



# LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES DES ARBRES POUR L'EAU

RETOUR D'EXPERIENCES PUR PROJET / VITTEL  
EN MILIEU TROPICAL ET TEMPERE – JUIN 2013

# SOMMAIRE

<b>Préface de Christophe Klotz, Directeur d'AGRIVAIR</b>	<b>p.2</b>
<b>Introduction: pourquoi cette étude?</b>	<b>p.3</b>
<b>Principaux enseignements</b>	<b>p.4</b>
<b>Partie 1 : COMPRENDRE</b>	
<b>Les arbres, le cycle de l'eau et les services écosystémiques</b>	<b>p.6</b>
1.1 Régulation du cycle de l'eau	
1.2 Préservation de la qualité de l'eau	
1.3 Réduction de l'érosion due à l'eau	
<b>Partie 2 : AGIR</b>	
<b>Six propositions pour renforcer les services écosystémiques rendus par les arbres pour l'eau</b>	<b>p.27</b>
2.1. Préservation des zones de captage	
2.2 Promotion des pratiques agro-écologiques	
2.3 Régénération des ripisylves	
2.4 Gestion durable des forêts	
2.5. Gestion des déchets et pollutions	
2.6. Sensibilisation et implication des acteurs locaux	
<b>Annexes</b>	<b>p.44</b>
1. Indicateurs de suivi des services écosystémiques des arbres sur l'eau	
2. Enquête 2012 CREAR auprès des communautés	
<b>Références</b>	<b>p.51</b>
<b>Contacts</b>	<b>p.54</b>

# PREFACE

**Christophe Klotz, Directeur d'AGRIVAIR, filiale de Nestlé Waters France**

« Il est 7h00. Comme chaque matin, Marc déjeune rapidement en admirant le paysage vitellois qui s'étire devant lui. C'est un grand jour : les arbres trentenaires qui surplombent la luzerne vont être «récoltés». Les branches seront broyées, et les fragments iront rejoindre le stock qui alimente les chaudières collectives des logements de Vittel. 100% de la chaleur nécessaire provient de ces petits morceaux de bois. Quant aux troncs de bois noble, ils vont être mis lentement à sécher pour devenir des meubles qui font toujours la fierté de la région.

Marc sourit. Nous sommes le 15 décembre 2043. Il se souvient qu'avant que l'agroforesterie ne devienne une évidence pour tous les agriculteurs du secteur, son père avait été l'un des tout premiers à accepter d'expérimenter cette manière de produire. Quel chemin parcouru depuis les prises de position soit frileuses, soit radicales du début ! Aujourd'hui, les chiffres parlent d'eux-mêmes : les rendements n'ont cessé de croître, et grâce aux arbres, un revenu conséquent est venu s'y rajouter.

Sur le haut de la colline, des diguettes bordées de petites haies cassent la pente en plusieurs endroits. Non seulement les vaches et les moutons continuent d'y paître, mais les cultures sont toujours aussi bien protégées grâce aux insectes auxiliaires cachés dans les buissons. Quant aux oiseaux de proie qui y nichent, ce sont les meilleurs alliés de Marc contre les campagnols.

Marc est maire de son village. Il sait ce que ses administrés doivent à l'agriculture, qui a accepté les diguettes bordées de haies pour lutter contre les inondations. Même l'eau de pluie s'infiltré mieux. Et sa qualité y gagne au contact des racines et de leur pouvoir épurateur. Marc recevra cet après-midi un groupe d'élus de toute l'Europe pour leur présenter ce dispositif qui fait merveille sur les près de 12000 hectares de l'impluvium.

Le voisin de Marc part à son travail, chez Nestlé, où l'on conditionne l'eau minérale Vittel. Il lui fait un geste amical de la main. Comme tous les Vitellois désormais, lui aussi sait combien il peut dire «merci» aux arbres, aux haies et aux agriculteurs qui les soignent et les exploitent. »

Voilà ce que l'on pourrait lire d'ici 30 ans, dans le journal d'un agriculteur de notre région ouest vosgienne. Utopie ? Assurément non. Faire cohabiter des arbres et des activités agricoles est vieille comme l'Humanité. C'est juste notre agriculture contemporaine qui lui a tourné le dos. Réfléchissons : avant de ne pouvoir se déplacer rapidement en portant des charges lourdes, c'est-à-dire jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, tout était fait pour limiter les trajets. Nourrir les animaux, se nourrir, se vêtir, se chauffer relevait de la même idée : trouver de l'énergie, au moindre coût, et au plus près. Comme chauffage, matériaux de construction, lien (saule) ou comme pourvoyeur de fruits (vitamines), les arbres ne pouvaient que côtoyer les cultures vivrières. Cette cohabitation « naturelle » avait ses avantages que nos contemporains ont oublié. L'agroforesterie n'est donc qu'un simple retour à des fondamentaux que nous n'aurions jamais du laisser de côté.

Si Nestlé Waters aidé de Pur Projet, d'Agrivair et de ses partenaires agriculteurs avancent dans leur désir de réhabiliter la place de l'arbre dans nos écosystèmes agricoles, gageons que Marc sera une réalité pour nos enfants.

# INTRODUCTION

## Pourquoi cette étude ?

Les experts internationaux annoncent un déséquilibre de 40% entre l'offre et la demande mondiale en eau douce d'ici 2030<sup>1</sup>.

Pour faire face à ce déséquilibre, l'approche générale actuelle est le développement des réseaux d'accès à l'eau et des infrastructures : optimisation du captage de l'eau, amélioration des usines de traitement des eaux usées, développement de l'irrigation.... Les services écosystémiques sont remplacés par des services d'ingénierie.

Mais une autre option consiste à régénérer les écosystèmes dans le but de mieux gérer les ressources en eau disponibles sur place et de bénéficier des services écosystémiques naturels. En particulier au Pérou et dans les pays du Sud, où les infrastructures d'accès à l'eau sont peu développées. C'est aussi la vision stratégique de Vittel, qui doit préserver la ressource dont elle dépend à l'échelle mondiale.

## PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Les cycles de l'eau locaux et à l'échelle de la Planète sont fortement dépendants des arbres, qui assurent la régulation des échanges entre l'atmosphère, le sol et les réserves d'eau (nappes phréatiques, rivières, lacs...)

De par leur rôle dans le cycle de l'eau, les arbres fournissent de nombreux **services écosystémiques pour l'eau**: atténuation des événements climatiques extrêmes, régulation des ressources disponibles, protection des cultures, filtration, contrôle de l'érosion et des pollutions. Ces services écosystémiques sont fournis gratuitement par les écosystèmes forestiers / agroforestiers et bénéficient directement aux populations locales.

