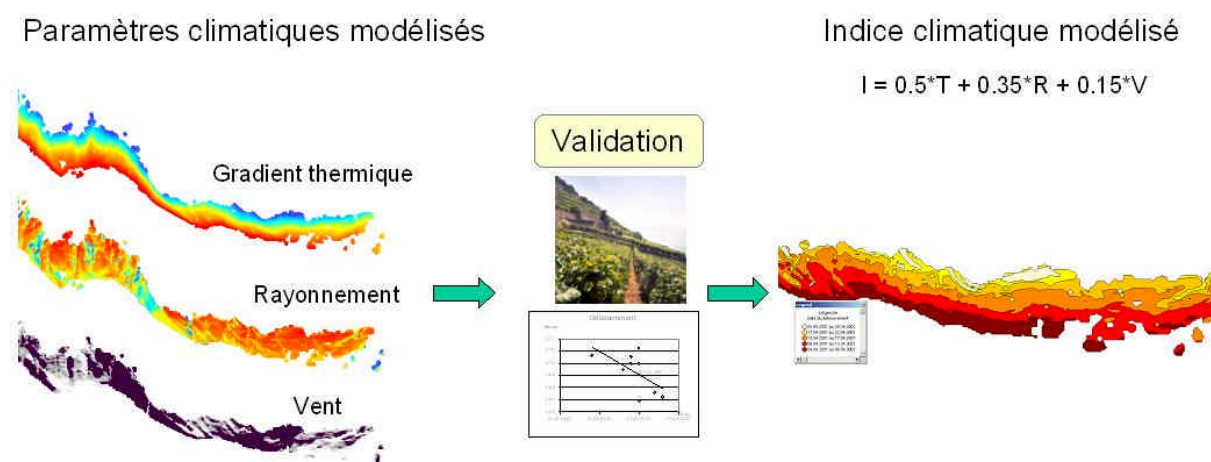
entre les valeurs ponctuelles (précipitations mensuelles moyennes sur 30 ans) a été réalisée à l'aide de la méthode du plus proche voisin. Compte tenu du cycle végétatif de la vigne, la procédure a été appliquée mensuellement pour tous les mois entre avril et septembre. Quatre cartes d'intérêt du point de vue du cycle végétatif ont été retenues et insérées dans le présent document.

La cartographie de la pluviométrie montre des différences régionales marquées, mais ne peut être utilisée comme élément comparatif à l'échelle de la parcelle. Les données pluviométriques sont des variables indépendantes au même titre que les résultats de synthèse de l'indice climatique.

DISCUSSION ET SYNTHESE

Les variations mésoclimatiques, en grande partie responsables des comportements particuliers de la culture, restent difficiles à modéliser. L'approche utilisée ne permet pas d'intégrer les variations mésoclimatiques à l'échelle de la parcelle, mais apporte cependant un découpage relativement précis à l'échelle du vignoble. Le résultat obtenu reste relatif et très lié à la précision du modèle numérique MNA25. On sait d'avance que dans les zones escarpées ou topographiquement marginales, un point tous les 25 mètres ne suffit pas à décrire correctement le relief réel. C'est le cas en particulier des zones de terrasses (Lavaux, Aigle-Yverne). Dans ces régions, une correction de la pente naturelle des coteaux a été nécessaire de manière à prendre en compte l'effet de la pente artificielle créée par les terrasses sur l'ensoleillement réel des parcelles de vignes. Cette correction n'a pas pu être réalisée sur la totalité des vignes en terrasses ou en terrain accidenté, en particulier lorsqu'elle concernait des surfaces relativement marginales. Bien que le calcul du rayonnement potentiel reste basé sur des modèles de calcul, les résultats obtenus sont prometteurs, et jugés corrects pour le calcul de l'indice climatique.

La combinaison des différents paramètres normalisés aboutit à un zonage climatique apportant une meilleure connaissance des terroirs. Différents essais de validation avec des mesures sur la plante ont mis en évidence des corrélations entre les paramètres mésoclimatiques et le comportement agronomique de la vigne (débourrement, maturation).



Essais de validation: Indice climatique et mesures sur la plante

Concernant la répartition pluviométrique, le zonage montre une variabilité assez forte en particulier dans les zones proches du relief préalpin.

Le stress hydrique de la vigne est lié au sol et au climat. Concernant le climat, l'évapotranspiration de la vigne qui conditionne le facteur de stress, dépend de la radiation solaire, de la température et de la ventilation. La méthodologie retenue pour l'étude des terroirs viticoles du canton de Vaud est par conséquent bien adaptée à la caractérisation des conditions générales régulant le comportement de la plante.

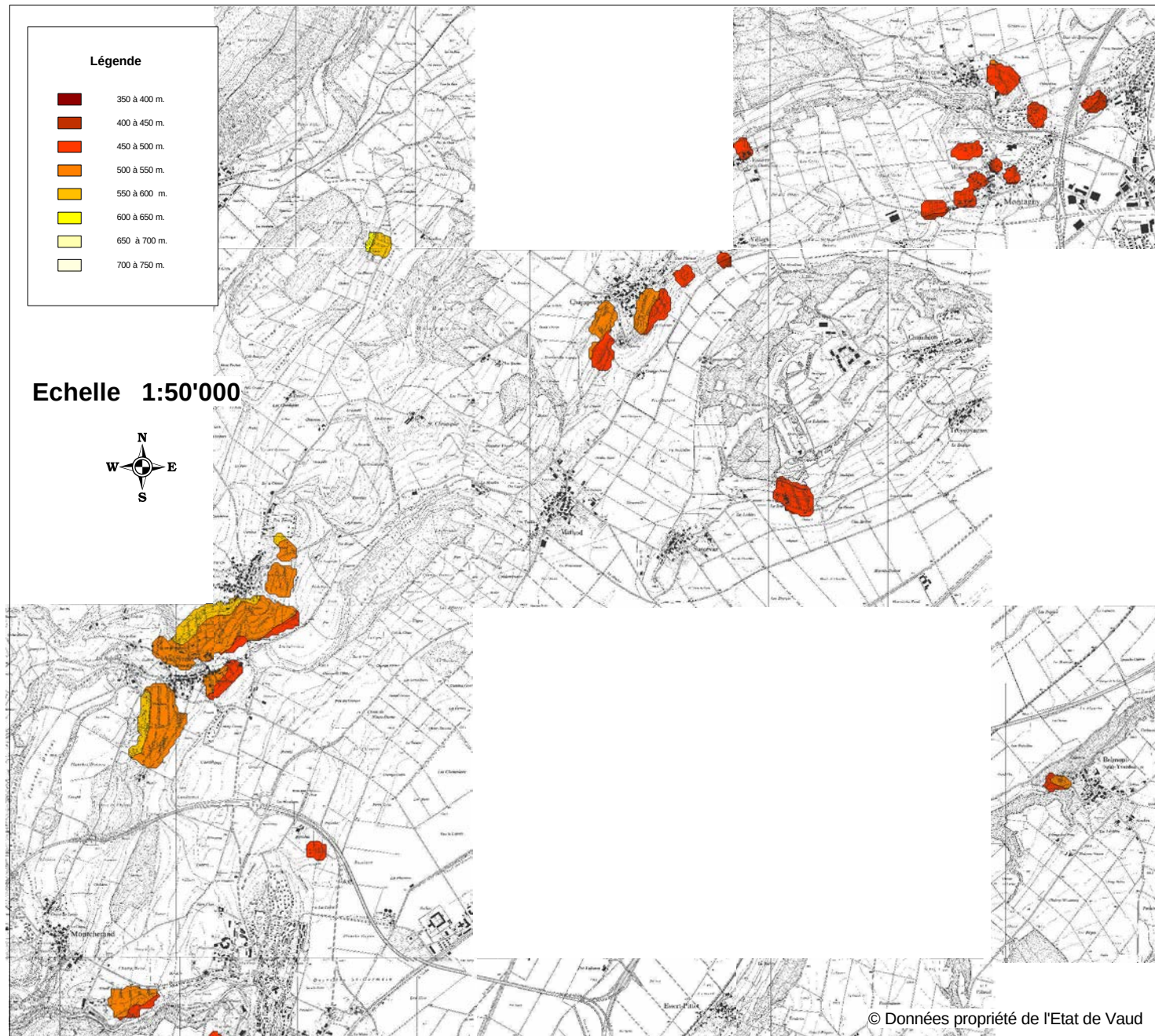
LISTE DES CARTES CLIMATIQUES

- Altitude du vignoble
- Pentes du vignoble
- Orientations des pentes
- Rayonnement solaire potentiel du 5 au 25 avril
- Rayonnement solaire potentiel du 5 au 25 juin
- Rayonnement solaire potentiel du 1 au 20 août
- Rayonnement solaire potentiel du 1 au 30 septembre
- Rayonnement solaire cumulé du 1 avril au 30 septembre
- Indice de protection aux courants dominants
- Niveaux thermiques au printemps, numérisés sur la base de la cartographie de Schreiber
- Indice climatique modélisé (avril)
- Indice climatique modélisé (avril-septembre)
- Pluviométrie moyenne de juillet
- Pluviométrie moyenne de juillet-août
- Pluviométrie moyenne d'avril à septembre
- Pluviométrie annuelle moyenne

La mention "*à Données propriétés de l'État de Vaud*" présente sur l'ensemble des cartes du dossier climatique doit être lue comme "*Établi sur la base des données cadastrales*".

Altitude du vignoble

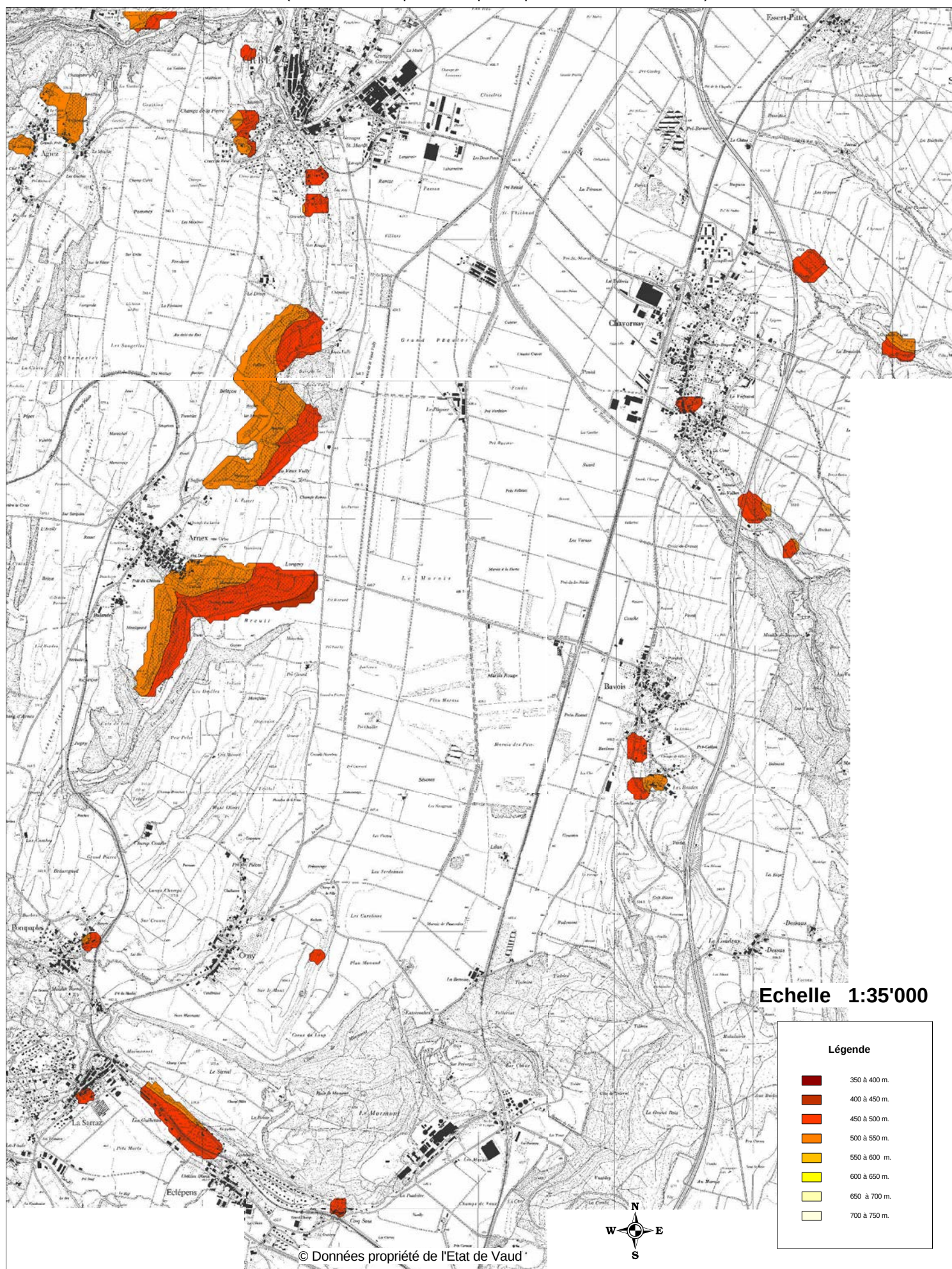
Remarque: une élévation de 100 m. d'altitude correspond à une diminution de température de 0.65°C (Gradient thermique climatique du plateau suisse selon l'ISM)



