

# **Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques du bassin de l'Ouémé**

*Marc Janssens, Zhixin Deng & Valens Mulindabigwi*

Université de Bonn, Institut fuer Gartenbauwissenschaft, Abteilung Tropischer Pflanzenbau, Auf dem Huegel 6, D-53121 Bonn, Allemagne. E-mail: [marc.janssens@uni-bonn.de](mailto:marc.janssens@uni-bonn.de)

## **Résumé**

L'applicabilité d'un scénario repose en grande partie sur sa validation. Celle-ci dépend d'une part, de la pertinence des hypothèses de travail interdisciplinaires et d'autre part, de la nature intégrante, voire interdisciplinaire des variables ou indicateurs retenus. Il est fait appel à la notion d'agro-climax par opposition à celle d'éco-climax. Au niveau de chacun de ces deux repères, la photosynthèse globale apparente peut être approchée par la mesure des chutes de litière. L'utilisation de l'indicateur intégrateur « éco-volume » permet de mieux discriminer les associations végétales et les systèmes agraires. L'éco-volume est générateur de pluies supplémentaires de nature écologique. Finalement, l'éco-volume se prête aisément à la validation de modèles hydrologiques plus complexes.

*Mots-clefs* : Eco-climax, agro-climax, éco-volume, litière, Bénin

## **Summary**

The applicability of a scenario is mainly a matter of validation, which in turn will depend on the relevance of the interdisciplinary research hypotheses, on the one hand, and on the integrative if not interdisciplinary nature of the retained variables and/or indicators on the other hand. The notion of agro-climax is proposed as an alternative to that of eco-climax. The apparent global photosynthesis can be approximated through the measurement of litter fall, using the latter two status definitions. The integrative indicator « eco-volume » enables to better discriminate between vegetation types and farming systems. The eco-volume contributes to supplementary precipitations of ecological origin. Finally, eco-volume is an interconnecting parameter helping validating more complex hydrological models.

*Key words*: Eco-climax, agro-climax, litter fall, Benin

## **1. Introduction**

La multitude de modèles va de pair avec une multitude de prédictions, simulations, scénarios et autres exercices d'anticipation. Chaque fois la question de la fiabilité se pose. La précarité des modèles est amplifiée par l'emploi inconsidéré de prédicteurs non validés par cette réalité que nous prétendons tous décrire, en particulier dans le domaine agricole. Il faudra donc traiter certaines entités virtuelles avec circonspection afin de limiter la virtualisation inconsidérée de la réalité agricole. Quelques exemples illustreront ceci :

- Mesure effective de l'évapotranspiration (voir ETP-ET0 de Penman-Monteith)
- Contribution de la rosée à la croissance végétale
- Importance des espèces agroforestières
- Mesure de l'indice foliaire (Leaf area index =LAI)
- Accroissement de la biomasse d'un système agricole ou d'une formation végétale
- Importance de l'éco-volume
- Importance des feux de brousse

- Mesure de la surface terrière, y-compris les végétaux d'un diamètre inférieur à 10 cm
- Importance des troupeaux bovins, ovins, caprins ?
- Taux de recyclage dans les modèles p.ex. eaux de pluie

La mesure des chutes de litière et de la litière au sol permet d'estimer l'importance relative de la photosynthèse apparente correspondant à la biomasse au-dessus du sol. Dans des systèmes agricoles à biomasse totale maintenue constante p.ex. par la taille annuelle des vergers ou par l'utilisation d'engrais, les systèmes évoluent vers un « agro-climax » tel que décrit par Janssens *et al.* (2004). Les conditions d'équilibre de l'éco-climax peuvent donc être transposées à celles plus fréquentes d'agro-climax.

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.a. La grille de départ avec trois transects principaux

L'approche initiale consista à établir une grille d'échantillonnage couvrant quatre sous-régions dans tout le bassin versant de l'Ouémé (Tableau 1 – Figure 1). Dans un premier temps aucun modèle a priori ne fut adopté. L'expérimentation se concentra sur les prélèvements de données de systèmes agricoles dans des sites d'échantillonnage bien contrastés. Chaque fois on utilisa les données d'une végétation à l'état climax comme référence. Ensuite l'on procéda à l'intrapolation au niveau des sous-préfectures du Nord-Ouémé. Les autres sous-régions suivront ultérieurement.