Les services écosystémiques fournis par les arbres diffèrent selon les climats, les régions, l'historique d'utilisation des terres. Il est essentiel de bien prendre en considération les caractéristiques locales spécifiques.

VITTEL a choisi de placer l'arbre au cœur de sa politique de préservation des ressources en eau. Au regard de tous les services rendus, il est un allié, un régulateur, une opportunité d'équilibre pour l'écosystème. Au-delà de la **disponibilité** et de la **qualité** des ressources en eau, les arbres fournissent une infrastructure naturelle qui peut aider à répondre aux différents enjeux socio-environnementaux : changement climatique, biodiversité, développement économique, souveraineté alimentaire, préservation des cultures.

Pour maximiser les services rendus par l'arbre, la stratégie de VITTEL prend en compte la typologie des territoires et leurs spécificités.

En France, VITTEL a lancé à la fin des années 80 en partenariat avec l'INRA un programme de recherche pluridisciplinaire visant à protéger l'**impluvium de ses sources**, sans entraver le développement économique local. Ceci conduit en 1992 à la création d'une filiale Agrivair. Ainsi sur 10000 hectares et 11 communes environnant les sources, tous les acteurs locaux, agriculteurs signataires du cahier des charges de protection des ressources, et collectivités locales se sont engagés à ne recourir à aucun pesticide, à réintégrer les haies au cœur des paysages agricoles, à restaurer les ripisylves, et à fabriquer du compost avec des déchets verts.

Pour poursuivre cette démarche de protection partenariale, Vittel s'est engagé en 2010 au Pérou dans un vaste programme de reforestation et de préservation des écosystèmes en Amazonie, premier bassin d'eau douce mondial. Situé à la naissance des cours d'eau, le projet qui concerne la préservation 300 000 hectares de forêts, anticipe les risques de sécheresse et garantit le maintien des réserves d'eau de l'ensemble du bassin. Les communautés locales gèrent directement le projet et développement par ailleurs des activités de **gestion durable de la forêt**, afin de valoriser les services écosystémiques de la forêt dont ils bénéficient directement. Des plantations complémentaires sont réalisées dans les zones "tampons" du projet pour diminuer les pressions agricoles sur les zones

forestières toujours intactes. Elles sont réalisées dans le respect des principes de l'**agroforesterie** qui allie culture agricole et forêt.

Vittel s'engage dans la préservation des écosystèmes et la gestion des services écosystémiques sur l'eau dans un **cadre global**, qui implique toutes les parties prenantes. Le soutien des projets dans la durée et leur suivi permet d'assurer le développement durable des actions en place.



**PARTIE 1 : COMPRENDRE**  
**LES ARBRES, LE CYCLE DE L'EAU**  
**ET LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES**

EAU PUR  
FRANCE

Vittel

# REGULATION DU CYCLE DE L'EAU

## Les cycles de l'eau, de l'importance de choisir la bonne échelle

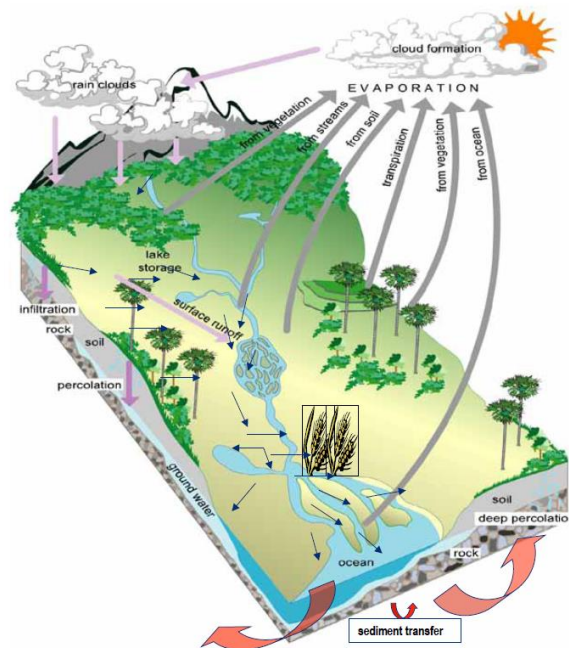
En favorisant l'évapotranspiration, l'infiltration, et en limitant le ruissellement, les arbres jouent un rôle primordial dans la régulation de la circulation de l'eau. Ils assurent les échanges clés entre les différents écosystèmes.



Le cycle de l'eau est le mouvement perpétuel de l'eau sur la terre sous tous ses états. Cette circulation de l'eau est dynamique et le cycle hydrologique n'a ni commencement, ni fin. La circulation de l'eau, sous toutes ses formes, est continue entre l'atmosphère, le sol et les océans.<sup>2</sup>

Mais le cycle de l'eau peut aussi être abordé à tout autre échelle: pays, région, bassin versant, parcelle et même à l'échelle d'un arbre. Il n'existe donc pas un mais des cycles de l'eau.

### Shéma du cycle de l'eau<sup>3</sup>



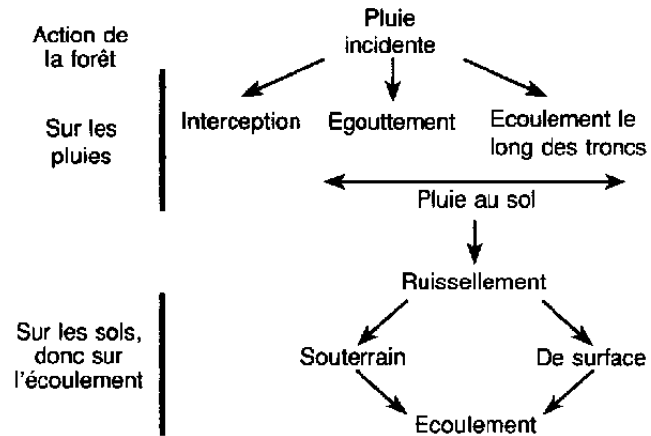
<sup>2</sup> Office International de l'Eau, Evaluation de l'Impact des Activités Forestières sur la Qualité de l'Eau, 2006

<sup>3</sup> TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands, 2013



Les arbres jouent un rôle primordial dans la circulation de l'eau car ils contribuent à la réalisation des échanges clés entre l'air, les sols et les ressources locales en eau renouvelables (nappes, rivières, lacs...) en limitant le ruissellement, en favorisant l'infiltration et en permettant l'évapotranspiration.