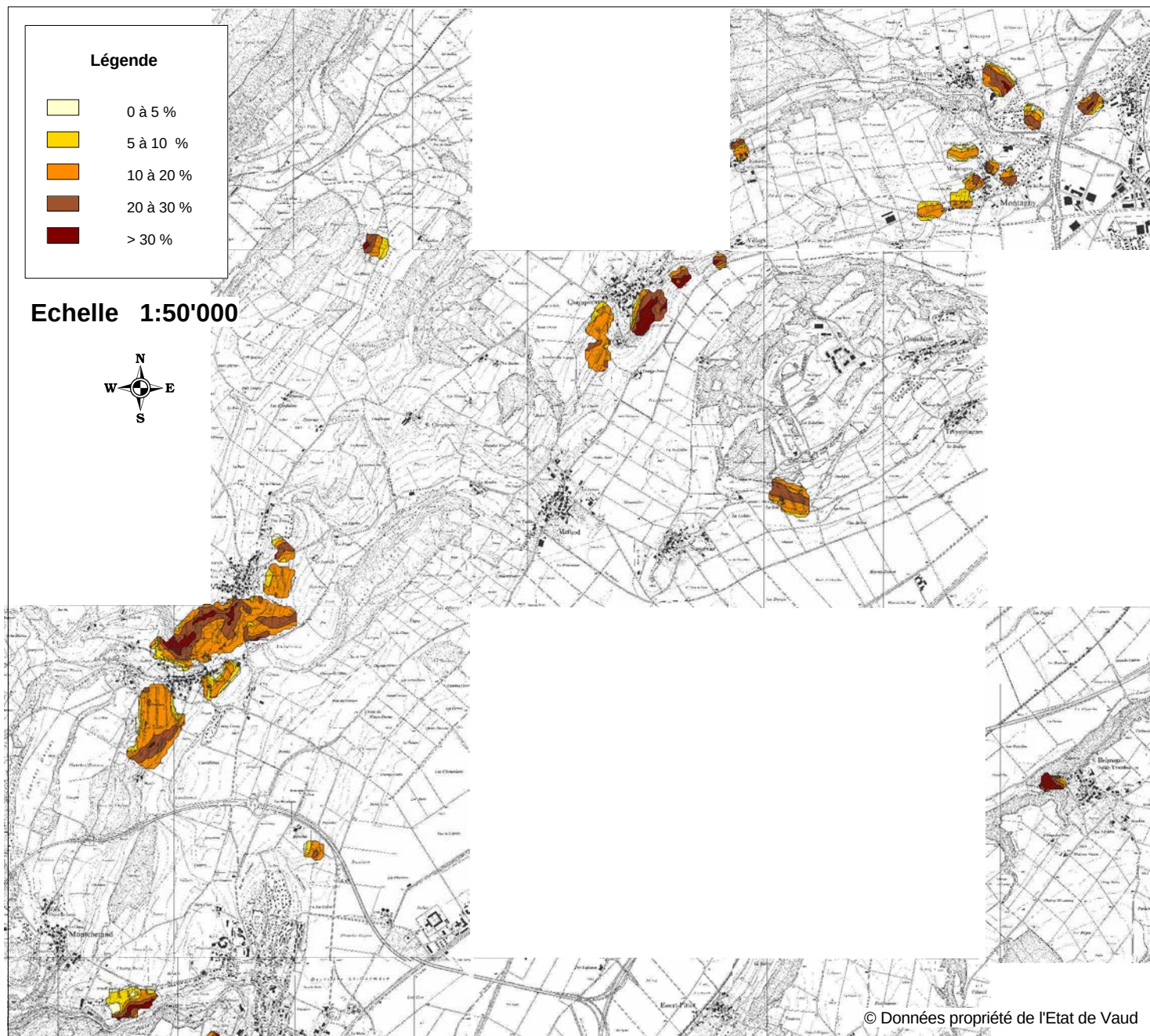
Altitude du vignoble

Appellation des Côtes-de-l'Orbe
(Partie sud)

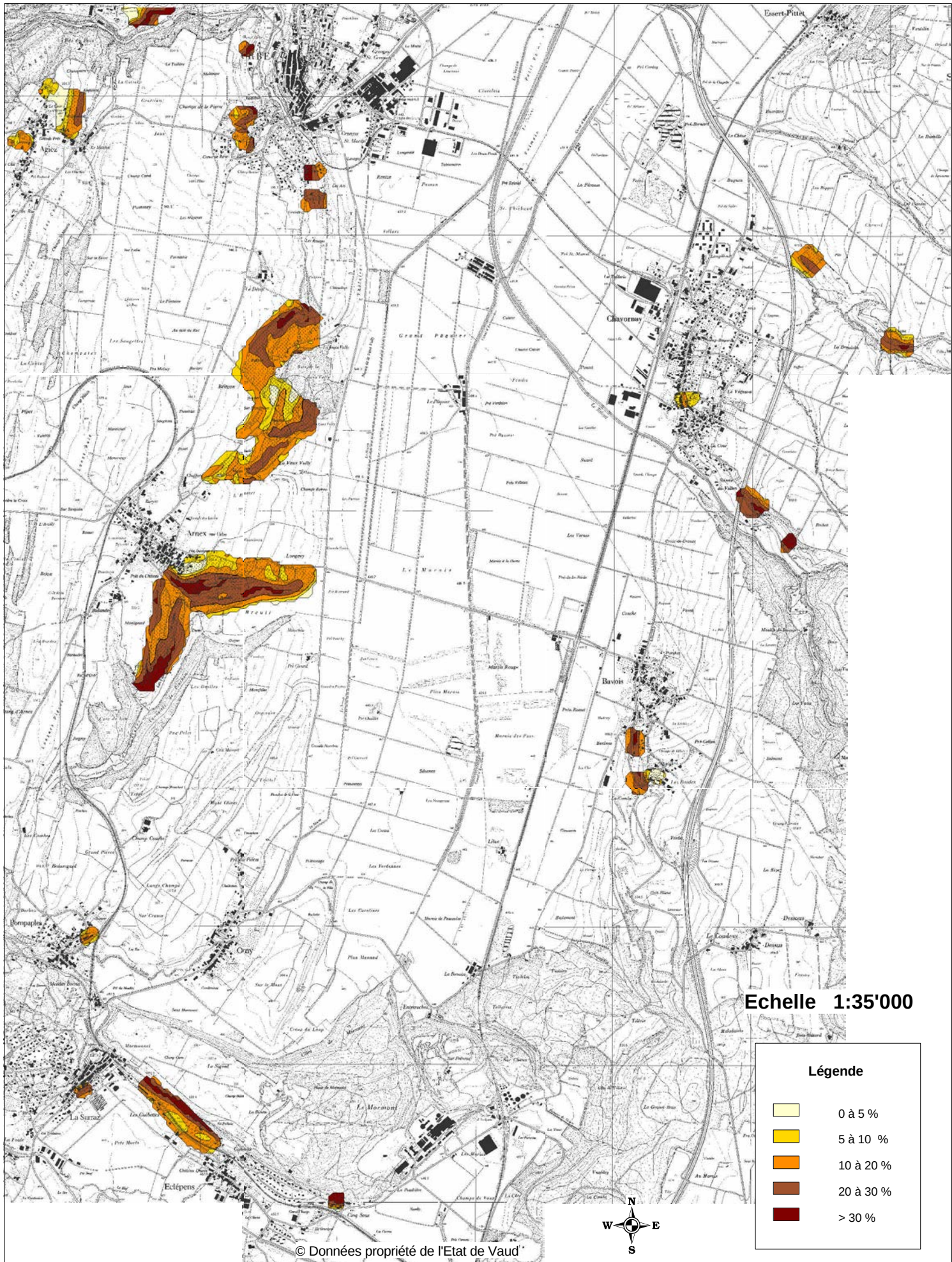
Remarque: une élévation de 100 m. d'altitude correspond à une diminution de température de 0.65°C
(Gradient thermique climatique du plateau suisse selon l'ISM)