### 2.b. Détermination de la biomasse

#### (i) Biomasse

La biomasse totale  $B_t$  fut estimée sur base de la surface terrière, de la hauteur et de fonctions allométriques selon Brown (1997). L'accroissement annuel de la photosynthèse nette de la phytomasse aérienne (Aboveground Net Primary Production = ANPP) a été estimé au moyen de la formule de Webb (1983), basée sur la part feuillue de la chute annuelle de litière ( $L_f$ ):

$$\ln(\text{ANPP}) = 0.76 + 0.93 \cdot \ln(L_f) \quad (\text{ANPP \& } L_f \text{ en g/m}^2)$$

La production annuelle nette de la phytomasse aérienne  $\text{ANPP} = L_t + \Delta B_p$  (matière sèche en  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ) selon Webb 1983 et Zhong Li *et al.* 2002). La production brute correspondante  $P_b = \text{ANPP} + R$  (où  $R$  est la respiration totale de la phytomasse aérienne)

#### (ii) Litière

La chute de litière ( $L_t$ ) est collectée dans des trappes à litière de 1m x 1m. Les relevés se font par intervalle d'un mois et selon trois fractions (feuilles ( $L_f$ ), fruits, branches). Les trois fractions correspondantes de la litière au sol sont également mesurées.

#### (iii) Bio-volume

Le bio-volume ( $V_{\text{bio}}$ ) correspond au volume comprenant une biomasse donnée. Dans sa forme la plus simple il correspond au quotient de la biomasse sur le poids spécifique moyen de la formation végétale ( $p$ ) soit  $V_{\text{bio}} = B_t/p$ .

(iv) Eco-volume et éco-hauteur

La notion simple d'éco-volume ( $V_{eco}$ ) est introduite afin de mieux appréhender l'espace colonisé par une formation végétale. Il s'agit de la surface d'une phytocenose donnée ou d'un système de culture quelconque que l'on multiplie par l'éco-hauteur ( $d$ ) :  $V_{eco} = S.d$

Cette dernière est la hauteur moyenne dans le temps  $t$ , d'une formation végétale dont les composantes sont considérées selon une abondance  $f$  et une hauteur  $h$ , soit  $d = \sum (f.t.h)$ . L'éco-volume s'exprime normalement sur une base  $ha$ . L'éco-volume pourra être utilisé comme variable connectante entre les sous-groupes et sous-modèles.

**Tableau 1.** Dispositif de sites d'observations dans le bassin de l'Ouémé selon quatre transects Est-Ouest – Equipe A4-2 (Systèmes agraires: 1.8.2000)

Transects	Ouest	Centre	Est
Haut-Ouémé	<i>Djougou (Catch)</i> N: 9°43' E: 1°40' Igbame, Mais, Manioc Phase végét.: 200-240 Jours Précipit.: 1200mm Sols: Ferrugineux	<i>Dogué: General De Gaule (Impetus)</i> N: 9° 6' E: 1°57' Igbame, Mais, Manioc Phase végét.: 200-240 Jours Précipit.: 1100 mm Sols: Ferrugineux	<i>Ndali - INA (centre de recherche Nord) INRAB</i> N: 9°59' E:2°44' N'dali=forêt écoclimax Mais, Sorgho, Cotton Phase végét.: 130-200 J. Précipit.: 1000mm Sols: Ferrugineux
Moyen-Ouémé	<i>Banté</i> N: 8°26' E:1°54' Mais, Manioc, Igbame, Arachide Phase végét.: 240 Jours Précipit.: 1000mm Sols: Ferrallitique	<i>Glazoué</i> N: 7°59'E: 2°15' Mais, Manioc, Igbame, Arachide Phase végét.: 240 Jours Précipit.: 1000 mm Sols: Ferrallitique	<i>Savè (INRAB)</i> N:8°03' E: 2°30' Mais, Manioc, Igbame, Canne à sucre, Arachides Phase végét.: 240 Jours Précipit.: 1000mm Sols: Ferrallitique
Bas-Ouémé	<i>Bohicon (Abomey):</i> N: 7°14' E:2°05' Mais, Manioc, Igbame, Arachide Phase végét.: 1000 mm Sols: Ferrallitique	<i>Niaouli: (INRAB)</i> N: 6°45'E:2°12' Mais, Manioc, Arachide Phase végét.: 210-240 Jours Précipit.: 1200 mm Sols: Ferrallitique	<i>Pobè: (INRAB)</i> N: 6°59'E:2° 42' Palmier, Mais, Manioc, Vigna unguiculata Phase végét.: 210-240 J. Précipit.: 1200mm Sols: Ferrallitique
Littoral	<i>Ouidah (Mangrove):</i> N: 6°21'E: 2°6' Cocotier, Manioc, Vigna unguiculata Phase végét.: 210-240 j. Précipit.: 1400 mm Sols: sols minéraux brut	<i>Cotonou: (Peripherie : Abomay-Calavi)</i> N: 6°22'E:2° 27' Cocotier, Maraîchage Phase végét.: 210-240 j. Précipit.: 1400 mm Sols: sols minéraux brut	<i>Sèmè Podji: (INRAB)</i> N: 6°24'E:2°38' Cocotier, Manioc, Maraîchage, Canne à s. Phase végét.: 210-240 j. Précipit.: 1400 mm Sols:sols minéraux brut