*Rôle des arbres dans la régulation des échanges entre les milieux*<sup>4</sup>



Seulement 2,5% de toute l'eau présente sur terre est de l'eau douce. Sur ces 2,5%, il y en a une partie, environ 2%, bloquée dans les calottes glaciaires et les glaciers. Le reste de l'eau douce se trouve dans le sol, ou accessible directement: lacs, rivières, les fleuves, etc.<sup>5</sup> Ce sont les ressources d'eau disponibles, qui varient dans l'espace et le temps. Les arbres participent à la régulation du niveau de ces ressources disponibles.

**VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE**

Les Vosges sont riches en formations géologiques aquifères, et possèdent un réseau hydrographique dense. La recharge des nappes est assurée par des précipitations élevées, notamment sur le massif vosgien, véritable «château d'eau» lorrain. Les principales nappes sont la nappe des calcaires du Dogger et surtout la nappe des grès vosgiens, qui fournit des eaux de grande pureté.<sup>6</sup> Le bassin vosgien abrite plusieurs sources d'eau minérale naturelle qui, dès l'époque gallo-romaine, ont alimenté différents établissements thermaux.

*Hydrographie du département des Vosges*<sup>7</sup>



<sup>4</sup> FAO, Revue internationale des forêts et des industries forestières , 1996  
<sup>5</sup> Nations Unies, Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau, 2012  
<sup>6</sup> INSEE, Biodiversité, ressources en eau et risques naturels dans les Vosges  
<sup>7</sup> Michel Curien, Inspection académique des Vosges, Service audiovisuel, 2010

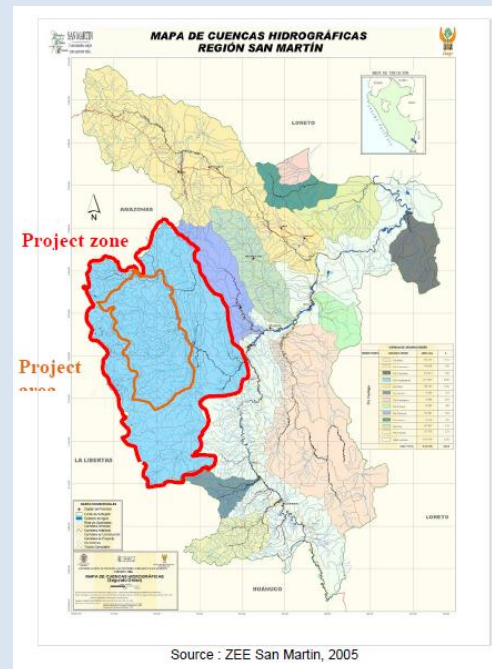
## VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Les zones de reforestation et de conservation Martin Sagrado préservées par Vittel au Pérou sont un immense réservoir d'eau douce. Les rivières et les ruisseaux qui forment le réseau hydrographique de la zone se caractérisent par la présence d'eau cristalline, très pure et transparente. Les zones préservées et reforestées par Vittel au Pérou (400 000 hectares) représentent près de 30% du bassin versant du Rio Huayabamba (1 400 000 hectares), aux sources de l'Amazone. Le Rio Huayabamba alimente le Huallaga, lequel se jette dans le Marañon, l'un des deux fleuves qui constitue l'Amazone.

Le bassin versant du Rio Huayabamba est lui-même constitué de huit bassins versants : le Rio Huabayacu, le Rio Fronteras, le Rio Verde, le Rio Condorcillo, le Rio Bréo, le Rio Jellache, le Rio Soledad et le Rio Suaveyacu. deux bassins versants : le bassin versant du Condorcillo (70 237 ha) et celui du Rio Breo (43 588 ha). Ils alimentent le fleuve Huayabamba, lequel prend sa source dans les contreforts de la Cordillère des Andes.

Les 25 000 habitants de Juanjui ainsi que les 10 000 habitants du bassin du Rio Huayabamba dépendent directement de l'approvisionnement en eau du Huayabamba. A cela s'ajoutent les cultures en aval du Huayaga qui sont également indirectement impactées par la disponibilité des ressources en eau du Huayabamba.

*Hydrographie de la zone de projet Martin Sagrado au Pérou<sup>8</sup>*



Le niveau d'eau disponible localement est critique pour les activités humaines et les services écosystémiques naturels. Car l'eau est essentielle à la vie des écosystèmes et des hommes. Mais l'eau est inégalement répartie selon les pays, les régions, les villes. En effet si le cycle de l'eau à l'échelle planétaire varie peu (la quantité d'eau en circulation est stable dans le temps), les cycles de l'eau à des échelles réduites sont impactés de manière significative par les activités humaines et la

transformation des territoires, selon les régions, les pays, les villes, mais aussi selon l'échelle de temps choisies.

Cette notion d'échelle est primordiale pour mieux comprendre le rôle des forêts sur la régulation du cycle de l'eau, car celui-ci dépend de l'endroit où ont lieu les pluies, l'infiltration et les échanges.

## Régulation dans le temps, atténuation des extrêmes

Les arbres ont un effet tampon en absorbant des volumes d'eau importants en période de pluie et en les restituant ensuite progressivement en période sèche. Ils permettent ainsi de limiter localement les phénomènes climatiques extrêmes comme les sécheresses et les inondations.



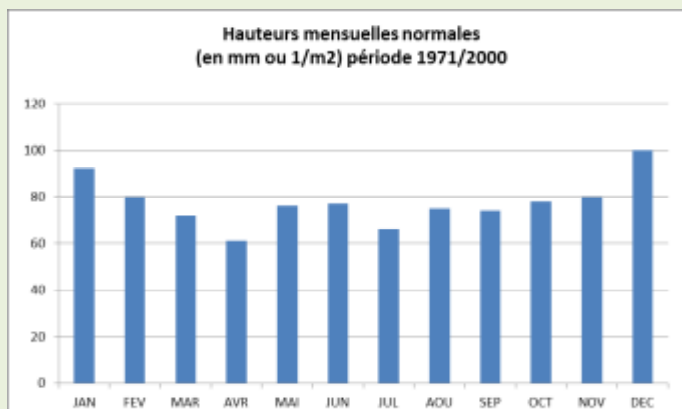
Les quantités d'eau disponibles ne sont généralement pas homogènes dans le temps : elles augmentent pendant la saison des pluies et diminuent pendant la saison sèche. Les extrêmes en particulier sont préjudiciables et toujours plus marqués par le changement climatique :

- en saison sèche : situation de stress hydrique possible
- en saison des pluies : inondations possibles

### VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE

Le département des Vosges subit trois grandes tendances climatiques: influence océanique encore bien présente malgré son éloignement de la mer, influence continentale et effet orographique important. Les perturbations atlantiques déversent ici des quantités de pluie ou de neige conséquentes durant l'automne et l'hiver. L'effet de relief s'exprime fortement, le massif des Vosges constituant une véritable barrière orientée nord-sud. Les cumuls quotidiens dépassent fréquemment le seuil des 100 mm, à la suite de pluies durables et intenses, et les épisodes pluvieux se révèlent parfois très persistants.<sup>9</sup>

*Précipitations dans la plaine de Vitte*<sup>10</sup>



<sup>9</sup> Météo France, Climatologie des Vosges, 2007

<sup>10</sup> Météo France, Climatologie des Vosges, 2007

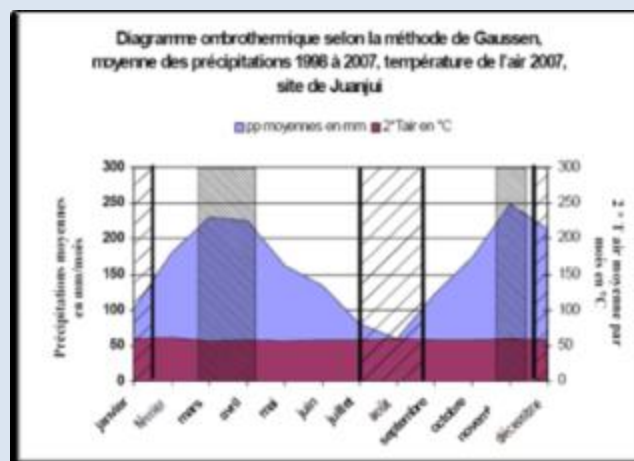
Le risque d'inondation est d'ailleurs important dans les Vosges: depuis 1982, 1 312 évènements ont été déclarés catastrophe naturelle dans le département.<sup>11</sup> Les étés peuvent être très secs quant à eux, le dernier en date est l'épisode de sécheresse et de canicule de l'été 2003. Ces variations engendrent parfois des mouvements de terrains en raison des tassements différentiels de certaines couches de terres argileuses.

A Vittel, la pluviométrie est d'environ 900 mm par an.<sup>12</sup>

## VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

A Juanjui, la variabilité des précipitations dans l'année est encore plus marquée. La région est caractérisée par la présence de pluies abondantes durant l'hiver qui dure d'octobre à mai. L'été est court et relativement sec, il s'étend de juin à août. Le total des précipitations moyennes annuelles est de 1974 mm. 75% à 80% des précipitations annuelles totales se produisent d'octobre à avril.

### Précipitations à Juanjui<sup>13</sup>



En 2011 et 2012, la région a connu une alternance d'inondations et de sécheresses. Ces variations extrêmes ont un impact sur la production de cacao locale, car le cacao a besoin d'un niveau d'humidité optimal pour être de bonne qualité : si le climat est trop humide, le cacao pourrit, et si le climat est trop sec, les cabosses restent de petite taille.

Les sécheresses en particulier ont tendance à s'intensifier et se multiplier, signe que les pluies ne sont plus efficaces pour les eaux profondes dans la région de San Martin et que le cycle de l'eau est perturbé. Les producteurs doivent faire à la productivité réduite du cacao, l'insécurité de l'approvisionnement en eau, mais aussi parfois des incendies qui s'étendent sur certaines parcelles.

En 2013, Vittel contribue à l'installation de 3 stations météo afin de mesurer la pluviométrie locale et les variations annuelles spécifiques en différents lieux de la zone de projet : zone de forêt vierge en amont, zone tampon reboisée en agroforesterie, zone urbaine à Juanjui. La hauteur et le débit du fleuve Huayabamba seront également contrôlés mensuellement pour mesurer l'impact des actions mises en œuvre.

<sup>11</sup> INSEE, Biodiversité, ressources en eau et risques naturels dans les Vosges

<sup>12</sup> Mairie de Vittel, <http://vittel.2st.fr/>

<sup>13</sup> Airport meteorological station of Juanjui (San Martin) between 1998 and 2007

«Maillon fondamental dans le cycle de l'eau, l'arbre contribue à réguler les excès», témoigne Alain Canet, président de l'Association française d'agroforesterie.<sup>14</sup>

Les taux d'infiltration de l'eau dans les sols sont en effet améliorés par la présence d'arbres. Ceux-ci, par le développement de leur appareil racinaire favorisent l'apparition de macropores et stimulent la formation d'agrégats de particules de sol de taille supérieure. Ces phénomènes contribuent grandement à diminuer le ruissellement et les phénomènes d'érosion de macro particules de sol. D'autre part, l'aptitude des sols à retenir les nutriments dans les agrégats est grandement améliorée par l'augmentation de la taille de ces même agrégats.<sup>15</sup>

Ainsi, en évitant le ruissellement direct et en favorisant l'infiltration de l'eau vers les nappes, les arbres réduisent localement les débits de pointe et le volume des crues. En effet, sur un terrain, l'eau de pluie ruisselle, s'infiltré ou s'évapore. Sur une parcelle boisée, les pluies suivent un parcours plus lent et plus complexe. Une bonne part des précipitations est interceptée par le feuillage. L'eau retenue par les feuilles et les branches s'égoutte peu à peu ou glisse des branches sur le tronc. Cette retenue partielle de l'eau amortit et régule son arrivée au sol, à la différence d'un terrain nu.

La litière des arbres complète ce rôle d'amortisseur car l'eau de pluie s'y imprègne peu à peu. L'eau parvenue sur la litière, puis retenue par l'humus, s'infiltré donc progressivement en profondeur. Elle va alors rejoindre très lentement les nappes phréatiques, vastes réservoirs d'eau dans la roche.

Dans des zones pentues, l'eau ruisselle plus vite et alimente ruisseaux et rivières. Mais la présence d'arbres freine fortement ce ruissellement et permet de récupérer tout de même une part de l'eau, et de remplir les nappes phréatiques.<sup>16</sup>

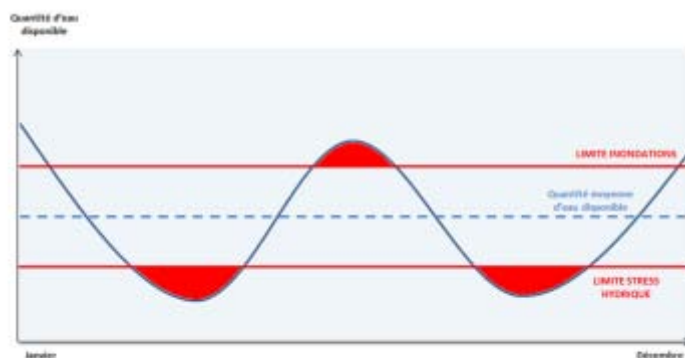
En saison sèche, l'ombrage des arbres permet également de limiter les effets des sécheresses sur les cultures en retardant l'évaporation, car les arbres freinent les courants d'air qui sont responsables de l'assèchement des champs.