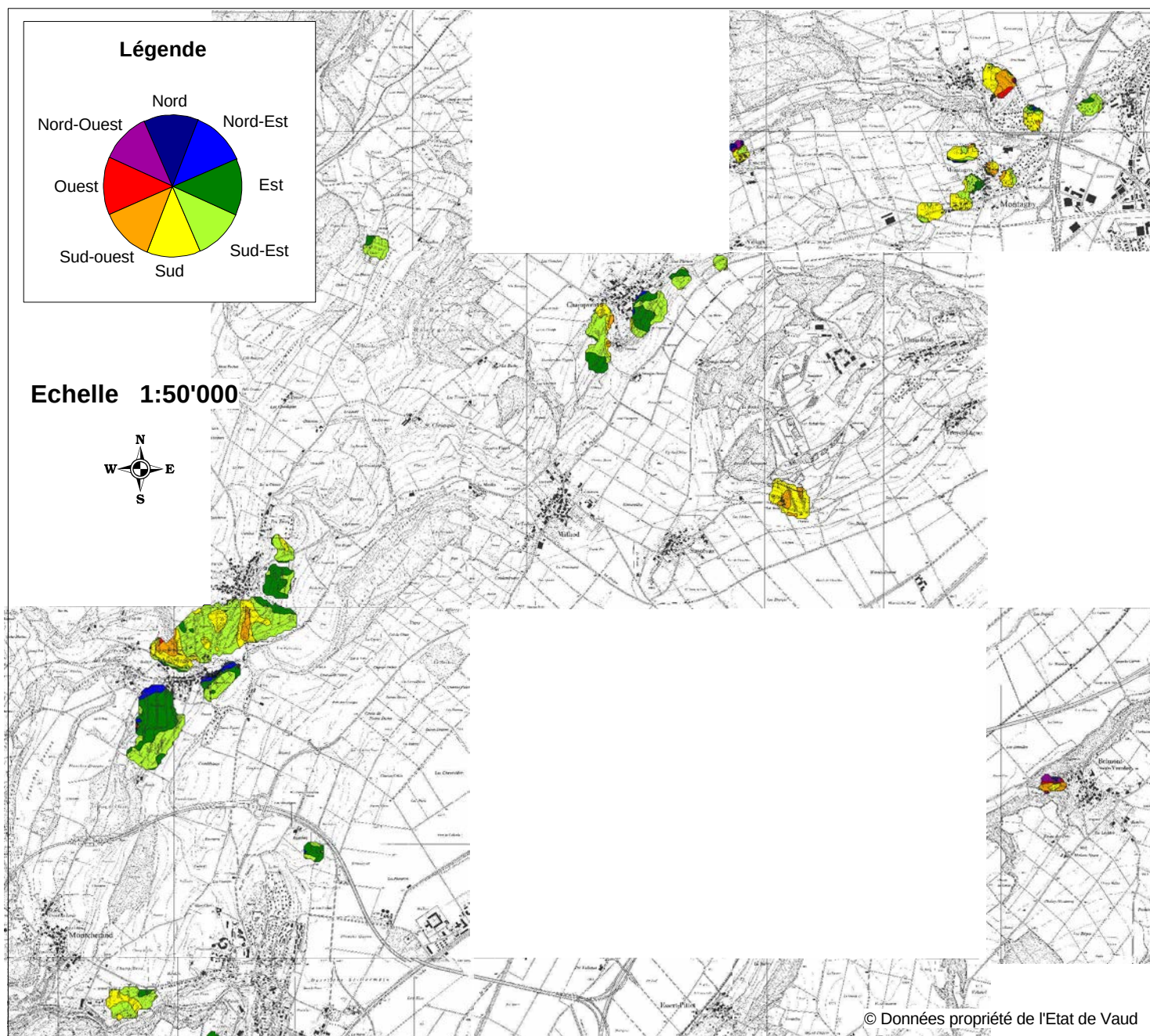
Pentes du vignoble



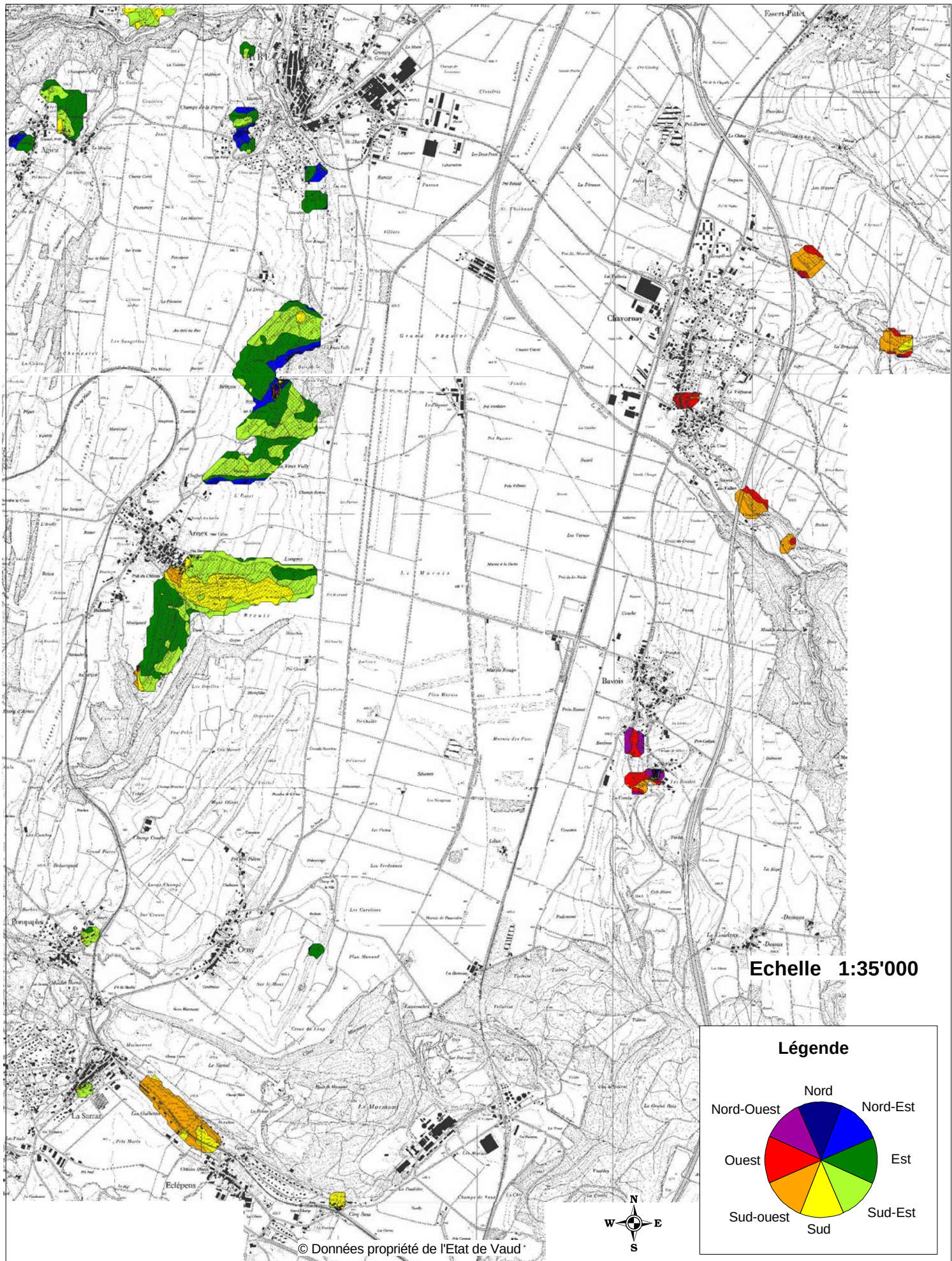
Pentes du vignoble



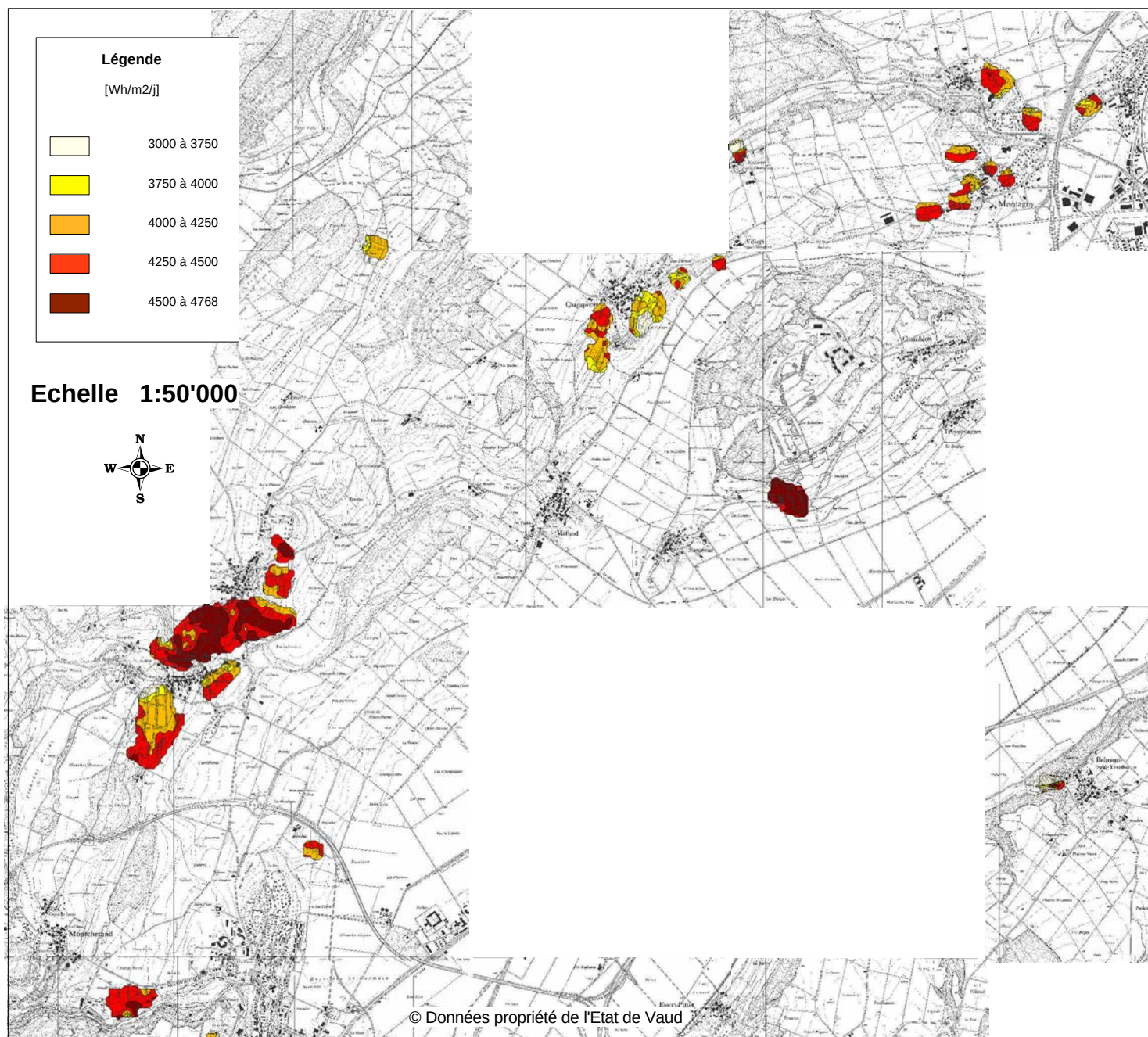
Orientations des pentes



Orientations des pentes

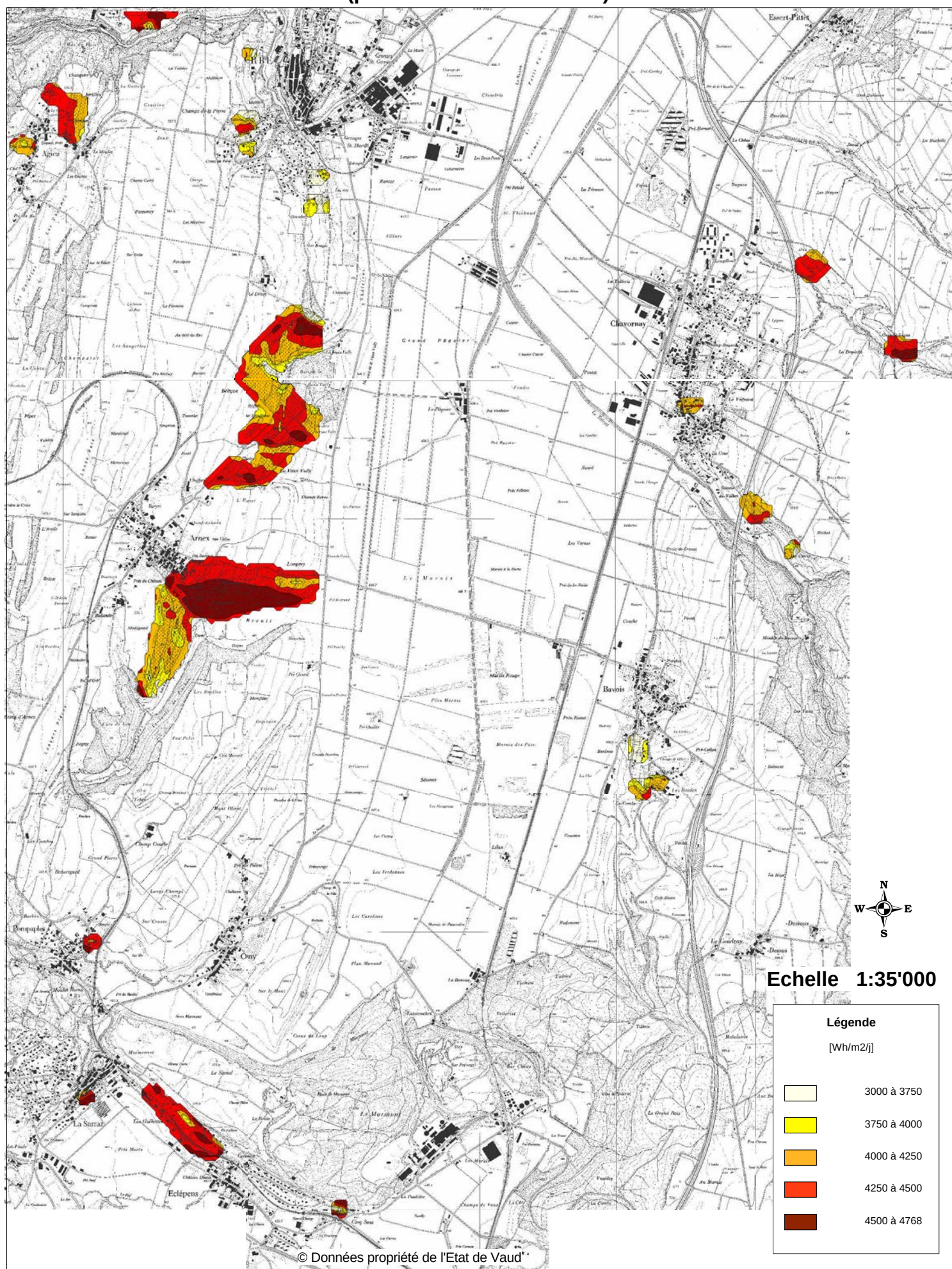


Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 5 au 25 avril (période du débourrement)

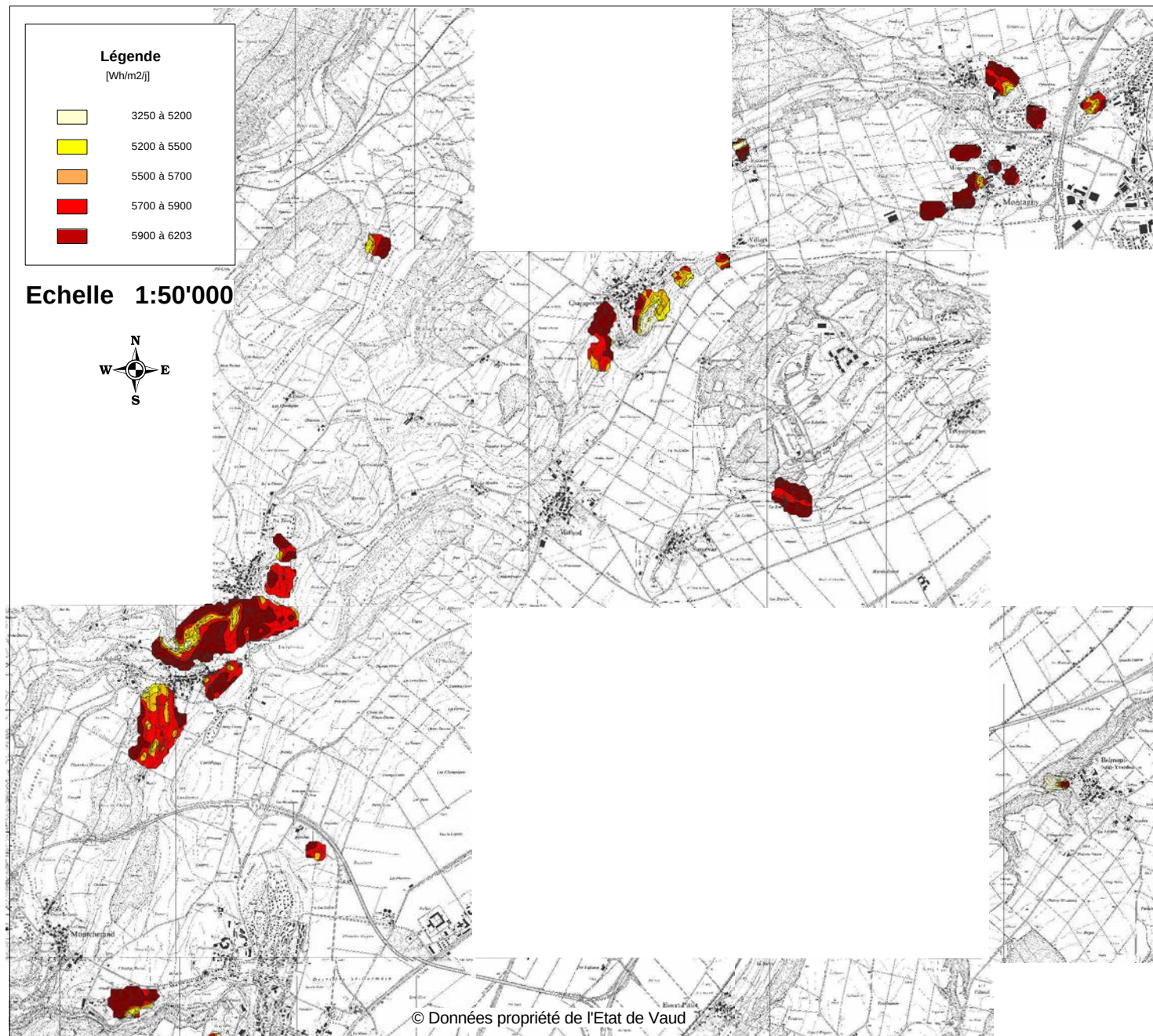


Appellation des Côtes-de-l'Orbe
(Partie nord)