LAT. N: Latitude Nord

LONG. E: Longitude Est

INRAB: Institut National de Recherche Agronomique du Bénin

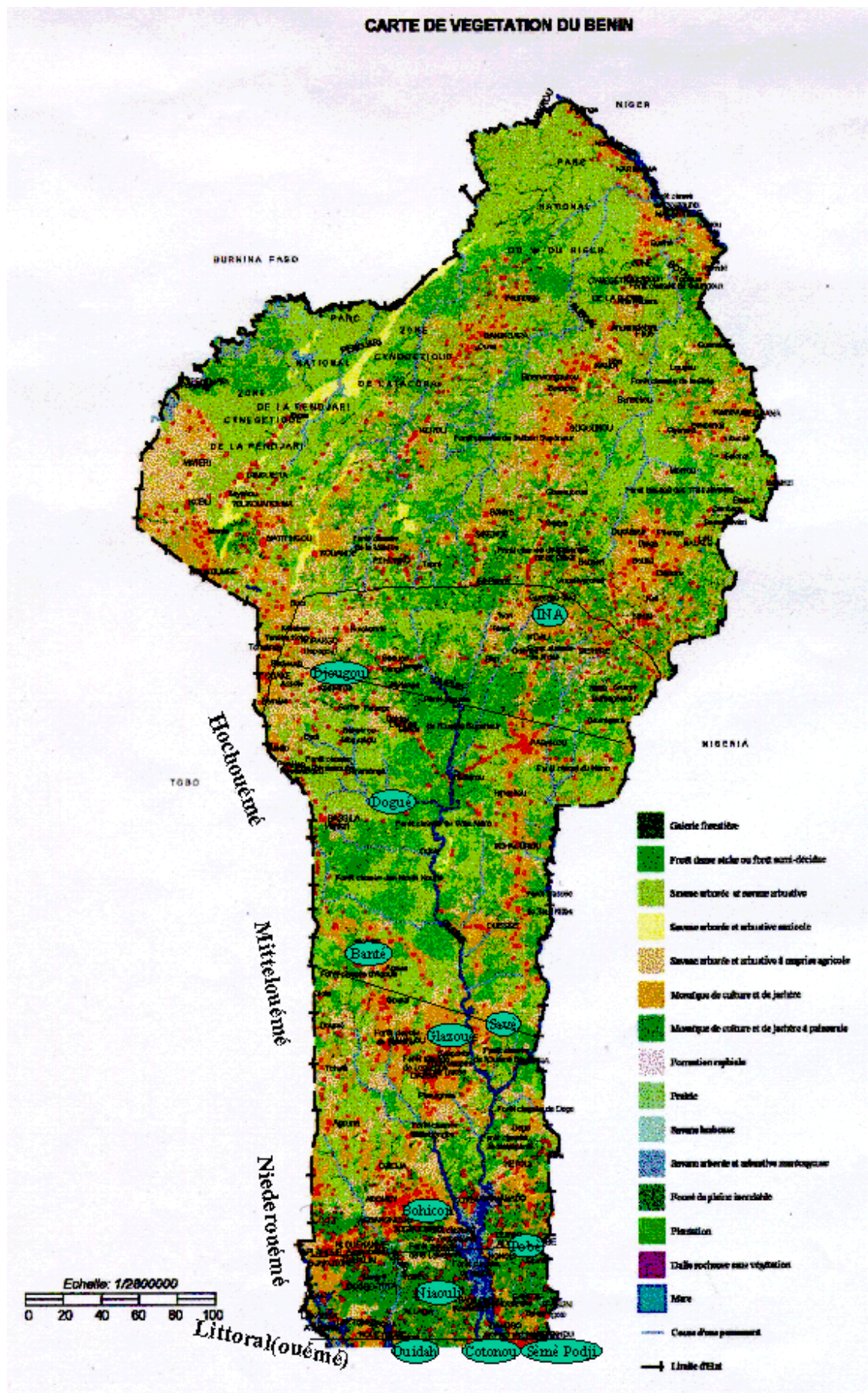


Figure 1. Sous-régions et transects retenus dans le bassin versant de l'Ouémé

## 2.c. Simplifications

Une formation végétale à l'état d'éco-climax est en équilibre:

- (i) Accroissement de la biomasse  $\Delta B = 0$  puisque  $B_t$  reste constante (Larcher 1994)
- (ii)  $NPP = L_t + \Delta B = L_t$  (chute de litière annuelle)
- (iii)  $L_t + R_g = R_m$  ( $R_g, R_m$  = respirations de croissance & maintenance)
- (iv)  $P_b$  (photosynthèse brute apparente ; phytomasse aérienne) =  $2R_m = 2(L_t + R_g)$
- (v) Si  $L_t = R_g$  (voir coûts de biosynthèse au Tableau 2) on déduit que  $P_b = 4L_t$

Les chutes de litière sont sous-estimées puisqu'une partie des déchets se décomposent ou se volatilisent avant d'atteindre la trappe à litière (Clark *et al.* 2001a). La respiration de croissance est également sous-estimée puisque seuls les voies biochimiques les plus efficaces ont été retenues dans les calculs de Penning de Vries *et al.* (1989). La revue de littérature par Amthor (2000) essaie de faire le point à ce sujet. Les simplifications sous (ii), (iii) et (v) sont utilisées à des fins de comparaison relative entre les formations végétales et en attendant des éclaircissements physiologiques plus détaillés.