Pour tous ces schémas mettre un petit cadre « illustratif » ou « conceptuel »

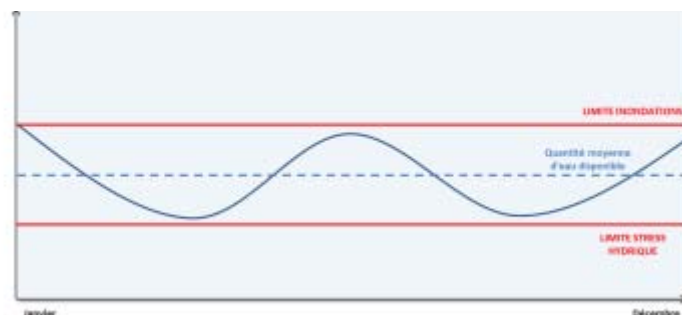
## SHEMA ILLUSTRATIF

### *Variation des quantités d'eau disponibles sur une année*

#### 1. Zone non boisée



#### 2. Zone boisée : la quantité moyenne d'eau disponible sur l'année reste identique, mais les extrêmes diminuent.



<sup>14</sup> Association Française d'Agroforesterie, [www.agroforesterie.fr](http://www.agroforesterie.fr)

<sup>15</sup> Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water : a review , G. Gyssels, J. Poesen, E. Bochet and Y. Li, Progress in Physical Geography 2005

<sup>16</sup> Office National des Forêts, <http://www.onf.fr>

## Impacts des changements de couverts forestiers sur les quantités moyennes d'eau disponible

Tout changement de couvert forestier participe localement à la perturbation du cycle de l'eau.



Les impacts liés aux changements de couvert forestier varient selon les régions et les échelles observées.

Les scénarios ci-dessous sont des exemples qui illustrent les impacts des changements de couvert forestier sur les quantités d'eau moyennes disponibles selon la zone observée.

### SHEMAS ILLUSTRATIFS

#### **BASELINE**

*Cycle de l'eau et quantités d'eau disponibles localement*



#### **SCENARIO 1 : DEFORESTATION DE LA ZONE B**

*Cycle de l'eau et quantités d'eau disponibles localement après déforestation de la zone B*



Dans l'exemple ci-dessus, la quantité d'eau disponible moyenne annuelle reste identique à l'échelle globale dans les deux scénarii : plus l'échelle observée est grande, plus les quantités d'eau moyennes disponibles sont conservées (échelle cycle).

Par contre à l'échelle locale, selon la zone observée, les changements de couvert forestier impactent les quantités d'eau moyennes disponibles localement :

- **Zone B** : La déforestation locale entraîne une réduction des quantités d'eau moyennes disponibles localement : moins de rétention et d'infiltration des pluies par les arbres, écoulement de surface plus rapide.
- **Zone C** : Zone non forestée. La déforestation en amont (zone B) favorise les écoulements rapides et donc les augmentations brutales / extrêmes des quantités d'eau en épisode pluvieux. En période de sécheresse, les réserves d'eau disponibles localement sont moins importantes (écoulements rapides lors des pluies). Cette moindre régulation en amont augmente d'une manière générale les extrêmes localement.

Les forêts de montagne et de versants de bassin situées sur des pentes abruptes, sont particulièrement importantes car elles garantissent le flux d'eau et empêchent l'érosion. Lorsque la couverture forestière est perdue, les écoulements font monter le niveau des rivières pendant la saison des pluies, inondant les villages, villes, et champs agricoles en aval (car les forêts ont une capacité plus élevée d'évapotranspiration que tout autre type de couverture végétale). Pendant la saison sèche, de telles zones situées en aval d'étendues déboisées peuvent être sujettes à des sécheresses longues de plusieurs mois.<sup>17</sup>

#### VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

La zone autour de Juanjui (zone B) connaît une déforestation importante en raison de l'extension des cultures de riz. Cela entraîne une réduction des quantités d'eau disponibles pour les producteurs de la zone, accentuée par ailleurs par l'irrigation intensive pratiquée dans les cultures rizicoles. Un effet double qui assèche les ressources d'eau locales disponibles et menace la production agricole dans la zone (notamment cacao).

L'historique de changement de couvert forestier et l'état initial de la zone sont également des facteurs à prendre en compte pour comprendre les impacts des changements de couvert forestier sur la disponibilité en eau.

Les actions de déforestation ou de reforestation ont pour effet direct de transformer la nature brute de la surface affectée, c'est à dire de changer les caractéristiques de l'interface sol- air. La modification du milieu va avoir des conséquences sur le cycle hydrologique.

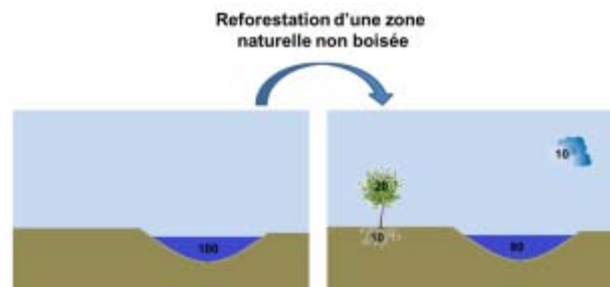


**1<sup>er</sup> cas : reforestation d'une zone naturelle non boisée** => les arbres viennent puiser dans les ressources locales en eau renouvelables. Les plantations réalisées doivent veiller à respecter le niveau de stress hydrique local (plantations pour améliorer la biodiversité locale, réduire l'érosion, dépolluer les eaux...).

### SHEMA ILLUSTRATIF

#### CAS 1

*Impact de la reforestation d'une zone naturelle non boisée sur les ressources en eau renouvelables disponibles localement.*

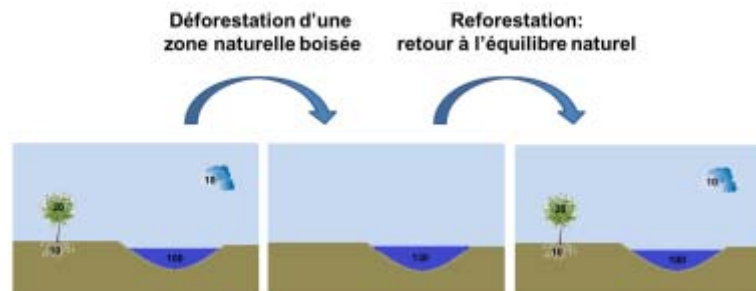


**2<sup>ème</sup> cas : reforestation d'une zone déforestée** => Les plantations réalisées permettent de retrouver l'état d'équilibre naturel présent avant la déforestation de la zone. Par ailleurs, en milieu tropical, les arbres plantés favorisent la condensation et les pluies localement ce qui peut compenser le fait qu'ils puisent dans les ressources.