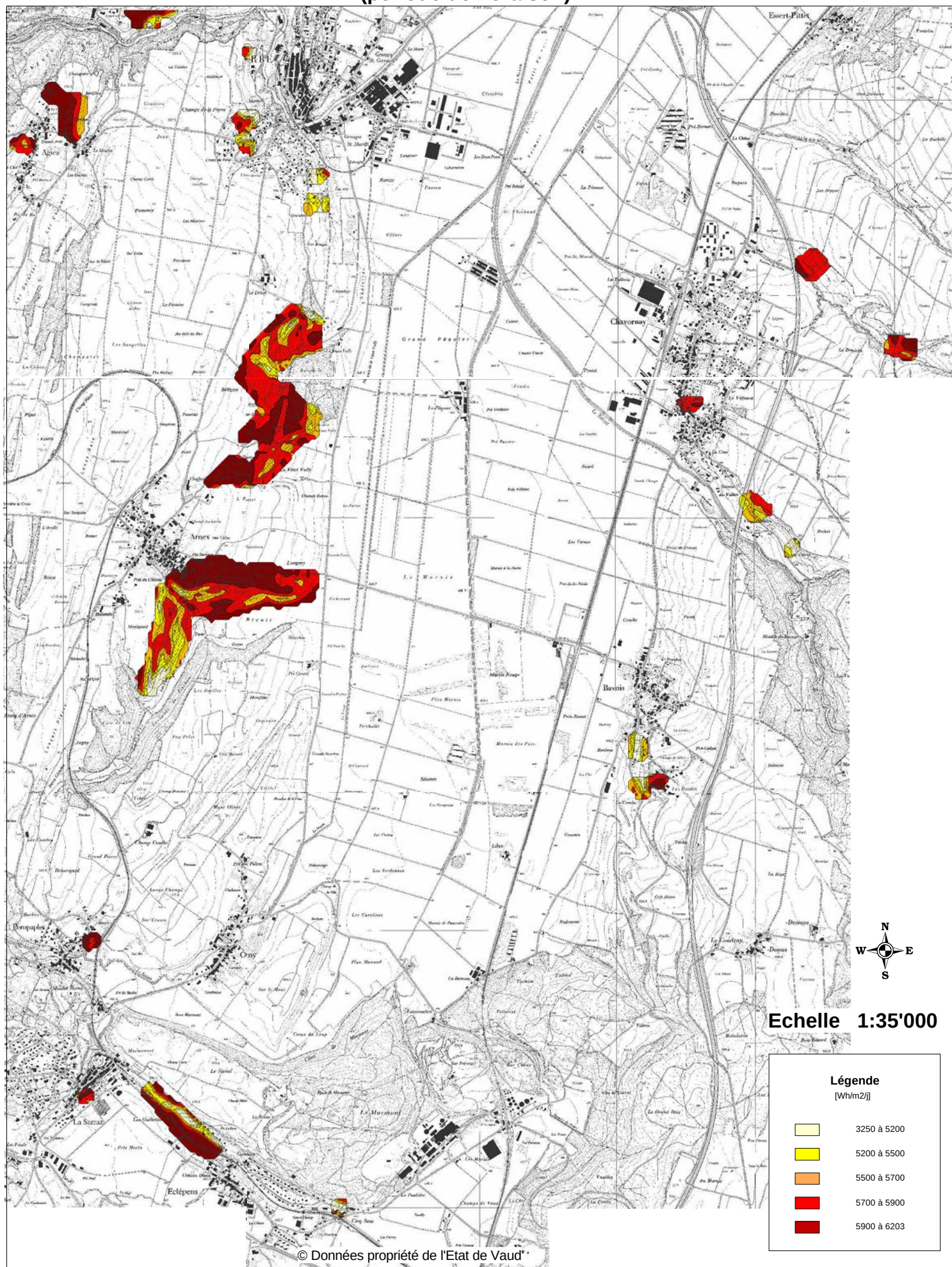
Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 5 au 25 avril (période du débourrement)



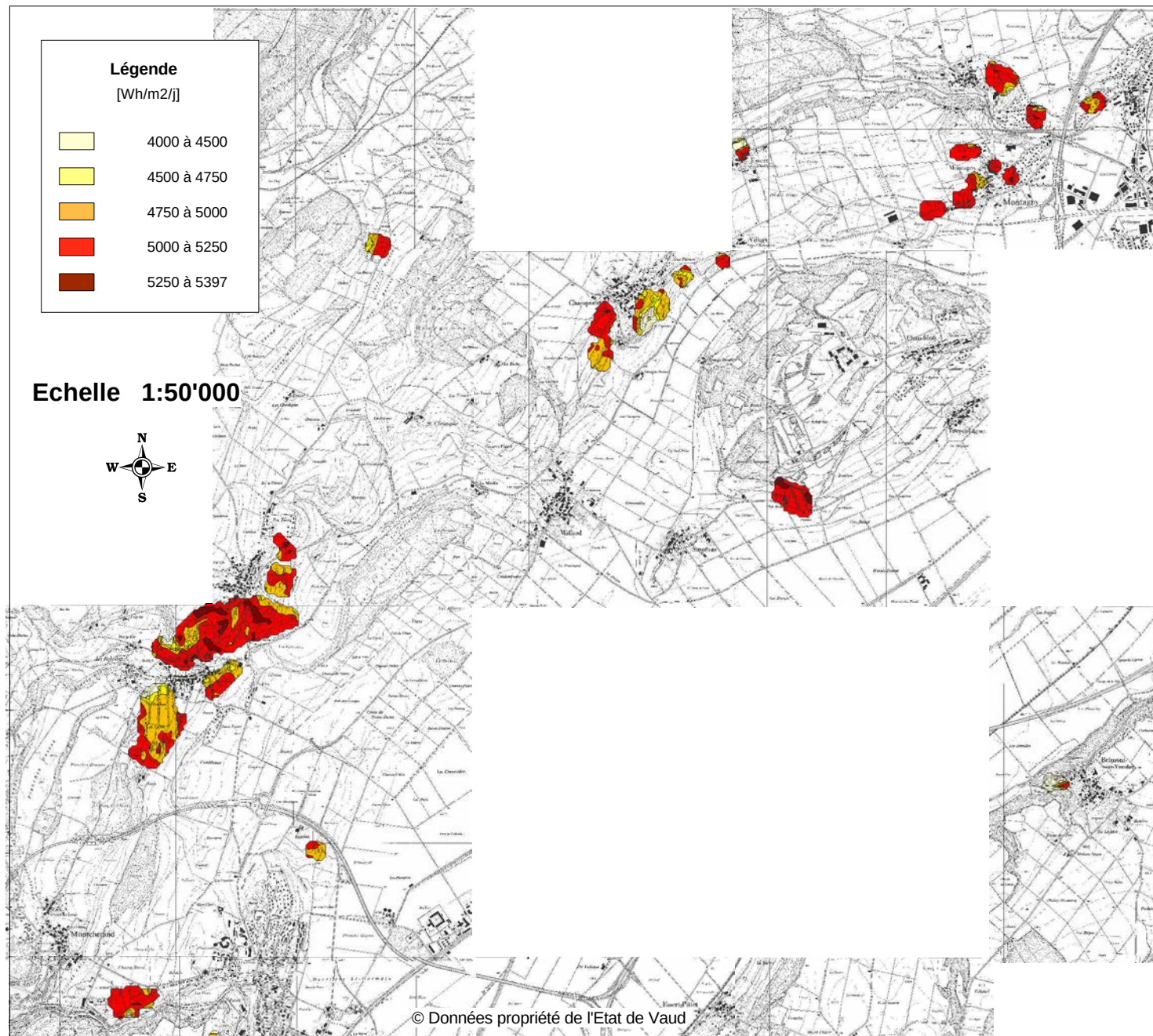
Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 5 au 25 juin (période de floraison)



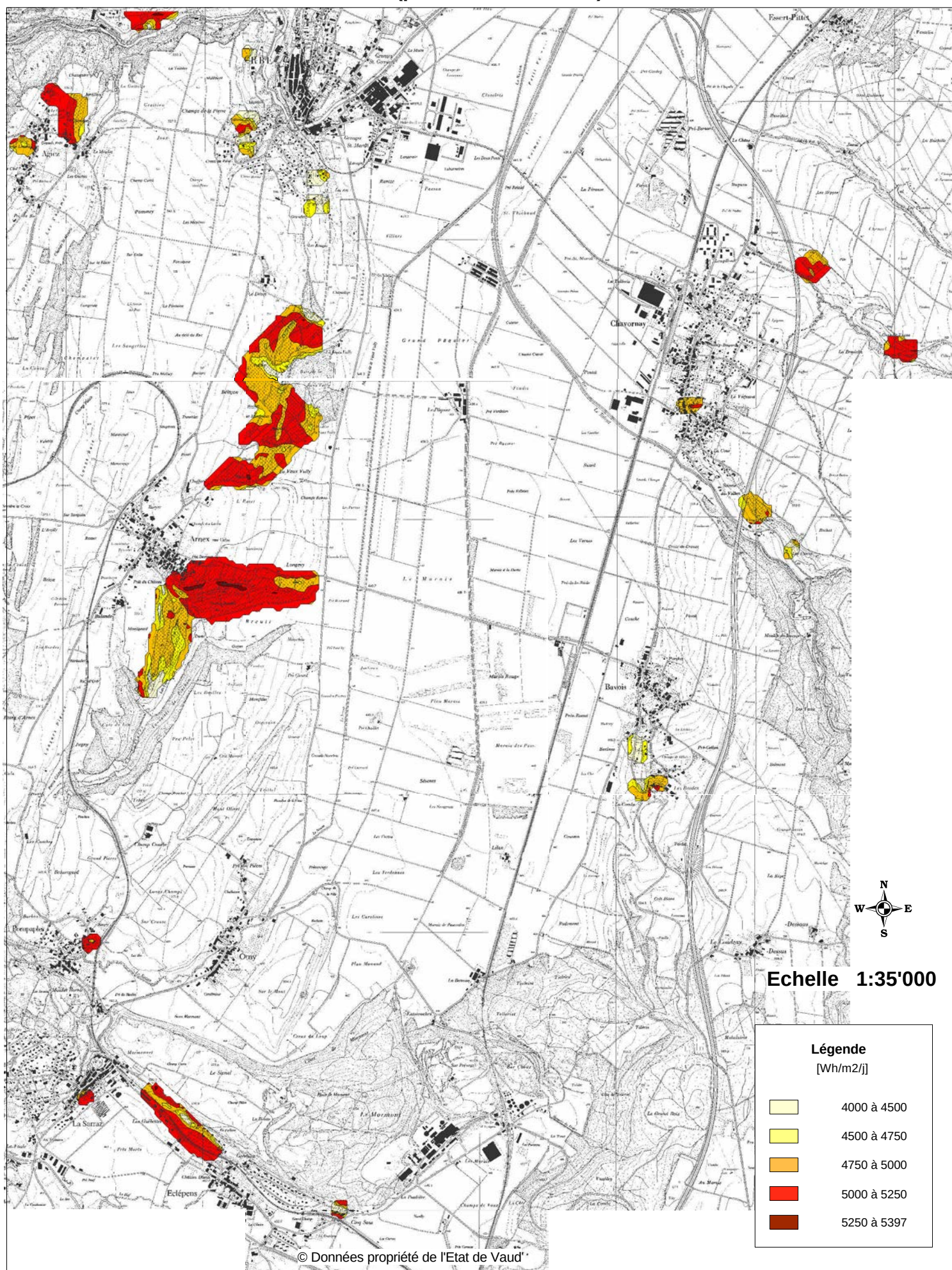
Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 5 au 25 juin (période de floraison)