Les conditions d'équilibre d'éco-climax valent pour les systèmes agraires à l'état d'agro-climax (Janssens *et al.* 2004). La photosynthèse brute apparente  $P_b$  ne tient pas compte de la production ni de la respiration au niveau du système racinaire. Au stade éco-climax, celle-ci équivaut à environ quatre fois la chute de litière annuelle et à deux fois la respiration de maintenance. La respiration de production équivaut approximativement à la chute de litière. Une meilleure connaissance de la respiration de production permettrait d'affiner ces approximations.

**Figure 2.** Exemples de mesures des pertes et gains de la biomasse dans la forêt de Dogué –  
Trappe à litière et respiromètre à la surface du sol

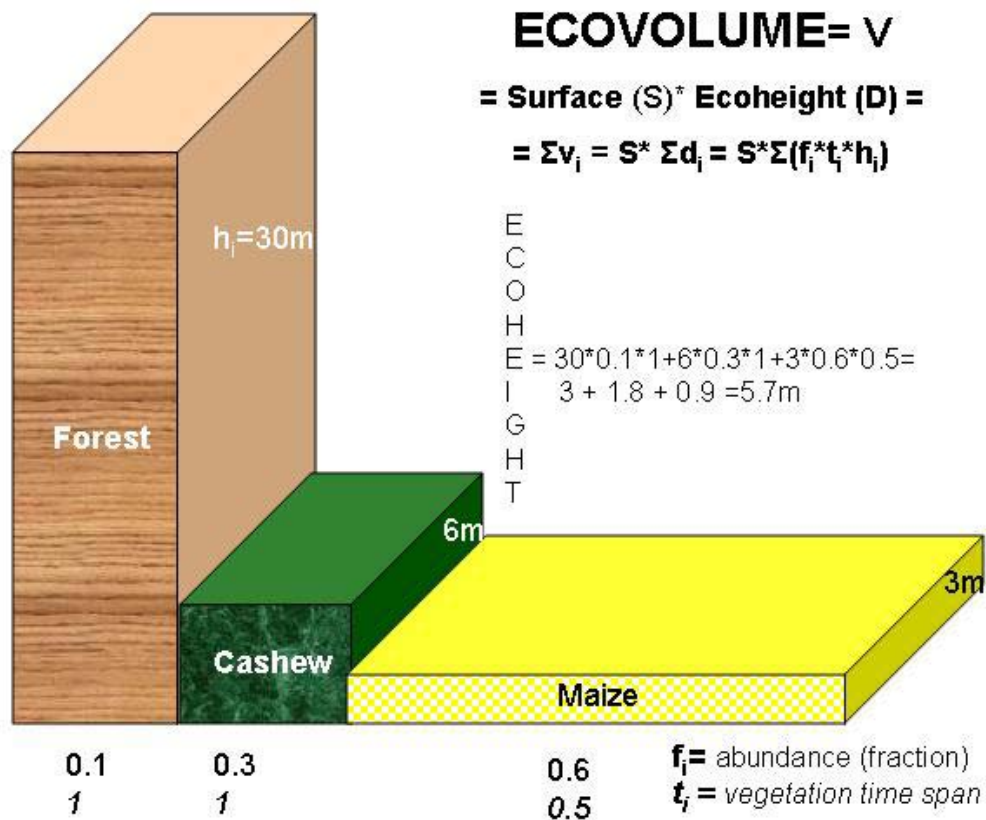
**Tableau 2.** Coût de la biosynthèse (en g glucose) – Penning de Vries *et al.* 1989)

Composante	Coût de biosynthèse g glucose/g produit	Coût de transport g glucose/g produit	Coût total g glucose/g produit
Lipides	3.030	0.159	3.189
Lignine	2.119	0.112	2.231
Protéines	1.824	0.096	1.920
Carbohydrates	1.211	0.064	1.275
Acides organiques	0.906	0.048	0.954
Minéraux	0.0	0.120	0.120