### SHEMA ILLUSTRATIF

#### CAS 2

*Impact de la reforestation d'une zone naturelle boisée déforestée sur les ressources en eau renouvelables disponibles localement.*



Par ailleurs, c'est une boucle vertueuse car une augmentation des pluies et de l'humidité favorise la croissance de nouvelles espèces, qui à leur tour favorisent l'apparition de nouvelles pluies. Ainsi ne sont pas seulement affectés les stocks d'eau dans la végétation, les sols et les cours d'eau : la quantité d'eau météorite conditionne à son tour la densité et la qualité du couvert agricole, pionnier ou forestier.

### **VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE**

Au fur et à mesure de la modernisation de l'agriculture, on s'est rendu compte que la suppression des haies permettait d'avoir de plus grandes surfaces plus faciles à récoltées avec les moyens mécaniques. Les agriculteurs ont donc petit à petit supprimées les haies, sans imaginer que le cycle de l'eau s'en trouverait modifié, entraînant l'érosion accélérée des sols.

Pour lutter contre ce phénomène Vittel encourage la replantation de boqueteaux et de haies. Une haie, plantée judicieusement perpendiculairement à la pente, permet de ralentir les écoulements et favorise ainsi l'infiltration de l'eau et le dépôt de la terre hors des zones vulnérables.

Elle offre également une protection contre le vent pour la culture proche, et limite ainsi l'évaporation des sols en période de sécheresse.

Enfin, elle offre d'autres avantages pour les cultures : protection contre le froid, le soleil, source de biodiversité utile (réserve d'insectes auxiliaires, abri et nourriture pour les perdrix et les lièvres...).

### VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Depuis 1940, la région de San Martin a connu de nombreuses vagues de migrants venus principalement de la Cordillère des Andes, à la recherche de meilleures conditions climatiques pour l'agriculture (dont la production de coca dans les années 1980) et l'élevage. La proportion de migrants est ainsi passée de 7,7% en 1940 à 28,7% en 2007.<sup>18</sup>

Ces migrations ont conduit à une pression croissante sur la forêt au profit des surfaces agricoles. La plupart des communautés vivent de l'agriculture et pratiquent la culture sur brûlis pour les cultures annuelles (maïs, bananes...). La plupart du temps, quand une parcelle n'est plus productive, les agriculteurs déforêtent une nouvelle parcelle de forêt pour cultiver leur production. La population rurale augmentant à un rythme de 5% par an, on estime qu'une surface agricole supplémentaire de 67 000 à 160 000 hectares par an est nécessaire pour subvenir aux besoins des nouveaux arrivants (sur la base de 2 à 5 hectares pour chaque famille).

En conséquence, le taux de déforestation dans la région de San Martin est l'un des plus importants du Pérou : 75 042 hectares ont été déforestés entre 2001 et 2010<sup>19</sup>, ce qui correspond à un rythme annuel moyen de 0,7%. Cette déforestation a créé un déséquilibre du cycle de l'eau par rapport à l'état initial, sécheresses et inondations sont plus intenses et plus régulières.

---

<sup>18</sup> INEI, 2009

<sup>19</sup> LULC Deforestation Maps for 2001/2005 and 2005/2010 periods, San Martin region

# PRESERVATION DE LA QUALITE DE L'EAU

## Filtration mécanique

L'érosion du sol favorise l'accumulation de déchets et de sédiments dans l'eau, limitant la qualité de l'eau avec des impacts négatifs sur la vie aquatique et l'usage direct par les populations. Les arbres protègent les sols en leur offrant une couverture végétale. Lors des forts écoulements, ils limitent ainsi les « accidents de turbidité ».



L'érosion du sol entraîne des sédiments, des déchets, des polluants dans les rivières qui nuisent à la qualité de l'eau. Les arbres, grâce à leur enracinement, fixent les sols, et augmentent donc la stabilité des berges, ce qui limite la charge particulaire des eaux.<sup>20</sup> Les déchets et les polluants sont mécaniquement filtrés par les arbres.

Ainsi en cas d'évènement climatique extrême, les arbres filtrent les sédiments : en maintenant les sols avec leurs racines, ils limitent l'écoulement des déchets et sédiments vers les cours d'eau et dans les couches plus profondes.

Cela permet de limiter la turbidité de l'eau : réduction des déchets et sédiments suite à l'érosion, au lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés.

Les formes d'humus ou types de litières jouent un rôle clé dans la capacité de filtration des sols forestiers.

### Rôles hydrologiques joués par la forêt sur les plans de l'érosion et la turbidité<sup>21</sup>



<sup>20</sup> Office International de l'Eau, Evaluation de l'Impact des Activités Forestières sur la Qualité de l'Eau, 2000

<sup>21</sup> Marine Dalmasso, Rôles hydrologiques joués par la forêt sur le plan de l'érosion et la turbidité, 2012

## VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE

A Vittel, des voies ferrées ont été endommagées par des ruissellements intenses lors des inondations de 2011. Des bassins d'eaux pluviales, nécessitant de lourds investissements, sont parfois nécessaires pour stocker les eaux des épisodes pluvieux intenses non infiltrés dans les endroits aux sols nus, non arborés ou sans banquettes.

Les haies et boisements sont une solution complémentaire pour ralentir les écoulements violents et favoriser l'absorption par les sols des épisodes pluvieux intenses, ils retiennent les limons, la terre, emportés par la pluie et limitent ainsi les dépôts limoneux obstruant les cours d'eau ou dégradant les équipements et infrastructures.

## VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Les sols de la zone du projet sont peu profonds et situés dans des zones de fortes pentes. En raison des phénomènes climatiques intenses (fortes pluies et températures élevées), ils sont particulièrement sensibles à l'érosion. Les pluies qui durent la majeure partie de l'année emportent les nutriments à la surface des sols non protégés. Cela est d'autant plus problématique qu'en raison des conditions climatiques et de l'action des micro-organismes, la décomposition de la matière organique est si rapide qu'elle ne laisse une mince couche d'humus riche en nutriments. On constate que la plupart des racines des plantes se trouvent dans cette couche superficielle. Mais cette mince couche est vite emportée par les fortes pluies lorsqu'elle se trouve à découvert.