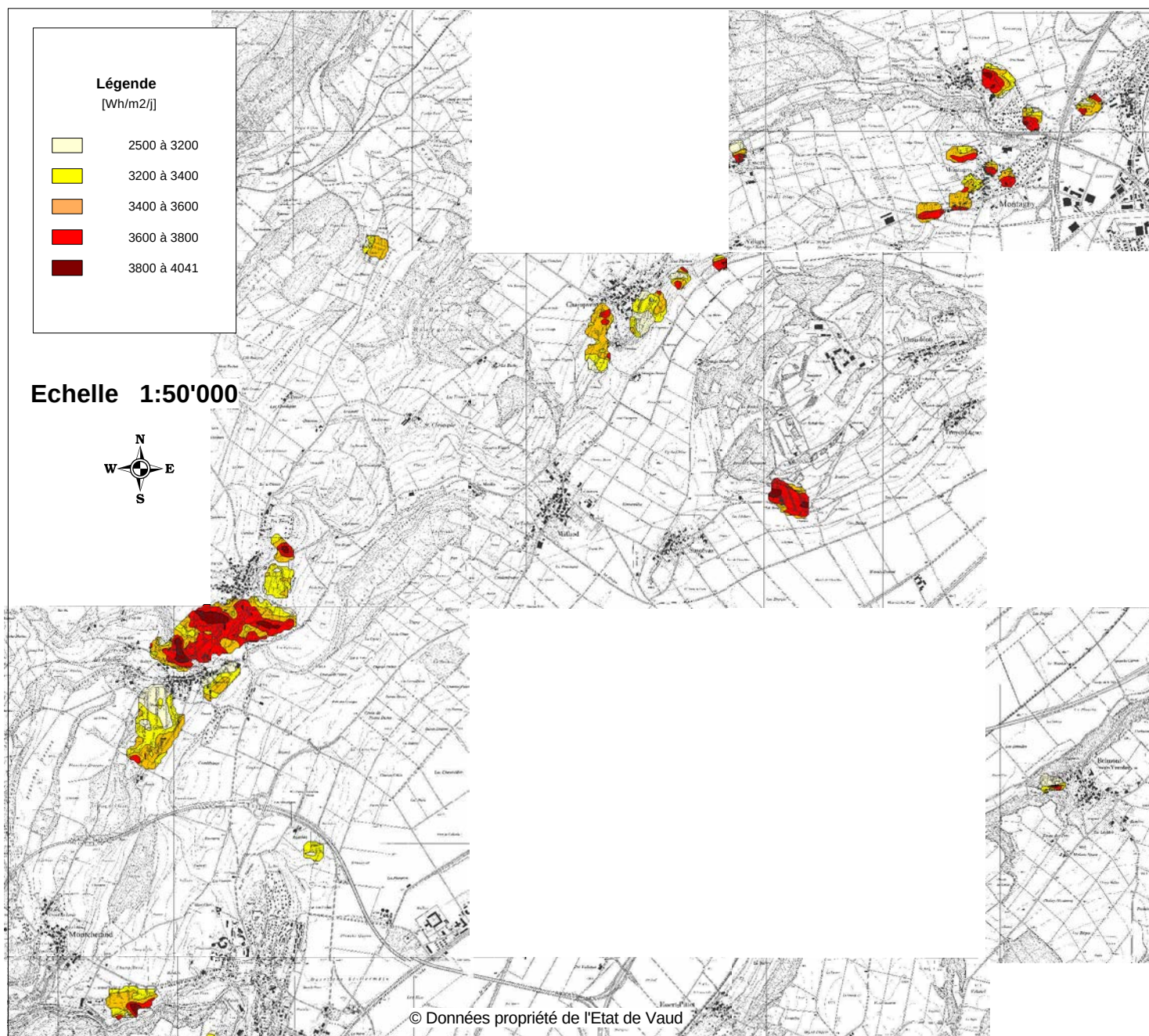
Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 1 au 20 août (période de véraison)



Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 1 au 20 août (période de véraison)



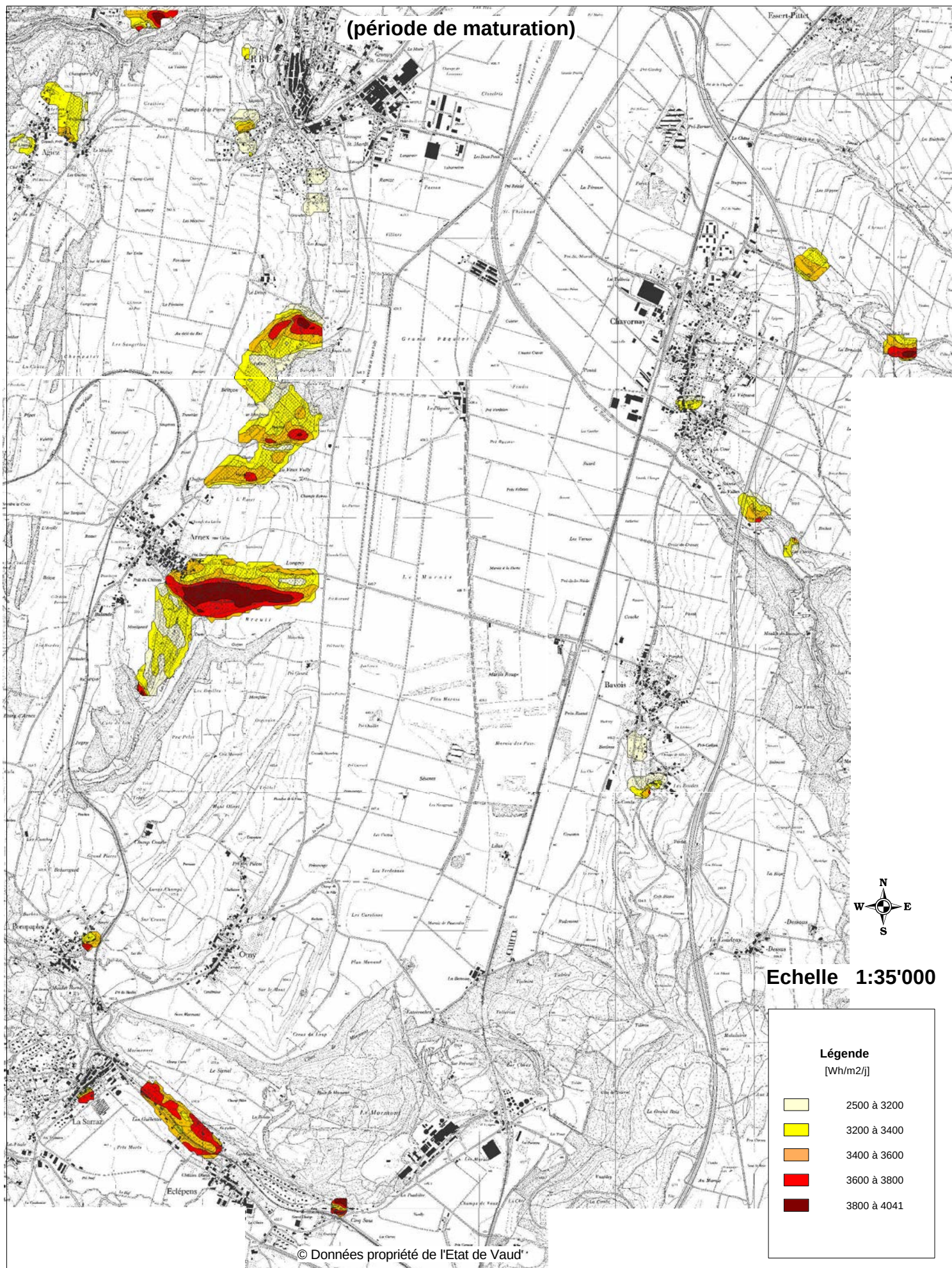
Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 1 au 30 septembre (période de maturation)



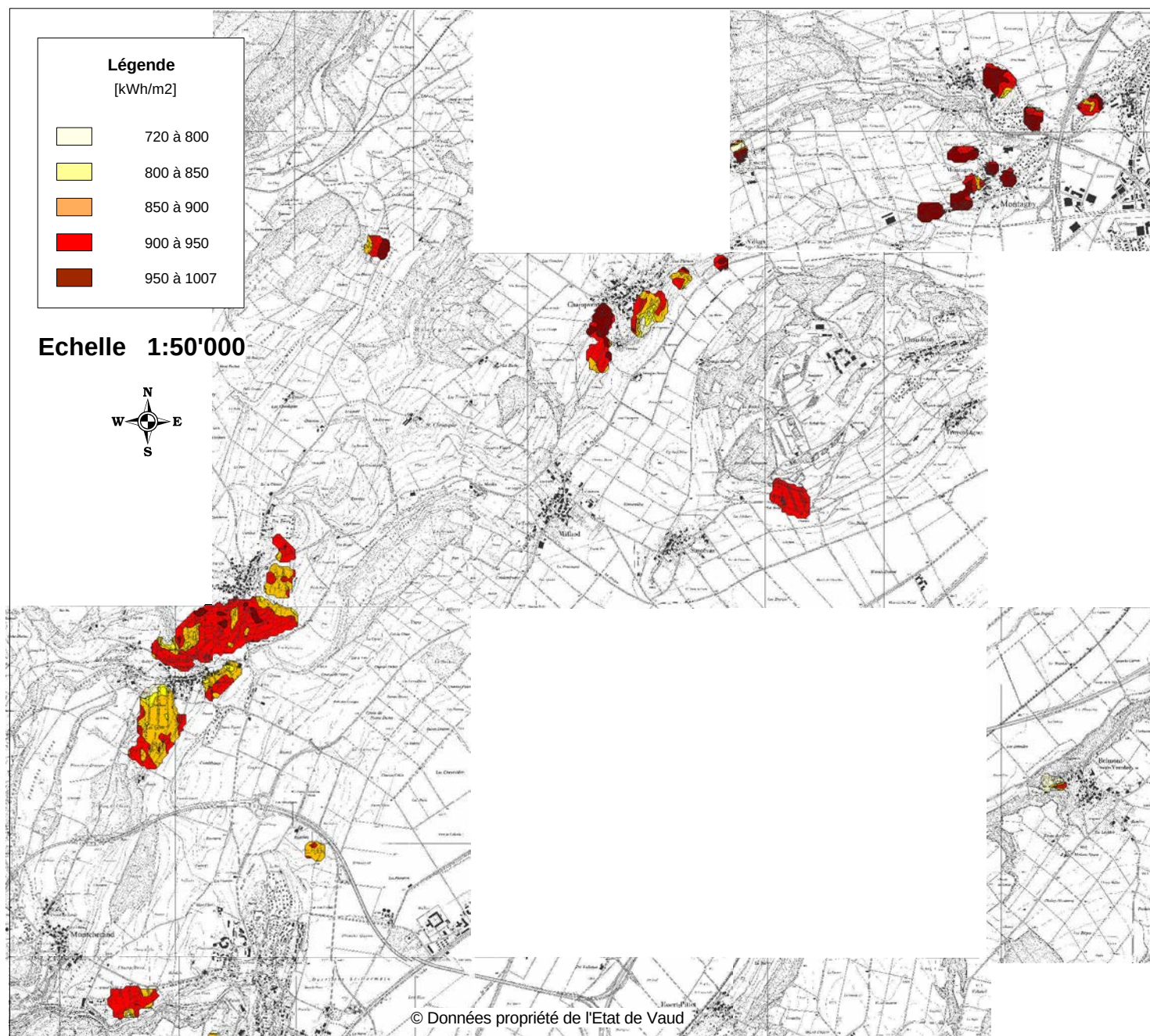
Appellation des Côtes-de-l'Orbe
(Partie nord)

Rayonnement solaire potentiel journalier moyen du 1 au 30 septembre

(période de maturation)