### 3. Hypothèses et objectifs de travail

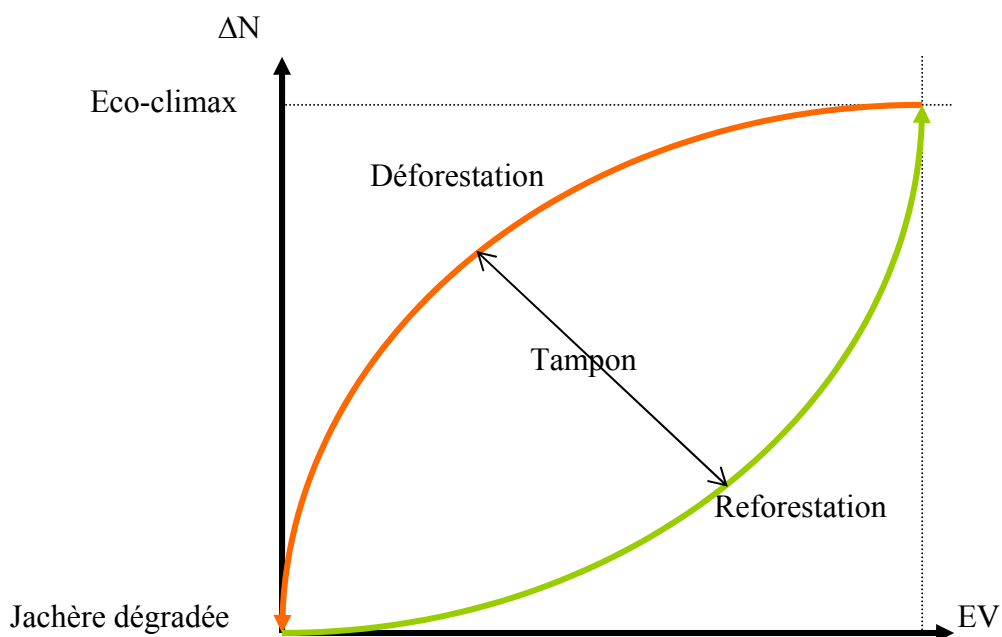
Au sein d'un bassin versant une partie des pluies est recyclée. Ces éco-précipitations constituent la fraction des pluies qui est réinjectée dans le bassin versant grâce à une meilleure gestion de l'environnement. Les facteurs suivants y contribuent :

- (i) L'éco-hauteur de l'éco-volume conduit nécessairement à une réduction de la température au niveau de la surface foliaire du sommet de la couronne (gradient altitudinal),
- (ii) Le refroidissement par évapotranspiration d'une végétation,
- (iii) Le recyclage des pluies de par la gestion écologique du bassin versant (voir aussi agriculture conservatoire),
- (iv) L'augmentation de l'éco-volume réduit la vitesse du vent et par-là même, le facteur vent dans le calcul de l'évapotranspiration selon la formule de Penman-Monteith, et finalement
- (v) L'écovolume et le bio-volume correspondant augmentent la quantité journalière de rosée déposée sur une formation végétale.



**Figure 3.** Eco-volume & Eco-hauteur (Exemple fictif)

L'évolution des éco-précipitations selon l'éco-volume suivra une fonction d'hystérèse de par l'inertie du système agro-forestier (Figure 4). Les éléments constitutifs de ce tampon écologique, tels que la litière ou la capacité de rétention en eau des sols, prendront du temps pour se mettre en place en phase de reforestation, tout comme ils feront bouclier à la déperdition du système en phase de déforestation.



$\Delta N$  ( mm.m<sup>-2</sup>.a<sup>-1</sup>) = éco-précipitations  
EV (m.ha) = éco-volume

**Figure 4.** Relations d’hystérèse entre les éco-précipitations et l’éco-volume selon le degré de déforestation ou de reforestation

#### 4. Résultats et Discussion

##### 4.a. Le calendrier agricole et les rotations dans l’Ouémé supérieur

Les résultats d’enquêtes villageoises donnent des renseignements précieux pour le calendrier agricole, les principales rotations de culture, l’importance de la jachère et l’importance des feux dans le Haut-Ouémé (Voir Commune de Sérarou en Figure 5). Ces résultats sont confrontés par la suite aux statistiques agricoles communales.

Mois	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Févr.
	Feux		de brousse				Saison des pluies							Feux de brousse	
C U L T U R E	Igname							Igname							
						Mais			Mais						
				Manioc			Sorgho			Manioc				Sorgho	
							Haricot		Haricot						
				Arachide			Arachide			Arachide					
							Riz			Riz		Riz			
						Coton					Coton				
						Anacardier									

**Figure 5.** Calendrier Agricole dans le Haut-Ouémé: exemple de la commune de Sérarou (semis/plantation en vert ; récolte en jaune)

Beaucoup de cultures ne se rencontrent que sous forme de combinaisons diverses dans les associations de plantes cultivées. En outre, on assiste à l'émergence de cultures permanentes et/ou agroforestières telles que l'anacardier.