Sur les zones déforestées, on constate que la perte de sol due à l'érosion par le vent et la pluie est plus rapide que les processus de formation des sols. La présence de végétation dans cette zone est donc importante pour augmenter la rétention des sols et ainsi contrôler l'accumulation de sédiments les cours d'eau en aval. ça oui ! mais c'est juste une demi phrase sur tout le paragraphe)

## Filtration chimique

Les arbres agissent comme une véritable station d'épuration, filtrant polluants et métaux lourds à travers leurs systèmes racinaires.



Une récente étude de l'AGROOF et l'INRA a mis en évidence la capacité de dépollution des arbres.<sup>22</sup> Véritables filtres, ils limitent une partie de la lixiviation des nitrates, réduisant ainsi la pollution des nappes phréatiques. Cette fonction est particulièrement intéressante pour la gestion des zones de captage en eau potable.

Trois processus clés sont en jeu<sup>23</sup> :

- **Filtration efficace des nutriments** (nitrates, potassium, phosphates...) et même de certains éléments toxiques : les racines absorbent une partie des eaux de ruissellement qui peuvent être chargées d'éléments fertilisants, cela limite la sur-fertilisation des plans d'eau et des rivières et le développement d'algues et plantes aquatiques (eutrophisation) .
- **Absorption très active, par les végétaux et les micro-organismes du sol** : stimulation des micro-organismes dans le système racinaire pour décomposer et dégrader certains éléments polluants, ce qui réduit l'écotoxicité aquatique.
- **Amélioration de l'oxygénation de l'eau** : l'ombre créée par les arbres sur l'eau réduit le réchauffement de l'eau, particulièrement des étangs ou des lacs peu profonds et donne, par conséquent, une meilleure oxygénation, essentielle à la faune aquatique puisque le taux d'oxygène présent dans l'eau est inversement proportionnel à sa température.
- 

### VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE

En France, de 1998 à 2008, la principale cause d'abandon de captages destinés à l'eau potable est liée à la qualité de la ressource en eau avec 1 958 captages concernés (soit 41 % des captages abandonnés). Parmi les paramètres qualitatifs, les pollutions diffuses d'origine agricole (nitrates et/ou pesticides) sont à l'origine du plus grand nombre d'abandon avec 878 captages concernés (soit 19 % des abandons).<sup>24</sup>

Le département des Vosges n'est pas épargné par ce problème : la qualité des ressources en eau souterraine est remise en cause par la présence de nitrates et de pesticides, imputable notamment à

<sup>22</sup> Agroof, INRA, contrat Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, L'agroforesterie peut-elle permettre de réduire les pollutions diffuses azotées d'origine agricole ?, 2011

<sup>23</sup> Laurence Maridet, rôle des formations végétales riveraines, 1995

<sup>24</sup> Direction Générale de la Santé, Abandons de captages utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, 2012

l'activité agricole. Une soixantaine de communes sont classées en zone vulnérable à la pollution par les nitrates (9,5% du territoire départemental), et font l'objet d'un suivi renforcé.<sup>25</sup>

Dès 1992, le groupe de recherche pluridisciplinaire INRA-SAD-Vittel, commandité par Nestlé Waters en 1989, a mis au point un cahier des charges préconisant des méthodes culturales adaptées à l'écosystème de Vittel et à la protection de la ressource en eau. Ces actions d'écartier les risques de contamination de la source, et de conserver un taux de nitrate dans l'eau minérale inférieur à 4,5 mg/l, valeur de référence maximale pour Vittel. Note : pour une eau minérale, la loi impose une teneur en nitrate inférieure à 50 mg/l.

### VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Les rivières et les ruisseaux qui forment le réseau hydrographique de la zone Martin Sagrado se caractérisent par la présence d'eau cristalline, très pure et transparente. La végétation luxuriante protège les sols de l'érosion et améliorent leur structure. Les épisodes de turbidité qui apparaissent suite aux fortes pluies sont très brefs.

En aval, on observe que beaucoup de communautés vivant en bord de rivière préservent une zone de forêt le long de la berge où les habitants viennent s'approvisionner en eau. Ceci afin de créer une zone protégée, où les arbres constituent un filtre naturel pour la pollution de l'eau que les communautés consomment directement des ruisseaux. Vittel contribue au reboisement de ces zones tampons le long des ruisseaux.

Le Rio Jelache, entouré de forêts, est en particulier reconnu localement pour la grande qualité de son eau, les poissons pêchés dans cette rivière sont très appréciés à Juanjui. A partir de 2013, des analyses régulières sur la qualité de l'eau seront réalisées mensuellement à divers endroits de la zone de projet, afin notamment de comparer la qualité des eaux en amont de la zone (zone primaire de forêt) et en aval (zone agricole assez déforestée).

# REDUCTION DE L'EROSION DUE A L'EAU

## Protection des cultures contre les évènements climatiques

Lors d'évènements climatiques extrême, les arbres offrent une meilleure résistance grâce à l'effet brise-vent, la création d'un microclimat local et une meilleure infiltration de l'eau.

Pour les agriculteurs, ils diminuent le risque de perte de la production et préservent les rendements.



Les agriculteurs, en particulier les petits producteurs, sont vulnérables aux évènements climatiques extrêmes qui viennent détruire les cultures et les sols (fortes pluies, grêle, vent, écarts de températures...).

Les arbres situés dans les champs agricoles peuvent contribuer au maintien de la production dans un climat variable et à la protection des cultures contre les évènements climatiques extrêmes.

L'agroforesterie (qui associe la plantation d'arbres et d'arbustes et les cultures agricoles) est de plus en plus reconnue comme une approche efficace pour minimiser les risques liés à la variabilité et au changement climatiques qui pèsent sur la production.

Grâce à leurs systèmes racinaires profonds, les arbres peuvent explorer le sol en profondeur à la recherche d'eau et de nutriments, ce qui est bénéfique aux cultures en période de sécheresse. En contribuant à augmenter la porosité du sol, à réduire le ruissellement et à accroître la couverture du sol, les arbres augmentent l'infiltration et la rétention de l'eau et réduisent le stress hydrique lorsque les précipitations sont faibles.

A l'inverse, en cas de pluies excessives, les arbres pompent une partie de l'excès d'eau hors du sol, l'excès d'eau est pompé hors du sol plus rapidement dans les parcelles agroforestières en raison de taux d'évapotranspiration plus élevés.