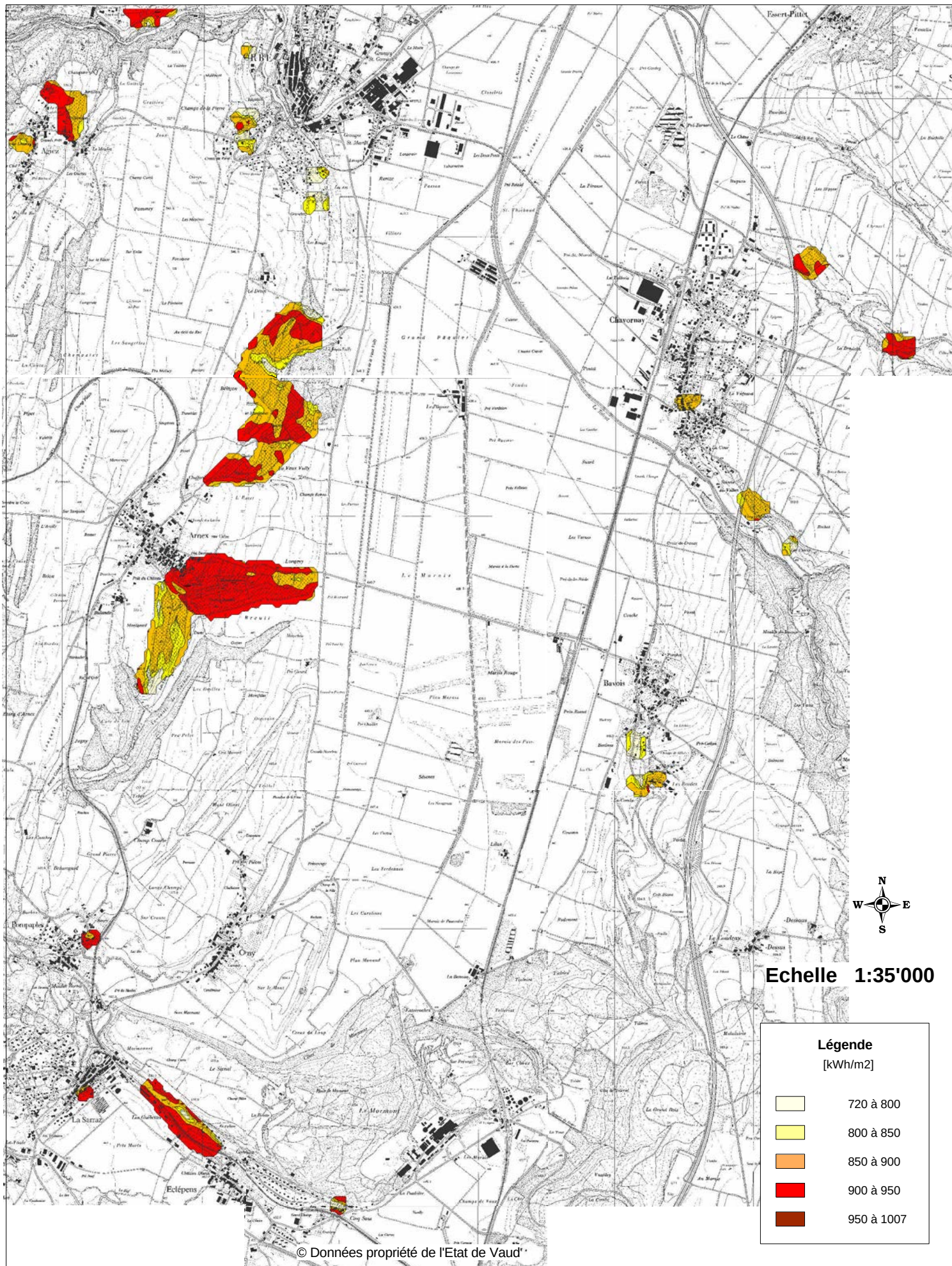


Rayonnement solaire potentiel cumulé du 1er avril au 30 septembre



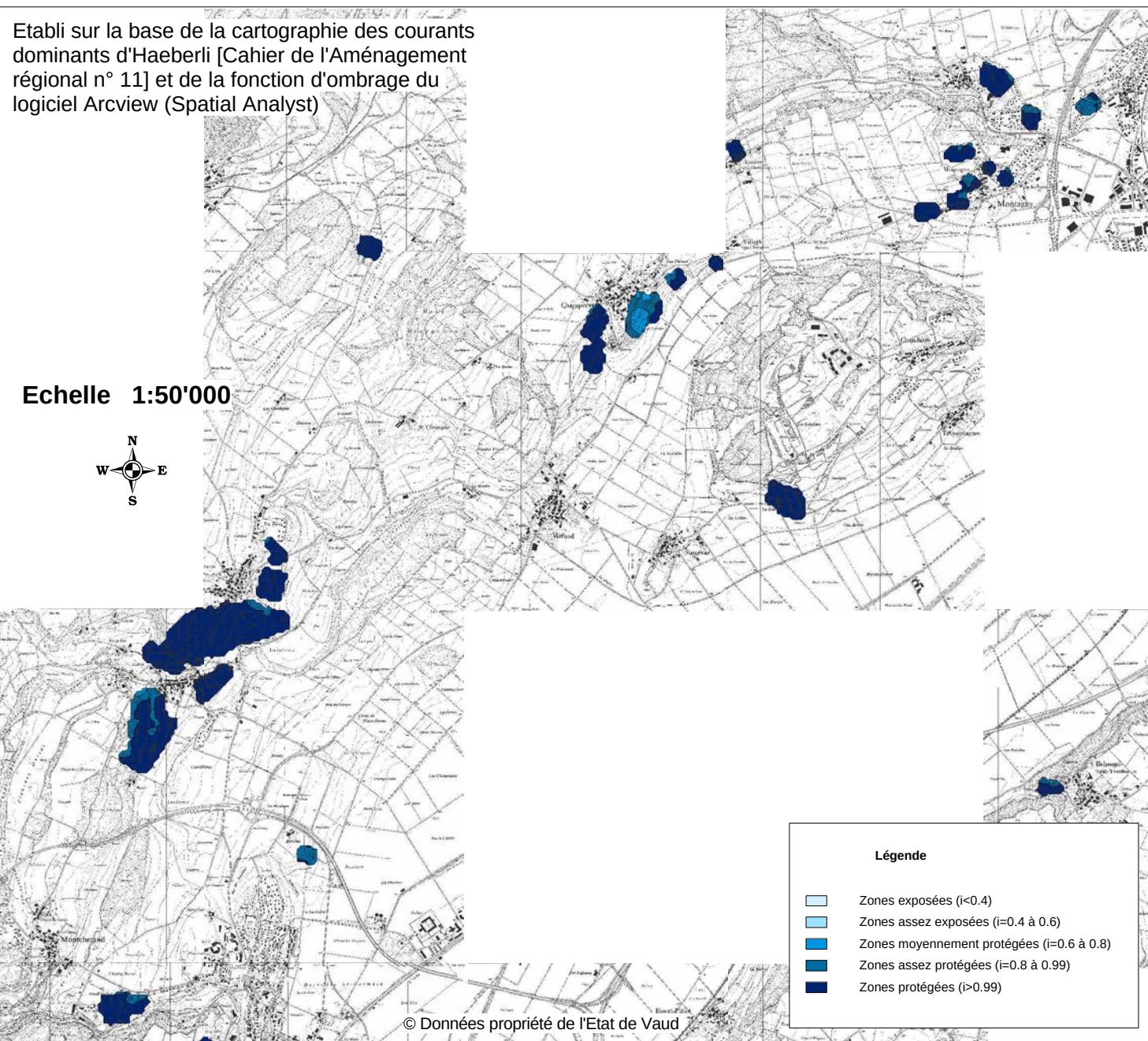
Appellation des Côtes-de-l'Orbe
(Partie nord)

Rayonnement solaire potentiel cumulé du 1er avril au 30 septembre



Indice de protection aux courants dominants

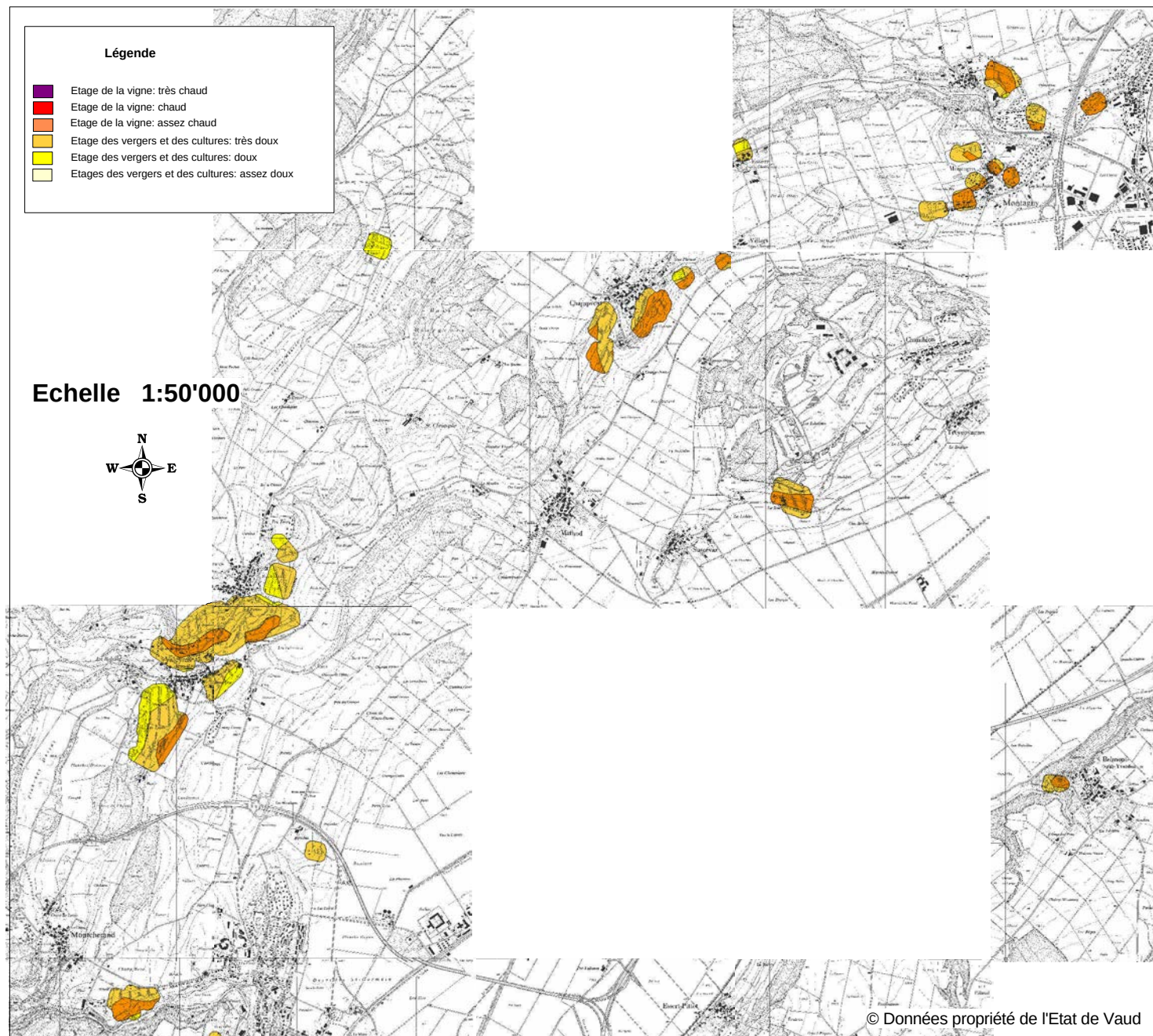
Etabli sur la base de la cartographie des courants dominants d'Haeberli [Cahier de l'Aménagement régional n° 11] et de la fonction d'ombrage du logiciel Arcview (Spatial Analyst)





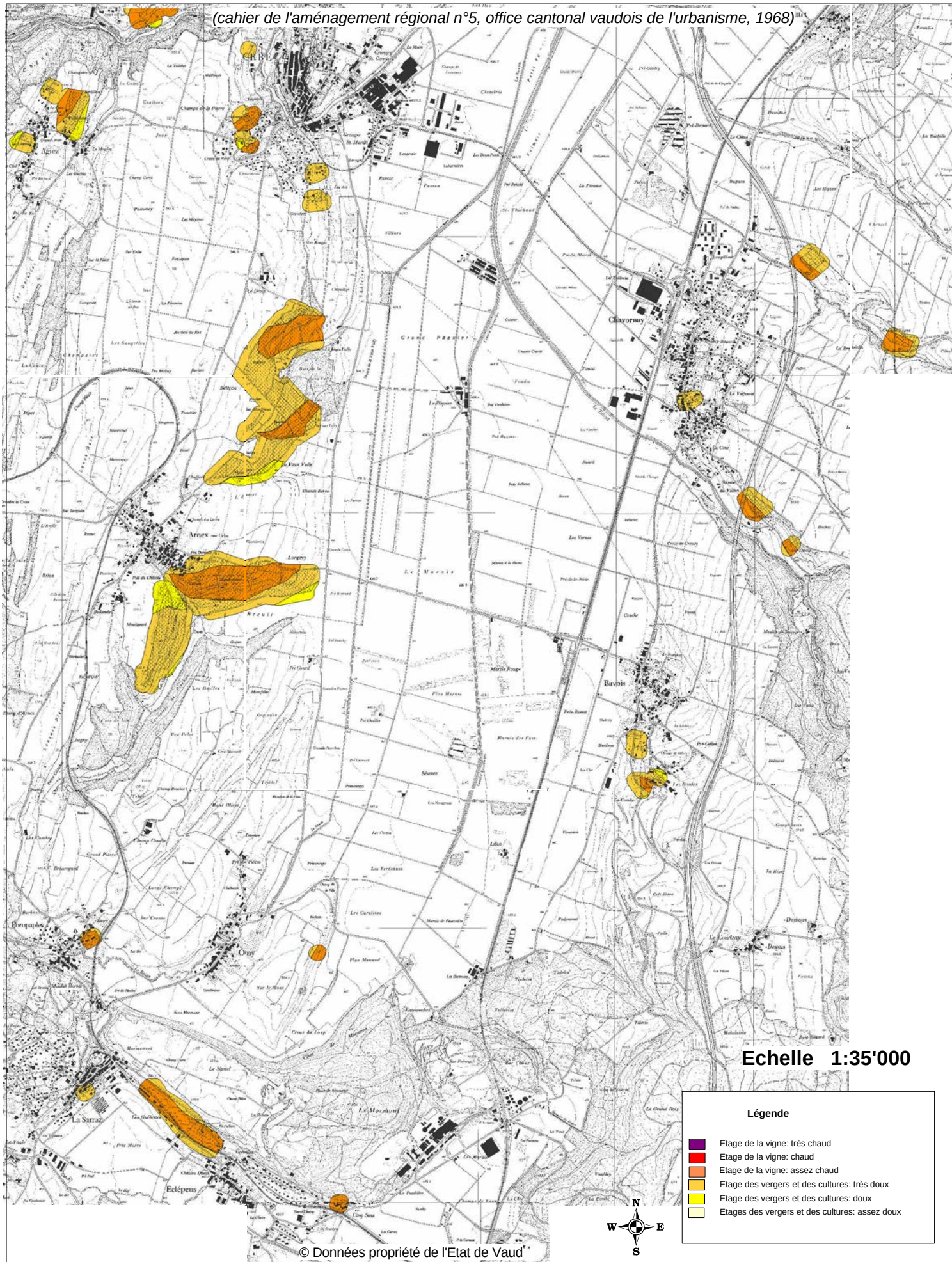
Niveaux thermiques au printemps, numérisés sur la base de la cartographie de Schreiber

(cahier de l'aménagement régional n°5, office cantonal vaudois de l'urbanisme, 1968)

Appellation des Côtes-de-l'Orbe
(Partie nord)

