

Effets d'échelle et variabilité de l'érosion entre parcelle et bassin versant en région de vignoble méditerranéen

Le Bissonais Y., Raclot D., Andrieux P., Moussa R., Louchart X., Voltz M.
INRA-IRD UMR LISAH Campus AGRO, place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France

Scale effect and variability of erosion from fields to catchment in a Mediterranean vineyard area

Abstract:

The objective of this paper is to identify the nature and the cause of spatial and temporal variations in erosion response for areas ranging from small fields to 1 km² catchment. Two datasets are studied: data from plots of ca. 1000 m² and 3000 m² consisting of vineyard with either mechanical or chemical weeding; data from a catchment of 91 ha with 70% vineyard. Between the two scales, a significant decrease in the erosion rate is observed as the area increases. This trend, which has already been observed by many researchers, confirms that catchment erosion cannot be considered as the sum of individual fields erosion. In this context, the scaling transition between the plots and the 1 km² catchment can be analysed in terms of connectivity between the sediment producing and deposition areas. Furthermore, data with contrasting land management for the field scale show large differences for the erosion rate.

Introduction:

La modélisation de l'érosion à l'échelle du bassin versant, tout comme l'évaluation et la cartographie régionale de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique, repose le plus souvent sur des observations ou des mesures ponctuelles sur des petites parcelles expérimentales. Une question importante est donc d'évaluer dans quelle mesure des résultats issus d'une échelle peuvent être extrapolés à une échelle plus large (Kirkby, 2001). Les résultats les plus courants pour le ruissellement et l'érosion font état d'une diminution de la réponse lorsque l'échelle augmente (Joel et al., 2002 ; Le Bissonais et al., 1998 ; Cerdan et al., 2004), mais d'autres résultats indiquent une tendance inverse ou encore une absence de tendance ou une variabilité de tendance (Mathier et Roy, 1996 ; Cammeraat, 2002).

On peut identifier différentes causes à l'origine de problèmes d'échelles (Blosch et Sivapalan, 1995) : par exemple l'hétérogénéité spatiale des processus de surface, la non-linéarité des réponses, des effets de seuil dans la manifestation de certains processus ou encore le développement de propriétés émergentes à certaines échelles. Plusieurs solutions ont été proposées pour prendre en compte ces problèmes de changement d'échelle en hydrologie : une approche globale à l'échelle du bassin, s'appuyant sur des paramètres moyens « effectifs » et une calibration basée sur des observations. L'inconvénient est que cette calibration n'est plus valide dès lors que les conditions changent. Une autre réponse est d'utiliser un modèle distribué avec une description d'unités élémentaires basée sur les observations locales. La question qui se pose est alors celle du choix de ces unités élémentaire et de la prise en compte des interactions entre elles au sein d'un schéma agrégatif. Il devient nécessaire de paramétrer ces interactions.

L'objectif de notre étude est d'analyser, pour une série d'événements pluvieux, des mesures d'érosion simultanées à 2 échelles emboîtées correspondant d'une part, à l'échelle d'unités élémentaires en milieu cultivé : les parcelles, et d'autre part, à l'échelle globale d'intérêt : le bassin versant élémentaire, ceci afin d'évaluer les variabilités spatiales et temporelles de l'érosion pour pouvoir *in fine* les prendre en compte dans la modélisation.

Matériels et méthodes

L'étude a été réalisée sur le bassin de Roujan (91 ha) situé dans le département de l'Hérault (France). Les sols, essentiellement carbonatés et de texture sablo-limoneuse, se développent sur un substrat géologique miocène plus ou moins remanié et sur des dépôts fluviaux pliocènes. Le climat est de type méditerranéen sub-humide à saison sèche prolongée. La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 650 mm et l'ETP (Penman) annuelle moyenne de 1090 mm. La culture principale est la vigne. Le site est fortement anthropisé (réseau de fossés, versants aménagés en terrasses...). L'intensification des systèmes de culture date de plusieurs décennies et s'accompagne à présent de forts processus de pollution des eaux par les produits de traitement agricole. Une hétérogénéité importante des pratiques culturales est observée (désherbage chimique total des sols vs travail mécanique). L'équipement hydro-météorologique de base, en place depuis mai 1992, est constitué d'un réseau de pluviomètres et pluviographes, d'un dispositif de mesure des débits et des matières en suspension aux exutoires du bassin versant et de deux parcelles à itinéraires culturaux différents et d'un réseau de 8 stations de mesure des teneurs en eau du sol et du potentiel hydrique. Roujan fait partie de l'Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau.