#### 4.b. Estimation des paramètres liés à la biomasse et à la chute de litière

La chute de litière fut récoltée dans le Haut-Ouémé tant à Sérrou (10N, 2E), d'origine ancienne qu'à Dogué (9N, 1E), d'origine récente (Tableau 3). Le maximum se situe aux environs de 9 t/ha dans la forêt de Sérrou. Dans les agroforêts à base de cacao dans la zone humide du Cameroun, Sonwa (2004) récolta jusqu'à 10 t/ha de chutes de litière. Au Congo, Mosango (1991) obtint des valeurs aussi élevées que 12 t/ha dans la forêt primaire équatoriale.

**Tableau 3.** Chute de litière et biomasse dans le Haut-Ouémé (Benin) – Précipitations à distribution monomodale (matière sèche en t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>)

Village	LUS	L <sub>f</sub>	ANPP	L <sub>t</sub>	L <sub>w</sub>	L <sub>t+w</sub>	ANPP <sub>w</sub>	P <sub>b</sub>	B <sub>t</sub>	ANPP <sub>w</sub> /B <sub>t</sub>
Sérrou 9N1E	Forêt	6.31	8.59	9.02	0.20	9.22	8.84	36.88	207.00	0.043
	Ana-cardier	3.87	5.45	4.55	2.80	7.35	9.05	29.40	29.00	0.312
Dogué 10N2E	Forêt	3.20	4.57	4.10	0.80	4.90	5.62	19.60	109.00	0.052
	Ana-cardier	1.93	2.86	2.65	3.90	6.55	7.98	26.20	35.00	0.228

Source: Mulindabigwi & Janssens (2004b); \* Seuls les plantes à diamètre supérieur à 4 cm furent considérés. \*\* B<sub>t</sub>= biomasse totale sur pied (y compris la phytomasse racinaire estimée à 20% pour la forêt et à 27% pour les anacardiens); LUS=Land use system = système agraire; L<sub>f</sub>= chute de litière annuelle (matière sèche en t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>); L<sub>t</sub>= la fraction foliaire de L<sub>f</sub>; L<sub>w</sub>= accroissement annuel du couvert herbacée; ANPP = annual above ground net primary production = production annuelle nette de la phytomasse aérienne (matière sèche en t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) = L<sub>t</sub>+ ΔB<sub>p</sub> (Webb 1983, Zhong Li et al. 2002); ANPP<sub>w</sub> = ANPP + L<sub>w</sub>= L<sub>t</sub>+ ΔB<sub>p</sub>+L<sub>w</sub>= production annuelle nette de la phytomasse aérienne, y compris le couvert herbacée. P<sub>b</sub> = photosynthèse totale apparente = ANPP<sub>w</sub> + R (Respiration de la phytomasse aérienne); ΔB<sub>p</sub>= accroissement net de la biomasse.

La biomasse totale et la production annuelle nette de la phytomasse aérienne (ANPP) furent estimées par relations allométriques basées sur la fraction foliaire R<sub>f</sub> de la chute de litière (Webb 1983). L'équipe de Clark *et al.* (2001b) a procédé à la synthèse des estimations de la photosynthèse nette (NPP) dans les forêts tropicales. Les estimations conservatoires vont de 1.7 à 11.8 t de NPP/ha/an en considérant la fraction sous-terrain BNPP = 0.2 ANPP. La forêt de Dogué est pâturée périodiquement et de façon extensive par le bétail Peuhl. Les feux de brousse balaient régulièrement la forêt de Dogué ce qui amène des sous-estimations des valeurs L<sub>t</sub>, L<sub>w</sub> et P<sub>b</sub>. Cette dernière, soit la photosynthèse totale apparente (aérienne), n'y atteint que 19.6 t DM/ha/an (Tableau 3). Par contre, les feux de brousse sont normalement tenus à l'écart des plantations d'anacardiens ce qui explique une valeur aussi élevée que 26.2 t DM/ha/y.

La forêt de Sérrou se rapproche de la notion d'éco-climax, alors que les plantations d'anacardiens dans cette même localité ont évolué vers un stade « agro-climax », caractérisé par des valeurs élevées du quotient ANPP<sub>w</sub>/B<sub>t</sub> (0.312 à Sérrou et 0.228 à Dogué). La forêt de savane de Dogué se situe plutôt à un stade intermédiaire, représentant un compromis entre la forêt naturelle et des terres de parcours pour bétail.