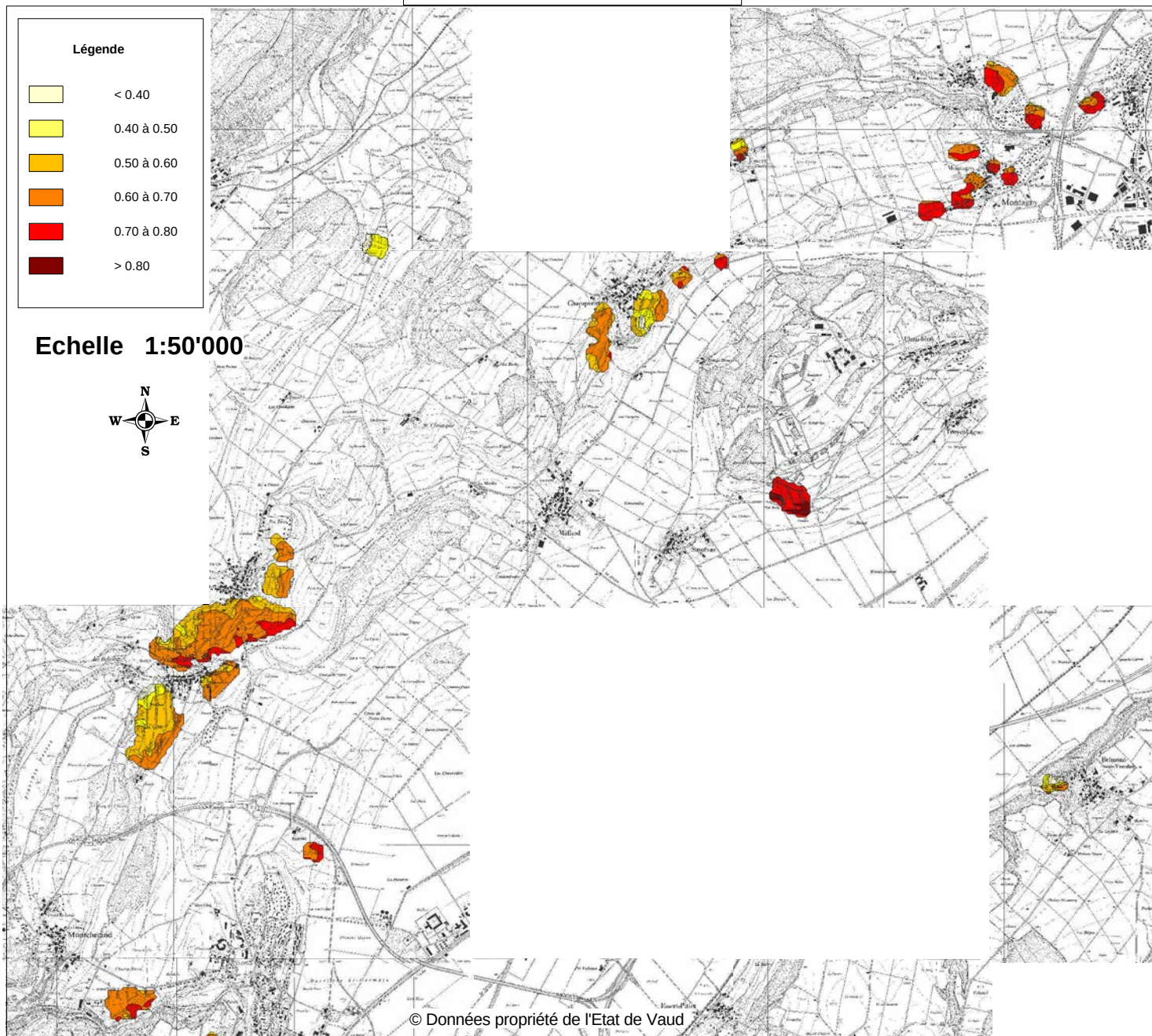
Niveaux thermiques au printemps, numérisisés sur la base de la cartographie de Schreiber

(cahier de l'aménagement régional n°5, office cantonal vaudois de l'urbanisme, 1968)

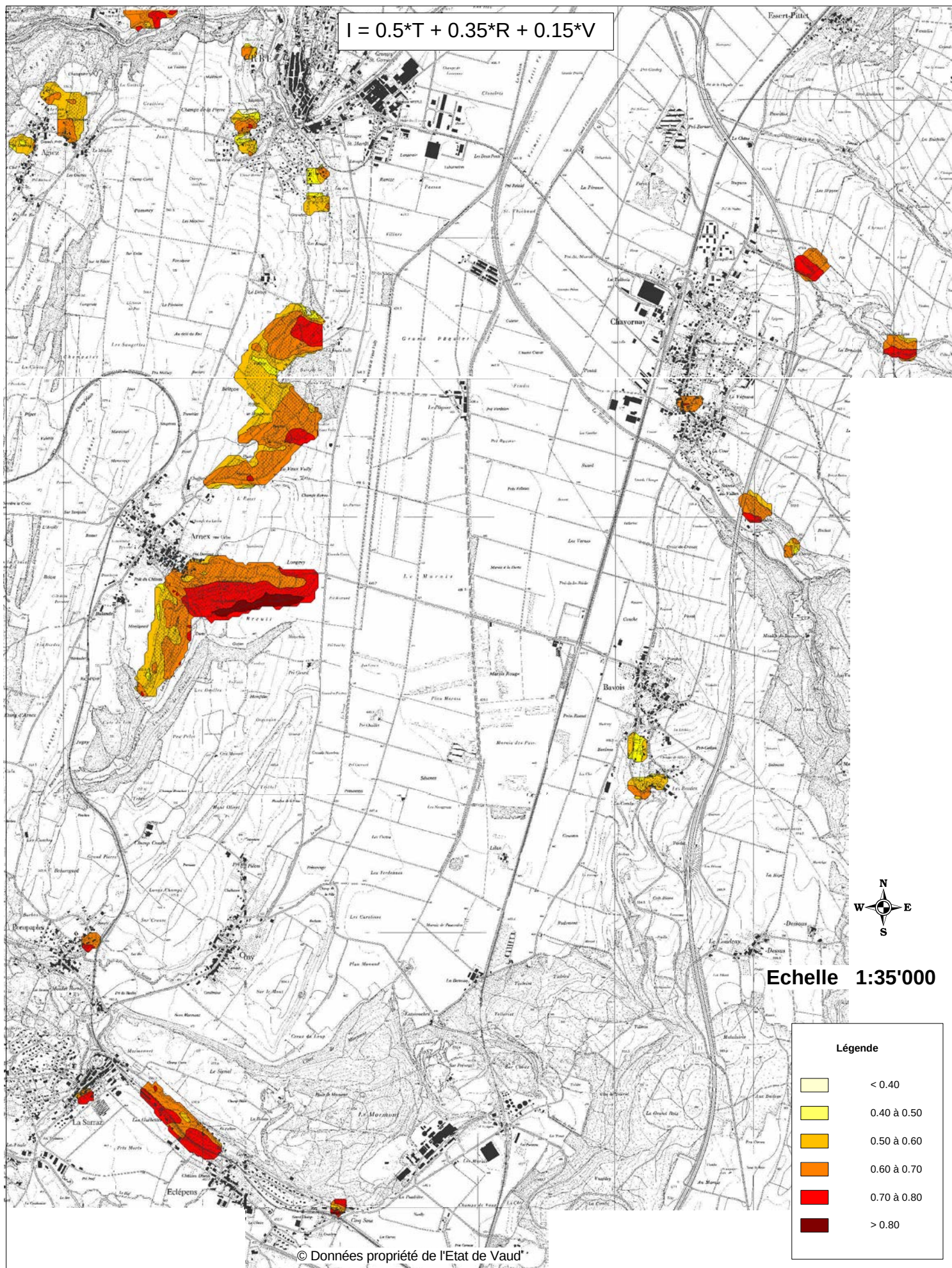


Indice climatique modélisé (avril)

$$I = 0.5 \cdot T + 0.35 \cdot R + 0.15 \cdot V$$

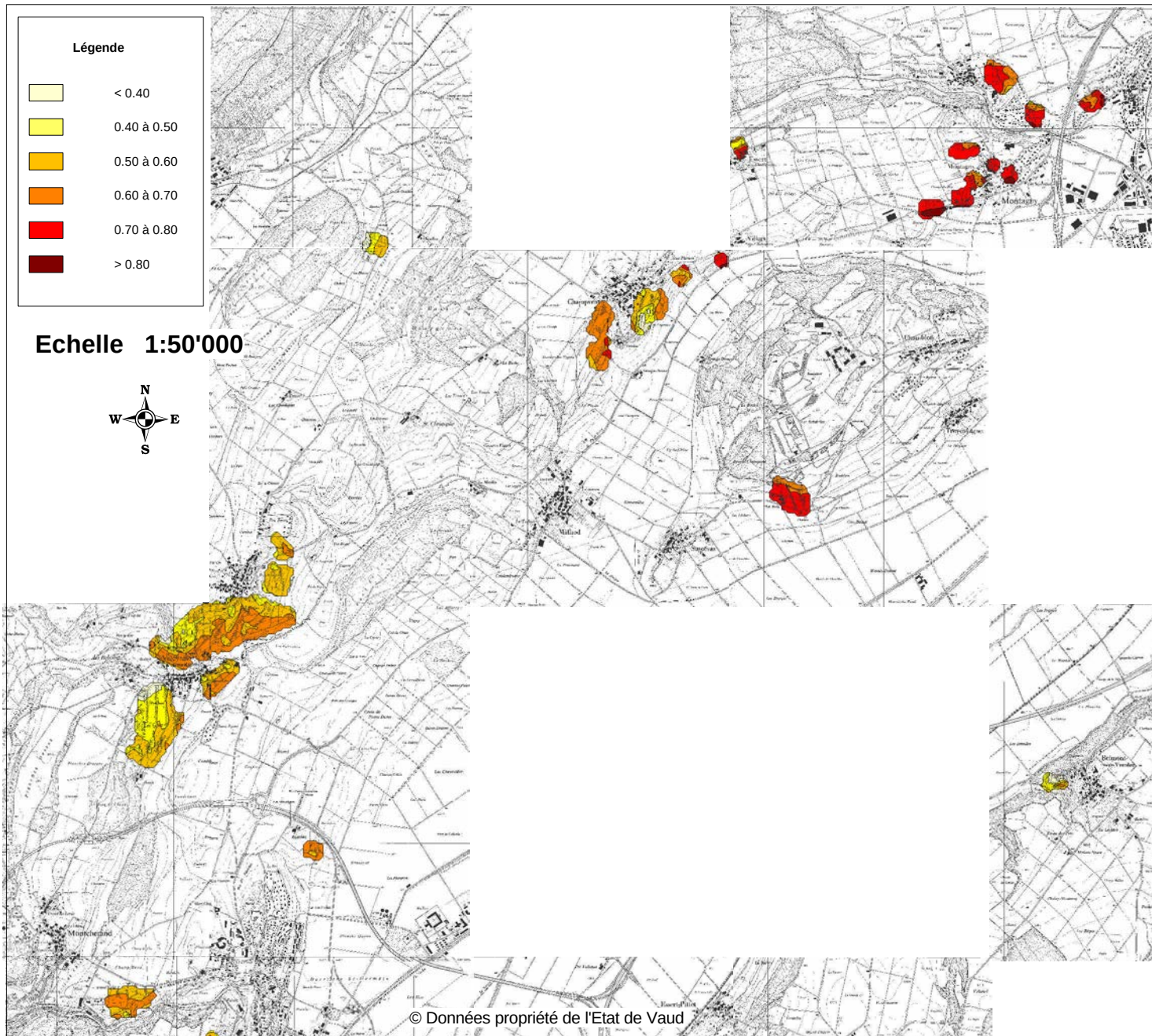


Indice climatique modélisé (avril)

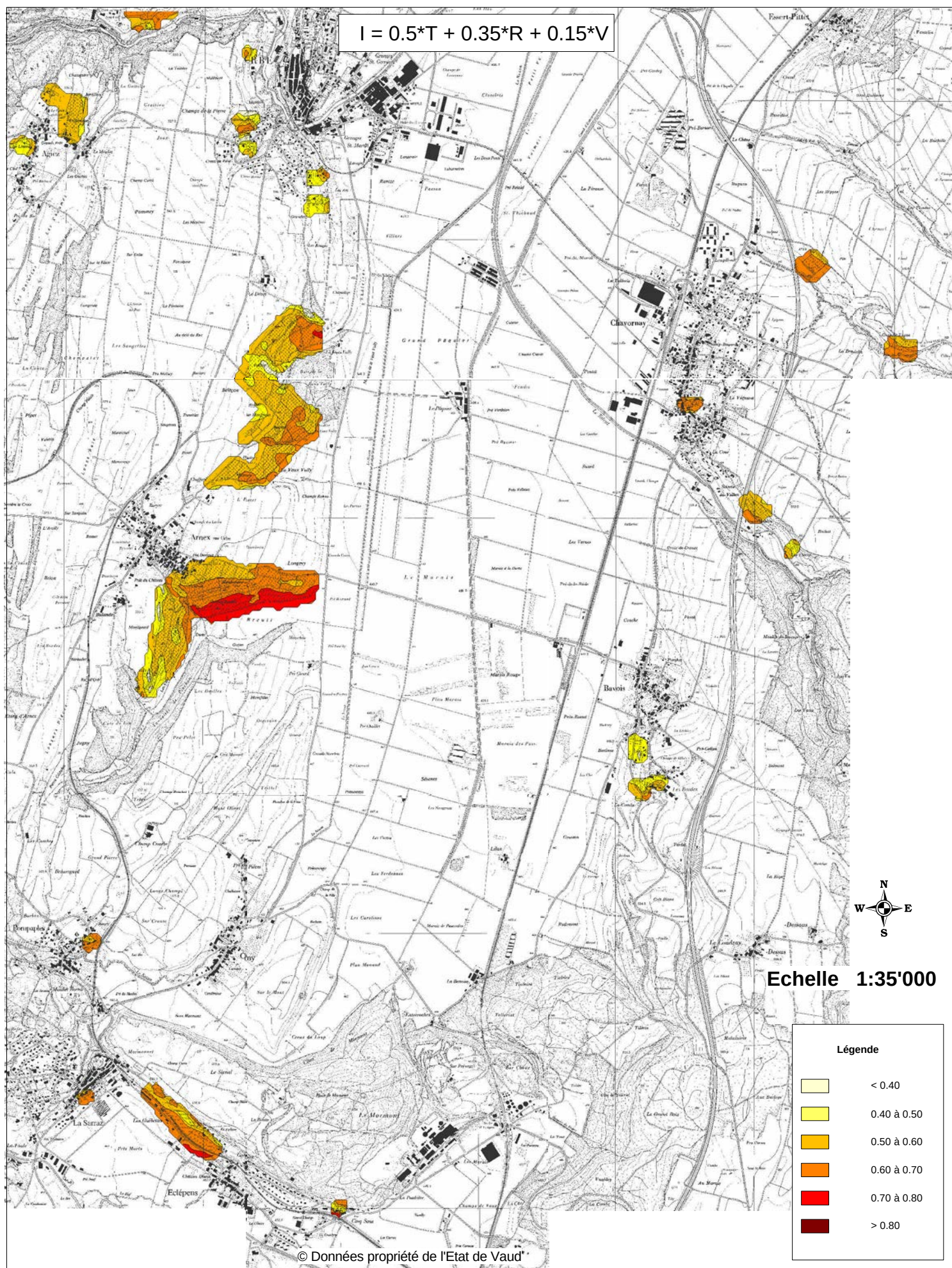


Indice climatique modélisé (avril à septembre)