Les caractéristiques des 2 parcelles de mesure sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des deux parcelles de mesure du bassin versant de Roujan.

Paramètres	Parcelle travaillée (T)	Parcelle non travaillée (NT)
Superficie (ha)	0,324	0,12
Orientation	NS	EW
Pente (%)	2-10	6-19
Longueur de pente (m)	108	60
Argile < 2 μ m (%)	22	18,6
Désherbage chimique	rang uniquement	total
Vendange	mécanique	manuelle

Résultats et discussion

20 événements couvrant une large gamme de conditions climatiques et d'états de surface des parcelles ont été sélectionnés. Les résultats obtenus pour ces événements ayant entraîné du ruissellement sur au moins une des 2 parcelles de mesure au cours de la période 1995-1999 sont présentés dans le tableau 2. Nous discuterons de ces résultats du point de vue de la variabilité spatiale entre parcelles puis vis à vis du changement d'échelle de la parcelle au bassin versant.

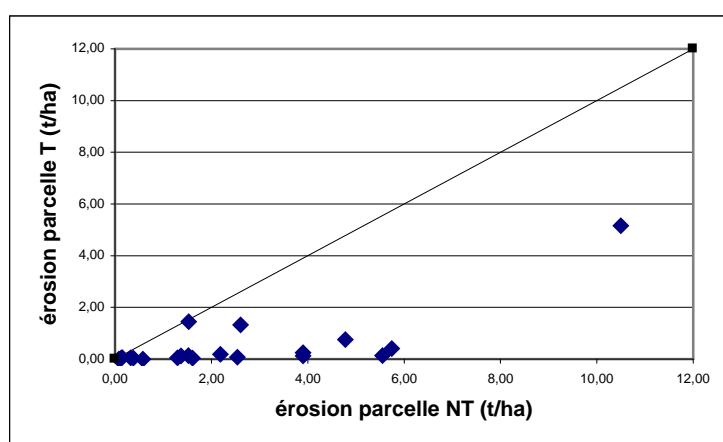
Variabilité de l'érosion entre parcelles en fonction des pratiques culturales

Une difficulté pour ce type de mesure sur des parcelles agricoles en conditions naturelles est qu'il est impossible de faire varier strictement un seul paramètre à la fois et que plusieurs facteurs peuvent éventuellement expliquer les différences observées. Cependant, la comparaison des résultats obtenus sur les deux parcelles expérimentales montre clairement que l'érosion est nettement supérieure sur la parcelle non travaillée pour la plupart des événements (figure 1). Par ailleurs, l'analyse des facteurs explicatifs du ruissellement (tableau 3) indique que ce dernier est nettement moins expliqué par la hauteur de pluie pour les parcelles travaillées ($R^2= 0,33$) que pour les parcelles non travaillées ($R^2= 0,85$). Autrement dit, le travail du sol induit une variabilité temporelle de la réponse hydrologique et érosive des parcelles qui se combine à la variabilité spatiale des pratiques. Il semble donc particulièrement difficile et risqué d'attribuer au bassin versant une valeur moyenne équivalente en ce qui concerne les paramètres de ruissellement et d'érosion.