#### 4.c. Calcul du bio-volume et de l'éco-volume

Pour chacune des formations végétales les observations ont porté non seulement sur le calcul de paramètres pondéraux de la biomasse mais également de paramètres liés au volume occupé (bio-volume) ou colonisé (éco-volume) par cette même biomasse (Tableau 4). La perte

importante en éco-volume dans la Haute Vallée de l'Ouémé est alarmante. Dans la situation présente l'érosion de l'éco-volume par rapport à l'éco-climax potentiel est de -53.5%, alors qu'à l'horizon 2020 cette érosion revêt des dimensions dramatiques à -79.9% (Tableau 5 – Figure 6).

**Tableau 4:** Bio-volume & éco-volume des différents systèmes d'utilisation du terroir dans la HVO (Haute Vallée de l'Ouémé) (Situation 2000)

	Superficie (%)	BM t/ha	L <sub>t</sub> t/ha	ANPP t/ha	Bio-volume m <sup>3</sup> /ha	Eco-hauteur	Eco-volume m <sup>3</sup> /ha
Forêt dense	8	188.7	8.7	8.7	26 689	29.2 m	292 308
<i>Forêt claire*</i>	23	93.0	3.9	5.2	18 542	24.8 m	248 385
Savane & jachère	27	27.4	2.2	8.5	10 395	9.2 m	91 769
Anacardier	5	34.0	4.0	8.0	12 047	6.3 m	63 333
Cultures	36	12.2	0	5.6	3 123	1.8 m	17 601

\* Utilisée comme formation de référence

Source : Mulindabigwi & Janssens 2004a

Qui plus est, la déperdition des éco-précipitations est une fonction directe de l'éco-volume (Figure 4). A défaut d'autres indications, ce sont ces mêmes chiffres qui peuvent être retenus comme premières estimations de la réduction des éco-précipitations. Il conviendrait de trouver les chiffres absolus de la lame d'eau supplémentaire imputable aux éco-précipitations.

Par ailleurs, il y a lieu de nuancer le terme « éco-volume » par son pouvoir de tampon écologique exprimant la vitalité de la formation végétale. Ainsi, l'éco-volume corrigé par un index d'éco-vitalité, encore à concevoir, donnerait lieu à la notion d'éco-capacité d'un ensemble végétal, qu'il soit naturel ou d'origine agricole. Cet indice de vitalité pourrait incorporer un ensemble de facteurs tels que l'indice foliaire (LAI), la chute de litière, la surface terrière, la décomposition de la matière organique du sol, la capacité de rétention en eau d'un sol.

**Tableau 5:** Evolution de l'éco-volume à l'horizon 2020– Haut-Ouémé

Formation végétale	Superficie (%)		Eco-volume m <sup>3</sup> /ha		
			Absolu	Pondéré	
Horizon	2000	2020	2000	2000	2020
Forêt dense	8	3	292 308	23 385	7 892
Forêt claire	23	8	248 385	57 128	19 374
Savane & jachère	27	1	91 769	25 145	918
Anacardier	5	12	63 333	3 357	7 473
Cultures	36	77	17 601	6 371	14 205
Total pour un ha moyen dans HVO	100	100		115 386	49 862
Perte éco-volume sur éco-climax (forêt claire)				-132 999 (-53.5%)	-198 523 (-79.9%)

#### 4. Conclusions et Recommandations

1. Les formations végétales colonisent avant tout un espace. Le gain pondéral de la biomasse n'est que subsidiaire.
2. L'agro-climax et l'éco-climax constituent autant de repères importants

3. La chute de litière est retenue comme pivot dans la paramétrisation de la biomasse
4. La notion d'éco-volume se prête aisément aux modèles et/ou scénarios interdisciplinaires
5. Se basant sur la réduction de l'éco-volume par rapport à la forêt claire, considérée comme référence, les éco-précipitations accusent une diminution de -53% en 2000 et de -80% en 2020. Aux météorologues de déterminer la valeur absolue des 100% des éco-précipitations.
6. Outre la mesure méticuleuse des paramètres il convient d'utiliser les modèles comme moyens ou instruments d'analyse et d'interprétation sans jamais s'y asservir. On ne saurait insister assez sur l'importance de valider, re-valider, re-re-valider...les "réalités" virtuelles. De même il conviendrait de pondérer l'éco-volume par un indice de vitalité.
7. Le renforcement budgétaire des groupes de recherche soucieux de valider les éléments constitutifs des modèles et scénarios, aura un effet multiplicateur sur l'applicabilité de ceux-ci.