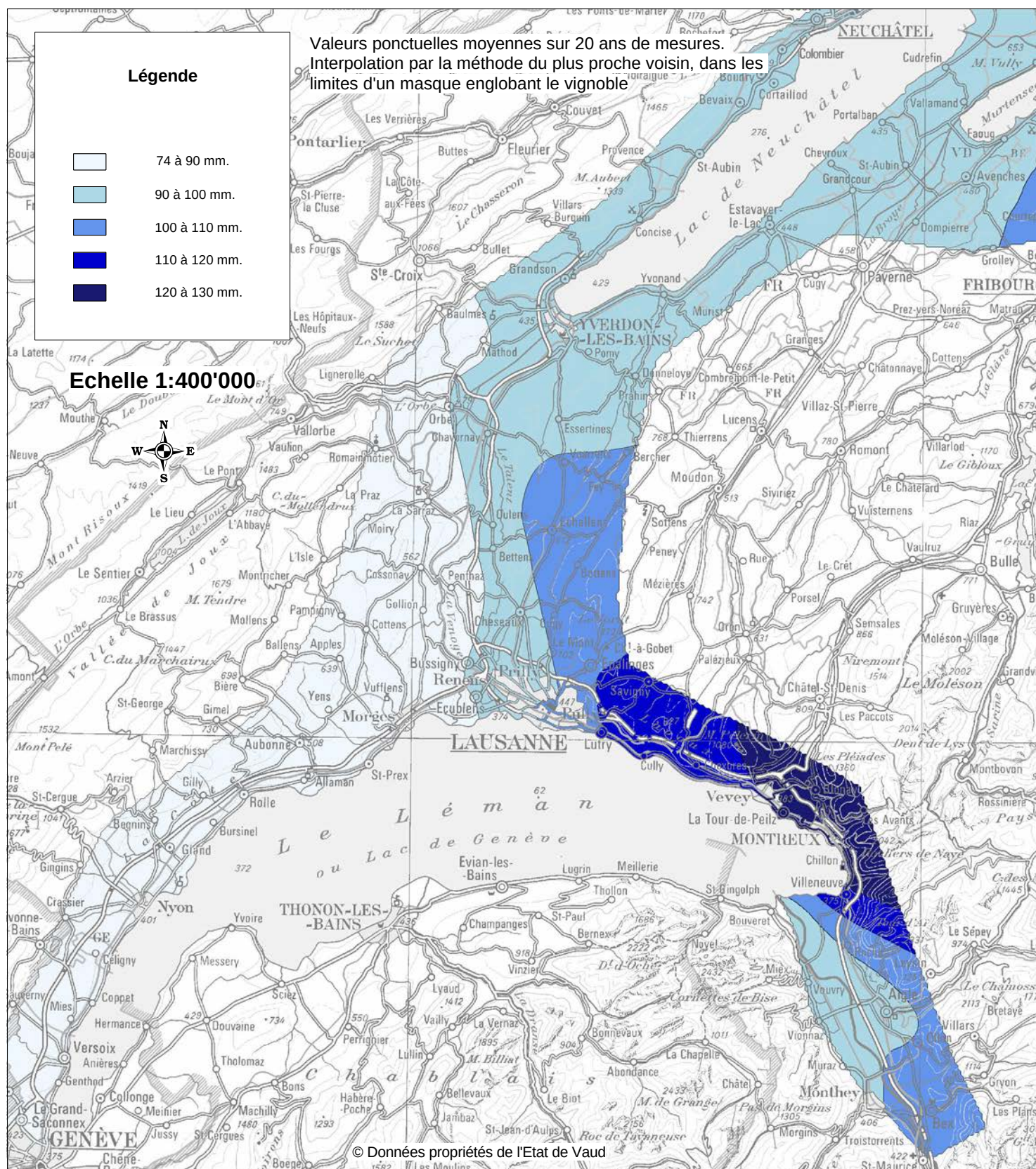
$$I = 0.5 \cdot T + 0.35 \cdot R + 0.15 \cdot V$$



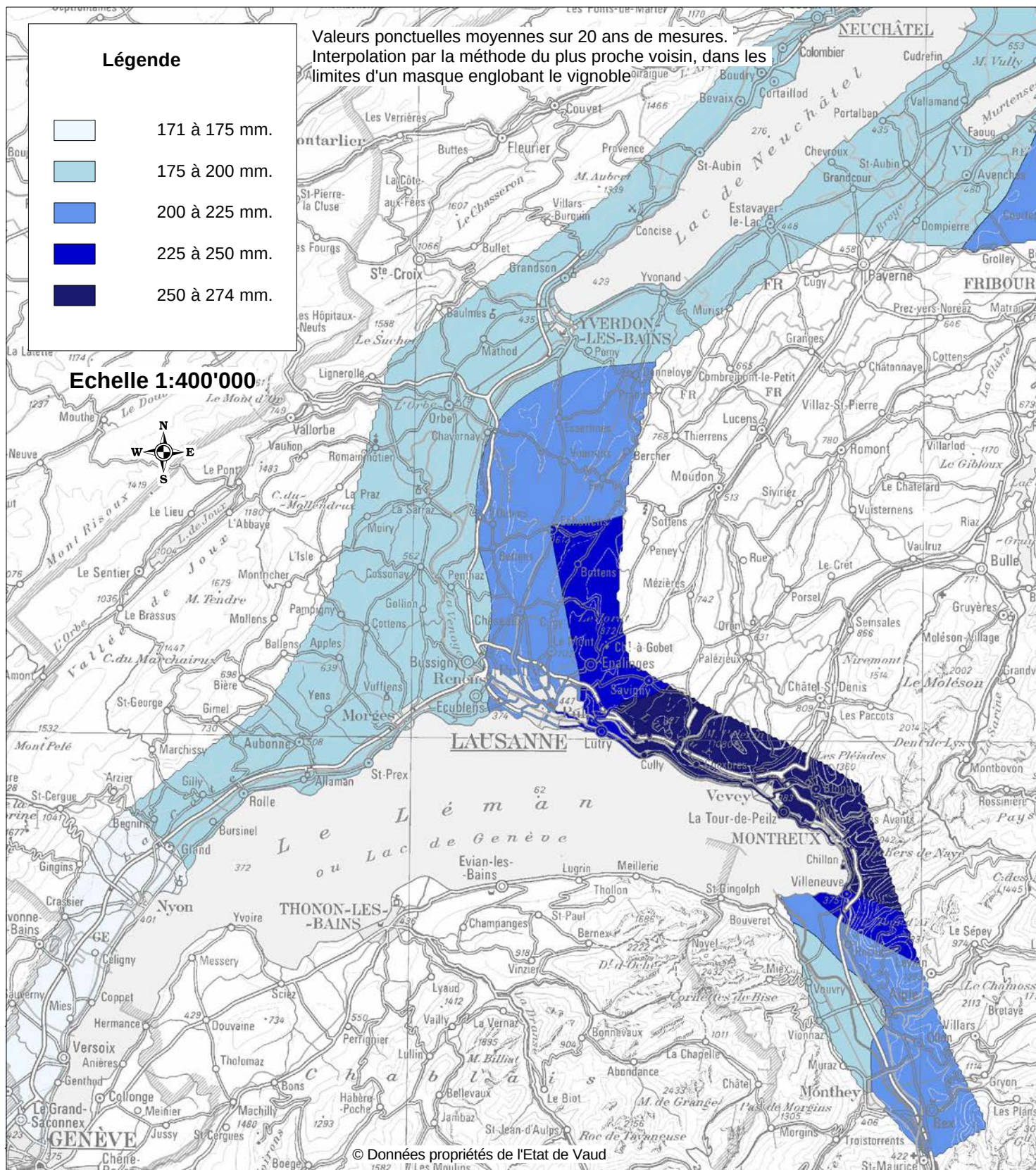
Indice climatique modélisé (avril à septembre)



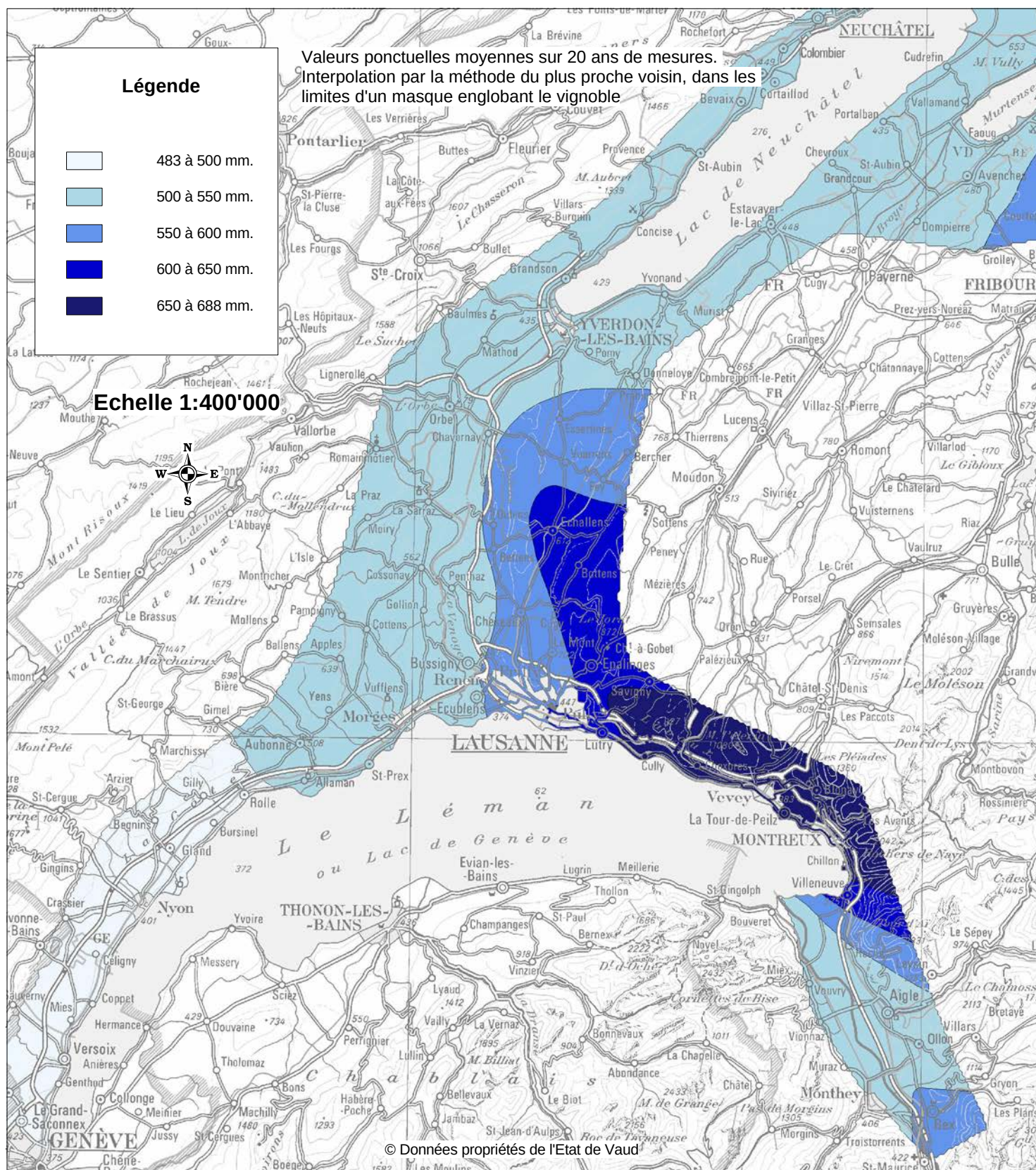
Pluviométrie moyenne au mois de juillet



Pluviométrie moyenne de juillet à août



Pluviométrie moyenne d'avril à septembre



Pluviométrie annuelle moyenne