Tableau 2 : Caractéristiques des pluies, du ruissellement et de l'érosion pour les événements étudiés.

date	Hauteur de pluie (mm)	I_max_1 min (mm/h)	I_max_30 min (mm/h)	Ruissellement (mm)			Q_max (1 min) (l/s)			Coeff. Ruissellement			Erosion (t/ha)		
				NT	T	EXU	NT	T	EXU	NT	T	EXU	NT	T	EXU
13/10/95	40.31	101.01	38.88	20.5	26.2	2.6	17.2	39.6	448.9	51.0	64.9	6.40	1.53	1.45	0.10
08/12/95	21.17	11.46	9.30	7.9	3.9	1.6	2.1	1.9	131.5	37.5	18.6	7.44	0.15	0.06	0.01
05/05/97	11.22	121.71	22.12	5.5	2.9	0.1	10.2	13.1	60.3	49.6	25.7	1.27	1.52	0.14	0.01
01/06/97	37.58	44.57	17.84	14.8	4.5	1.3	6.5	2.2	108.0	40.1	11.9	3.54	1.30	0.05	0.01
05/06/97	24.68	51.61	20.46	10.1	4.8	1.4	10.2	6.9	267.2	41.2	19.4	5.75	1.37	0.12	0.02
11/08/97	36.89	100.17	49.74	13.7	2.7	0.4	21.4	14.6	115.6	37.2	7.2	0.97	3.90	0.25	0.02
01/09/97	36.16	192.32	49.43	23.2	11.2	0.6	44.7	40.5	201.1	64.3	30.8	1.71	4.78	0.75	0.02
07/10/97	8.68	72.00	16.36	2.5	0.1	0.1	10.1	0.9	47.3	28.8	1.5	1.39	0.58	0.00	0.01
03/11/97	67.02	75.06	25.55	39.0	16.4	5.5	13.5	9.3	584.7	58.3	24.4	8.18	2.54	0.08	0.10
20/11/97	3.72	36.90	7.19	1.5	0.3	0.1	1.5	1.0	26.6	39.5	8.4	3.25	0.08	0.00	0.00
25/11/97	8.65	36.83	13.09	4.6	2.3	1.0	4.8	4.8	186.0	53.8	26.2	12.08	0.12	0.03	0.05
16/12/97	49.51	17.14	9.31	14.1	3.0	6.5	3.1	1.0	259.4	28.4	6.1	13.17	0.21	----	0.02
29/04/98	15.65	136.67	23.98	11.7	2.6	0.3	38.5	6.6	98.3	75.3	16.5	1.93	5.55	0.13	0.07
02/05/98	9.29	67.46	18.09	7.4	3.8	0.5	16.2	14.4	157.0	80.2	40.7	5.54	2.19	0.18	0.04
07/09/98	35.61	78.45	36.08	21.9	13.9	2.0	22.1	43.9	630.5	61.6	39.0	5.74	4.28	----	0.08
26/04/99	11.73	15.00	10.86	6.2	1.7	0.1	3.5	2.5	46.8	52.9	14.9	0.70	0.38	0.04	0.00
03/05/99	96.06	15.25	7.78	43.7	7.5	6.1	3.4	0.8	341.5	45.5	7.8	6.35	1.61	0.04	0.05
17/05/99	37.51	41.07	14.05	22.7	6.7	3.5	9.6	10.1	542.4	60.5	17.9	9.31	2.61	1.32	0.11
02/08/99	19.10	126.26	30.04	9.8	1.2	0.2	30.8	4.3	98.3	51.2	6.5	1.05	3.90	0.12	0.01
06/08/99	62.67	190.30	106.70	45.2	24.1	6.5	44.4	59.5	1095.4	72.4	38.5	10.32	10.50	5.16	0.21

Figure 1 : Comparaison de l'érosion par événement sur les parcelles travaillée et non travaillée