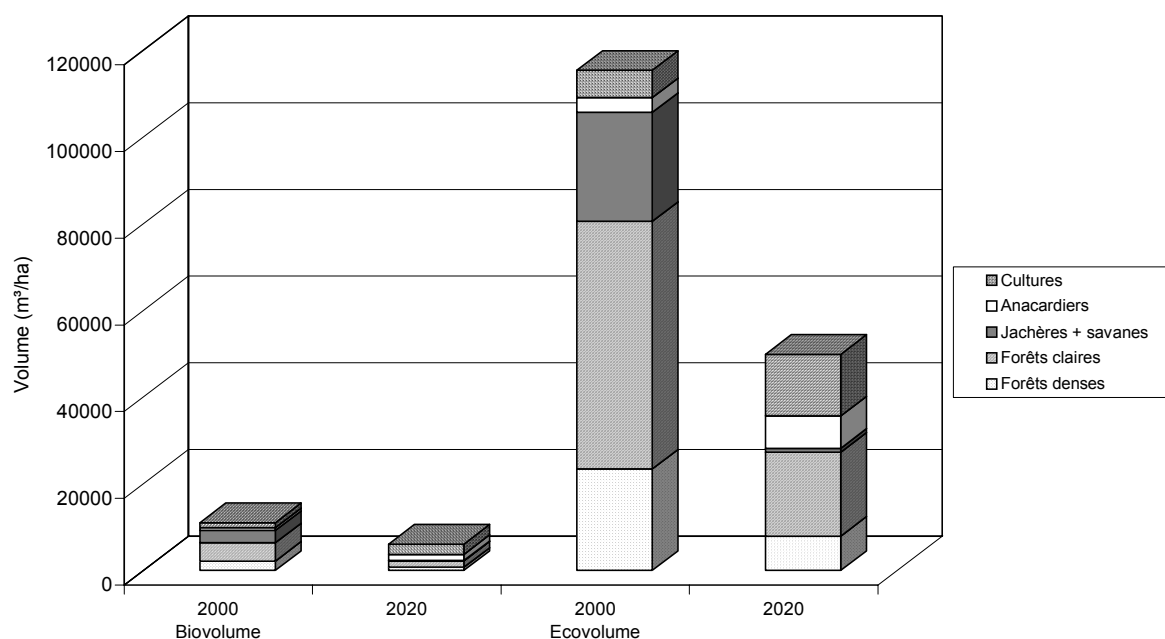
## Remerciements

L'important travail de terrain n'aurait pu être conclu sans l'ardeur au travail des techniciens-observateurs et la bonne volonté des agriculteurs contactés. Qu'ils soient tous remerciés.

## Références bibliographiques

- Amthor, J.S. 2000. The Mc Cree-de Wit-Penning de Vries-Thornley Respiration Paradigms : 30 Years later (Review). *Annals of Botany* 86 :1-20
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Forestry Paper nr 134, FAO, Rome
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R. & Jian Ni (2001a). Measuring net primary productions in forests : concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11(2) : 356-370
- Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R., Jian Ni & Holland, E.A. (2001b). Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11(2) : 371-384
- Janssens, M.J.J., Zhixin Deng, Sonwa, D., Torrico, J.C., Mulindabigwi, V. & Pohlan, J. (2004). Relating agro-climax of orchards to eco-climax of natural vegetation. In: Proc. 7<sup>th</sup> International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 20-24 June 2004. Copenhagen, Denmark
- Larcher W. 1994. *Ökophysiologie der Pflanzen*. 5. Aufl. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, pp. 394
- Mosango M. 1991. Contribution à l'étude botanique et biogéochimique de l'écosystème forêt en région équatoriale (Île Kongolo, Zaïre). *Belg. Journ. Bot.* 124 (2): 167-194
- V. Mulindabigwi, M.J.J. Janssens 2004a. Extension des superficies agricoles dans la Haute Vallée de l'Ouémé (HVO): Possibilités, conséquences et alternatives. In: Actes de la Conférence: "La gestion intégrée des ressources hydriques des bassins versants tropicaux », Cotonou 4-6 octobre, 2004, IMPETUS, Direction Générale de l'Hydraulique, Bénin
- V. Mulindabigwi, M.J.J. Janssens 2004b. La litière : un important paramètre pour les modèles écologiques. In: Actes de la Conférence: "La gestion intégrée des ressources hydriques des bassins versants tropicaux », Cotonou 4-6 octobre, 2004, IMPETUS, Direction Générale de l'Hydraulique, Bénin

- Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., ten Berge, H.F.M. & Bakema, A. 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Wageningen, The Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Sonwa D. 2004. Biomass management and diversification within cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. Ph.D. Dissertation, University of Bonn pp. 129
- Webb W.L., Lauenroth W.K., Szarek S.R., Kinerson R.S. 1983. - Primary production and abiotic controls in forests, grasslands and desert ecosystems in the United States. *Ecology*, 64:134-151.
- Zhong Li, Michael J. Apps, E. Banfield, and Werner A. Kurz 2002. Estimating net primary production of forests in the Canadian Prairie Provinces using an inventory-based carbon budget model. *Can. J. For. Res.* 32: 161-169



**Figure 6.** Prévision de l'évolution du Bio-volume et de l'Eco-volume dans la Haute Vallée de l'Ouémé (*Mulindabigwi & Janssens 2004a*)