Les études examinées montrent que les arbres peuvent améliorer la fertilité et l'humidité du sol et le microclimat dans l'agriculture, tout en rendant la production plus résiliente à la variabilité climatique. Les études fournissent des données issues de mesures biophysiques des terrains, de relevés agronomiques et de mesures de rendements dans différents systèmes agricoles durant la saison des pluies et les épisodes de sécheresse. Le degré d'efficacité des arbres dans le maintien de la

production agricole, toutefois, varie selon les régions et les types de culture en raison des différences dans les propriétés des sols, les précipitations et autres caractéristiques.<sup>26</sup>

### VALLEE VITTEL DANS LES VOSGES, FRANCE

Les haies limitent l'impact des pluies diluviennes et donc de détérioration des sols, et permettent de pomper l'excès d'eau hors du sol. L'implantation de haies sur l'impluvium de Vittel s'est appuyée sur des recherches menées par l'INRA de Rennes en 1976.<sup>27</sup> En 1990, les enseignements tirés étaient que des haies peuvent capter 3 fois la quantité d'eau captée par du blé à surface équivalente. L'efficacité de la haie en termes de captage est de 2,5 m de profondeur contre 1,3m pour une culture traditionnelle. En conséquence, il a été décidé d'implanter 45 km de haies sur l'impluvium en les positionnant sur le tiers sommital des versants ce qui est le plus optimal pour limiter l'érosion des sols en pente.

### VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Dans la région de San Martin, les producteurs doivent faire face aux conséquences d'El Niño – une oscillation du système océan-atmosphère dans le Pacifique tropical qui a d'importantes retombées sur les conditions météorologiques mondiales.<sup>28</sup> Ces dernières années, les effets d'El Niño sont exacerbés par le changement climatique : périodes de sécheresse, des pluies abondantes voire diluviennes s'abattent périodiquement sur les cultures. En particulier au moment de la floraison des cacaoyers, le phénomène est un problème pour les producteurs car la fleur de cacao est fragile et c'est toute la future récolte de cacao qui est alors compromise. La couverture des arbres plantés dans les parcelles de cacao viennent contribuer au maintien de la production et à la protection des cultures en période de pluies intenses.

<sup>26</sup> CIFOR, Le rôle des forêts et des arbres dans l'adaptation sociale à la variabilité et au changement climatiques, 2012

<sup>27</sup> INRA, Rôle hydraulique et géochimique des haies, 1996 / INRA, Contribution des ripisylves au contrôle des flux d'azote en milieu fluvial, 1996 / INRA, Le contrôle des flux polluants par l'aménagement de zones tampons, 1996

<sup>28</sup> INRENA, 2005



## Lessivage / érosion des sols

En interceptant la pluie et le vent, et en stabilisant les sols avec un maillage dense de racines, les arbres limitent l'érosion et les glissements de terrain, qui menacent surtout les terrains en pente, facilement inondables ou exposés au vent.



Le lessivage des sols est le transport des éléments du sol (sédiments, argiles, ions.) sous l'effet de l'écoulement des eaux d'infiltration. Les particules du sol sont entraînées vers les couches plus profondes.

Il y a érosion quand des particules de sol sont arrachées et déplacées. Les principaux agents de l'érosion sont l'eau et le vent. Toutes les formes d'érosion réduisent la productivité du sol en raison de la perte d'éléments nutritifs des végétaux, de la matière organique du sol, d'une réduction de la disponibilité d'eau pour la croissance des cultures et, en définitive, d'une limitation du volume de sol disponible pour la croissance des racines.

L'**érosion hydrique** résulte de la pluie qui s'abat sur la surface d'un sol insuffisamment protégé et de l'action de l'eau de ruissellement lorsque le débit de l'eau d'écoulement est suffisamment fort pour creuser des rigoles dans le sol. De nombreux facteurs interagissent pour déterminer la gravité de l'érosion hydrique : intensité des pluies, texture et structure du sol, stabilité structurale, rugosité de la surface, taux d'infiltration, pente, couvert végétal.<sup>29</sup>

Les arbres permettent de lutter contre l'érosion hydrique en absorbant l'énergie des gouttes de pluie et en réduisant ainsi l'énergie coupante de l'eau de ruissellement. L'eau qui s'infiltré dans le sol est filtrée par les racines des arbres qui retiennent une bonne partie des éléments qu'elle contient. Les racines des arbres jouent ainsi le rôle de filtre naturel en réduisant la pénétration des polluants dans les sous-sols et nappes phréatiques.<sup>30</sup>

L'**érosion éolienne** se produit lorsque des vents violents soufflent à la surface d'un sol lisse, exposé, aéré et sec. Une fois quelques particules de sol en mouvement, le processus d'érosion se propage

<sup>29</sup> Agriculture and Agri-Food Canada, <http://www4.agr.gc.ca>

<sup>30</sup> INRA, Rôle hydraulique et géochimique des haies, 1996 / INRA, Contribution des ripisylves au contrôle des flux d'azote en milieu fluvial, 1996 / INRA, Le contrôle des flux polluants par l'aménagement de zones tampons, 1996

très rapidement. Les particules de sol et les agrégats déplacés sont emportés par des tourbillons de vent, et peuvent être transportés sur des milliers de kilomètres.<sup>31</sup>

La FAO préconise d'augmenter le couvert végétal pour lutter contre l'érosion éolienne.<sup>32</sup> Selon le milieu (aride / tropical), les solutions doivent être adaptées : arbres, cultures intercalaires, haies vives et brise-vent... L'objectif est de réduire la vitesse du vent, de protéger les sols avec les feuilles tombées sur le sol et d'améliorer la structure du sol grâce à l'apport de matières organiques dans les couches superficielles du sol (ce qui rend les particules à la surface du sol difficilement transportables par le vent).

### VALLEE VITTEL EN AMAZONIE, PEROU

Le cacao est principalement cultivé sur des surfaces pentues dans la zone de projet : 12 à 15% de la surface cultivée sont sur des terrains où la pente est supérieure à 20 degrés. Chaque année, on observe des glissements de terrain importants au moment de la saison des pluies. Les causes de ces glissements de terrain sont liées aux fortes précipitations, mais aussi à la déforestation : les bords du fleuve Alto Huayabamba étaient jadis entièrement boisés, mais l'empiètement agricole et la déforestation ont fait disparaître une grande partie de la forêt, remplacée par des cultures de cacao. Mais les racines peu profondes des cacaoyers ne suffisent pas à retenir le sol et cela entraîne des glissements de terrain récurrents. La plantation d'arbres au sein des parcelles de cacao limite l'effet d'érosion et de lessivage du sol. Ce rôle bénéfique est encore plus important si le terrain présente des pentes longues et fortes et si les sols n'absorbent pas facilement l'eau.

<sup>31</sup> Agriculture and Agri-Food Canada, <http://www4.agr.gc.ca>

<sup>32</sup> FAO, Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), 1994