Evolution de l'érosion avec l'échelle de mesure

Un effet d'échelle très important pour l'érosion apparaît entre les parcelles et le bassin versant sur ce jeu de données, avec des valeurs moyennes d'un ou deux ordres de grandeurs plus faibles pour le bassin que pour la parcelle non travaillée. Cette tendance générale est largement liée à une diminution analogue des coefficients de ruissellement. Si l'on analyse les facteurs explicatifs de l'érosion on observe que c'est le débit maximum sur une minute qui donne le meilleur coefficient de détermination pour l'érosion, et ceci aux différentes échelles. Au contraire, les paramètres caractérisant l'intensité de la pluie, qui sont bien explicatifs de

l'érosion à l'échelle des parcelles, ne sont plus pertinents à l'échelle du bassin. Une explication probable de ces résultats est que les processus dominants ne sont pas les mêmes aux différentes échelles : à l'échelle de la parcelle, combinaison de détachement par la pluie et le ruissellement avec une forte variabilité du ruissellement et donc de la part de l'érosion expliquée par ce dernier ; à l'échelle du bassin, dépôts des sédiments dans le réseau de circulation de l'eau liés aux variations de débit du ruissellement entre les parcelles et l'exutoire. En conséquence, c'est probablement plus la géométrie et la continuité de ce réseau, et son influence sur les processus de dépôt, qu'un facteur strictement dimensionnel qui explique l'effet d'échelle sur l'érosion lorsque l'on passe de la parcelle au bassin versant.

Tableau 3 : Analyse des facteurs déterminants de l'érosion

Variable explicative (X)	Variable expliquée (Y)	Coefficient de détermination linéaire (R ²)		
		NT	T	EXU
Hauteur de pluie	Ruissellement	0,85	0,33	0,73
Hauteur de pluie	Érosion	0,10	0,18	0,28
Ruissellement	Érosion	0,33	0,52	0,38
Intensite-max-1min	Érosion	0,66	0,57	0,30
Intensite-max-30min	Érosion	0,79	0,79	0,46
Qmax-1min	Érosion	0,79	0,71	0,85
Intensite-max-1min	Qmax-1min	0,87	0,67	0,31
Intensite-max-5min	Qmax-1min	0,89	0,67	0,36
Intensite-max-30min	Qmax-1min	0,61	0,72	0,53

Conclusion

La question des échelles de mesure est primordiale pour l'évaluation des transferts de sédiments dans l'environnement. Les résultats présentés ici sont en accord avec d'autres études qui indiquent un effet d'échelle important entre la parcelle et le bassin versant. Cet effet peut être expliqué en partie, par la variabilité spatiale et temporelle importante de la réponse érosive des unités spatiales élémentaires, et surtout, par l'existence d'interactions spatiales et l'apparition de processus émergents liés aux caractéristiques et à la continuité du réseau de circulation de l'eau entre ces unités, qui déterminent les processus de dépôt ou de transfert des sédiments vers l'aval. Ces résultats montrent la nécessité de décrire et de prendre en compte cette variabilité et l'ensemble de ces processus émergents dans la modélisation de l'érosion à l'échelle du bassin versant.

Références bibliographiques

- Blöschl, G. and Sivapalan, M., 1995. Scale issues in hydrological modelling. *Hydrol. Process.* 9, pp. 251–290.
- Cammeraat, L.H., 2002. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surf. Process. Landf.* 27 11, pp. 1201–1222.
- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Govers G., Iecomte V., van Oost K., Couturier A., King C., Dubreuil N., (2004). Scale effect on runoff from experimental plots to catchments in agricultural areas in Normandy. *Journal of Hydrology*, 299, 4-14.
- Joel, A., Messing, I., Seguel, O. and Casanova, M., 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrol. Process.* 16, pp. 1467–1478.
- Kirkby, M.J., 2001. From plot to continent: reconciling fine and coarse scale erosion models. In: Stott, D.E., Mohtar, R.H. and Steinhardt, G.C., Editors, 2001. *Sustaining the Global Farm*. 10th International Soil Conservation Organization meeting held May 24–29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, pp. 860–870.
- Le Bissonnais, Y., Benkhadra, H., Chaplot, V., Fox, D., King, D. and Daroussin, J., 1998. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m² to small catchments. *Soil Tillage Res.* 46, pp. 69–80.

Mathier, L. and Roy, A.G., 1996. A study on the effect of spatial scale on the parameters of a sediment transport equation for sheetwash. *Catena* 26, pp. 161–169.